



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

**Efecto de la temperatura sobre la
fenología y productividad de
variedades de frijol común, factor
esencial del cambio climático**

Tesis

que para obtener el grado de

**Maestra en Ciencias en Biosistemática
y Manejo de Recursos Naturales y
Agrícolas**

Presenta

Liliana Lara Bejines

Zapopan, Jalisco

14 de Julio de 2015



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Efecto de la temperatura sobre la fenología y productividad de variedades de frijol común,
factor esencial del cambio climático

Por

Liliana Lara Bejines

Maestría en Ciencias en Biosistemática y Manejo de Recursos
Naturales y Agrícolas

Aprobado por:

Dr. Patricia Zarazúa Villaseñor
Director de Tesis e integrante del jurado

2/Julio/2015

Fecha

Dr. Diego Raymundo González Eguiarte
Asesor del Comité Particular e integrante del jurado

2/Julio/2015

Fecha

Dr. José Ariel Ruíz Corral
Asesor del Comité Particular e integrante del jurado

2/Julio/2015

Fecha

Dr. Rogelio Lépiz Ildefonso
Asesor del Comité Particular e integrante del jurado

2/07/2015

Fecha

M.C. José Pablo Torres Morán
Asesor

2-07-2015

Fecha

Dedicatoria

A mi madre por demostrarme su cariño y apoyo sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi padre (q.e.p.d.), a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, siento que este momento hubiera sido especial para ti como lo es para mí. A mi abuela, quien es para mí una segunda madre, compartió momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y apoyarme en cualquier momento. A mis hermanos Tavo y Beto porque simplemente los quiero.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por otorgarme la beca que hizo posible la realización de este trabajo.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por darme la oportunidad de llevar a cabo esta investigación dentro del Proyecto “Cambio climático y su impacto sobre el potencial productivo agrícola, forrajero y forestal en México”.

A la Dra. Patricia Zarazúa Villaseñor, por su apoyo e interés en mi formación dentro del área de Agrometeorología, orientación y enseñanzas en esta investigación.

Al Dr. José Ariel Ruíz Corral, responsable del proyecto en INIFAP, quien me brindó su apoyo y asesoría invaluable en el desarrollo de la investigación.

Al Dr. Rogelio Lépiz Ildefonso, por sus consejos, su orientación y su valiosa asesoría en la presente investigación y durante su desarrollo.

Al M.C. José Pablo Torres Morán y al Dr. Diego Raymundo González Eguiarte, por su gran apoyo y asesoría para la finalización de mis estudios.

Pero sobre todo a la Dra. Patricia Zarazúa y al Maestro en Ciencias José Pablo Torres Morán, por creer en mí, por su cariño y palabras de aliento para terminar mis estudios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vii
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
2.1. El cultivo del frijol	5
2.1.1. Importancia del cultivo del frijol	5
2.1.2. Morfología y fenología	6
2.1.3. Limitantes en el cultivo	10
2.2. Los impactos del cambio climático en las actividades agrícolas	11
2.3.1. Tendencias de temperatura	15
2.4. Índices de cambio climático (del ETCCDI)	19
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	20
4. MATERIALES Y MÉTODOS	21
4.1. Ubicación del estudio	21
4.2. Materiales	22
4.2.1. Variedades de frijol	22
4.2.2. Material de campo	23
4.2.3. Insumos agroquímicos	24
4.2.4. Equipo de laboratorio	24
4.2.5. Base de datos	24
4.3. Métodos	24
4.3.1. Diseño de tratamientos de ensayo en campo	25
4.3.2. Muestreo y análisis del suelo	25
4.3.3. Determinación de parámetros climáticos	26
4.3.4. Método de siembra	26
4.3.5. Diseño experimental	26
4.3.6. Variables de plantas evaluadas	26

4.3.7. Análisis estadístico	27
4.3.8. Etapas de desarrollo	27
4.3.9. Disposición del cultivo en campo	28
4.3.10. Determinación de índices de cambio climático en las áreas de adaptación de las variedades de frijol	28
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
5.1. Determinación del pH del suelo del sitio experimental	33
5.2. Registro de temperaturas diarias	33
5.3. Precipitación	35
5.4. Efecto de las fechas de siembra sobre las etapas de desarrollo de las variedades de frijol.	37
5.3. Efecto de las fechas de siembra sobre las variables agronómicas	43
5.3.1. Rendimiento de grano	43
5.3.2. Peso seco de cinco plantas por parcela útil	47
5.3.3. Peso de 100 semillas	50
5.3.4. Altura de planta	53
5.4. Tendencias de temperaturas en el estado de Jalisco	56
6. CONCLUSIONES	60
7. LITERATURA CITADA	62

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estadios principales de la soya (Fehr <i>et al.</i> , 1971).	8
Cuadro 2. Etapas de desarrollo del frijol (Fernández <i>et al.</i> , 1985).	9
Cuadro 3. Estadios principales de crecimiento escala BBCH (Meier <i>et al.</i> , 2009).	10
Cuadro 4. Variedades de frijol utilizadas y algunas de sus características básicas.	23
Cuadro 5. Estaciones climáticas analizadas para determinar índices de cambio climático.	30
Cuadro 6. Índices de cambio climático analizados en este estudio.	32
Cuadro 7. Análisis de varianza del rendimiento de grano (g/parcela), en el ensayo de variedades de frijol y fechas de siembra. CUCBA, PV 2013.	43
Cuadro 8. Comparación de promedios entre fechas de siembra e interacción fecha de siembra por variedad, para la variable rendimiento de grano (g/parcela) CUCBA, PV 2013.	44
Cuadro 9. Análisis de varianza del peso seco de cinco plantas por parcela útil (g/5 plantas) en el ensayo de frijol en las cuatro fechas de siembra. CUCBA, PV 2013.	47
Cuadro 10. Comparación de promedios entre fechas de siembra e interacción fecha de siembra por variedad, para la variable peso seco de cinco plantas por parcela útil (g/5 plantas) en las variedades de frijol en las cuatro fechas de siembra. CUCBA, PV 2013.	48
Cuadro 11. Análisis de varianza de peso de 100 semillas, en el ensayo de variedades de frijol y fechas de siembra. CUCBA, PV 2013.	51
Cuadro 12. Comparación de promedios entre fechas de siembra e interacción fecha de siembra por variedad, para la variable peso de 100 semillas en las variedades de frijol en las cuatro fechas de siembra. CUCBA, PV 2013.	52
Cuadro 13. Análisis de covarianza sobre la variable altura de planta en el ensayo de variedades de frijol y fechas de siembra. CUCBA, PV 2013.	53
Cuadro 14. Comparación de promedios entre fechas de siembra e interacción fecha de siembra por variedad, para la variable altura de planta en las variedades de frijol en las cuatro fechas de siembra. CUCBA, PV 2013.	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de desarrollo del frijol (Tomado de Daniela Castro, 2009).	7
Figura 2. Variaciones en la temperatura de la superficie de la Tierra durante los últimos 140 años (Tomado del IPCC, 2007).	16
Figura 3. Ubicación geográfica de la Parcela Experimental.	21
Figura 4. Precipitación y temperaturas medias anuales de la estación meteorológica de la XV Zona Militar de Zapopan, Jalisco.	22
Figura 5. Diagrama que muestra cómo se realizó la investigación.	25
Figura 6. Fases fenológicas (Tomado de Fernández <i>et al.</i> , 1985).	28
Figura 7. Distribución del cultivo en campo.	29
Figura 8. Variabilidad del pH del suelo.	34
Figura 9. Comportamiento de la temperatura mínima y máxima medias mensuales durante el período de desarrollo del frijol en las cuatro fechas de siembra del 2013.	35
Figura 10. Temperatura media y precipitación acumuladas mensual, registradas en la estación climatológica de la XV Zona Militar durante el año 2013.	37
Figura 11. Duración de las etapas de desarrollo de las variedades de frijol en la primera fecha de siembra (06 de marzo).	39
Figura 12. Duración de las etapas de desarrollo de las variedades de frijol en la segunda fecha de siembra (24 de abril).	40
Figura 13. Duración de las etapas de desarrollo de las variedades de frijol en la tercera fecha de siembra (14 de junio).	41
Figura 14. Duración de las etapas de desarrollo de las variedades de frijol en la cuarta fecha de siembra (02 de agosto).	42
Figura 15. Precipitación excesiva durante el mes de septiembre en la etapa de desarrollo vegetativo y floración.	44
Figura 16. Desarrollo vegetativo en la tercera fecha de siembra (14 de junio).	44
Figura 17. Rendimiento de grano de las variedades de frijol, obtenido en las cuatro fechas de siembra.	46
Figura 18. Peso seco de cinco plantas de variedades frijol, obtenido en las cuatro fechas de siembra.	50
Figura 19. Peso de 100 semillas obtenido en las cuatro fechas de siembra	52

Figura 20. Registro de la variable alturas de planta en las cuatro fechas de siembra.	54
Figura 21. Altura de planta obtenida en las cuatro fechas de siembra.	55
Figura 22. Tendencias de las temperaturas mínima diaria, máxima diaria y oscilación térmica diaria (DTR) en Jalisco, en el período 1980-2010.	56
Figura 23. Tendencias de días con $T_{\text{mín}} < 9.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{max}} > 31.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para las estaciones de tipo climático Cálido-subhúmedo y Semicálido-subhúmedo, para la variedad Mulato.	57
Figura 24. Tendencias regionales del número de días con temperatura mínima menor a $9.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y temperatura máxima mayor a $29.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, para Azufrado Tapatío en las estaciones de tipo climático Cálido-subhúmedas y Subcálido-subhúmedas de Jalisco.	58
Figura 25. Tendencia a nivel regional del número de días con temperatura mínima menor a $8.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y temperatura máxima mayor a $31.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, para UGAP-16 en las estaciones con tipo climático Seco y Templado-subhúmedo.	59

RESUMEN

En México, como en la mayoría de los países del mundo, existe preocupación por el cambio climático y sus posibles impactos en el sector productivo. En nuestro país el frijol es uno de los principales cultivos básicos de mayor importancia, tanto en el área destinada a la siembra, como en el volumen de su producción, ya que forma parte de la dieta del mexicano y actualmente se cultiva un gran número de variedades en diferentes ambientes agroecológicos, no obstante, al ser uno de los cultivos más importantes, se desconocen varios aspectos relacionados con sus necesidades climáticas básicas. El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la temperatura sobre la fenología y productividad de cinco variedades de frijol común durante el período 2013, así como evaluar el potencial de adaptación de las variedades al cambio climático con base en índices de extremos térmicos. El estudio se realizó bajo condiciones de riego y temporal, considerando cuatro fechas de siembra; 06 de marzo, 24 de abril, 14 de junio y 02 de agosto, los cuales corresponden al ciclo agrícola primavera-verano (P-V), mediante un diseño de parcelas divididas. Se utilizó información de la estación meteorológica de la XV Zona Militar y el monitoreo de las temperaturas mínima, máxima, media y precipitación diarias en la parcela para determinar el efecto sobre la fenología y la productividad de las cinco variedades estudiadas. Se observaron diferencias significativas entre las variedades y las cuatro fechas de siembra. La duración de las etapas vegetativas (V1 a V4) fueron relativamente uniformes en las cuatro fechas de siembra, en la etapa de prefloración (R5) en adelante se observó que hubo diferencias en la duración de días para llegar a la madurez. Se encontraron diferencias altamente significativas en los factores fechas de siembra y la interacción fecha * variedad, a excepción de las variables adaptación vegetativa y valor agronómico donde solo hubo diferencias altamente significativas en las fechas de siembra. De acuerdo a las tendencias observadas en los índices de extremos térmicos se observan diferentes tendencias de la duración de días con temperatura mínima menor a la temperatura base y temperatura máxima mayor a las temperaturas umbrales para las variedades de frijol estudiadas. Mulato se verá afectada por la duración de períodos cálidos mayores a la temperatura umbral; Azufrado Tapatío se verá afectada por las temperaturas

altas en las regiones Cálidas y Subcálidas subhúmedas de Jalisco, y en lo referente a UGAP-16 presentó una tendencia al incremento en los días con temperaturas muy frías.

ABSTRACT

In Mexico like the majority of the countries of the world there is concern about the climate change and its possible impacts over the productive sector. In our country bean is one of the most important basic crops not only in the area set to sowing, but also on its volume of production, because is part of the Mexican diet and currently it is planting a great number of varieties in different agro-ecological environments, even though is one of the most important crops, there are many aspects related with its basic climate necessities that remain unknown.

The aim of this research was determined the effect of the temperature on phenology and productivity of five varieties of common bean during the period of 2013 as well as evaluate the potential adaptation of the varieties of bean to the climate change based on indicators of thermal extremes.

The study was performed under irrigation and seasonal conditions considering four dates of sowing, March 6th, April 24th, June 14th, and August 2nd, which ones correspond to the agricultural cycle spring-summer, through a design of divided plots. The information was taken from the weather station located on the military area XV and the monitoring of the minimum, maximum, average temperature and the daily precipitation over the plot in order to determine the effect on phenology and productivity from the five bean varieties studied. There were observed significant differences among the bean varieties and the four dates of sowing. The duration of the vegetative stages (V1 to V4) were relatively uniform in the four dates of sowing during the pre-blossoming stage (R5) later on were observed differences in the duration of the days to reach maturity.

There were found highly significant differences in the factors of dates of sowing and the interaction date * variety, except in the variables vegetative adaptation and agronomic value were found highly significant differences in the dates of sowing.

According to the trends observed in the indicators of thermal extremes, there are observed different trends in the duration of days with the minimum temperature lower than base temperature, and maximum temperature higher than threshold temperature for the varieties of bean studied. Mulatto bean will be affected by the duration of hot periods higher than threshold temperature, Azufrado Tapatio bean will be affected by high temperatures in hot

areas, semiarid and humid areas and the UGAP-16 bean displayed a trend toward increased during the days with very cold temperature.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el cambio climático se ha convertido en uno de los temas de mayor preocupación en la comunidad científica, ya que se considera como el mayor desafío para la humanidad en el siglo XXI. Nadie estará exento de las complejas repercusiones que tendrá en todos los continentes y las naciones, pues la atmósfera engloba a toda la vida del planeta, y todas las reacciones químicas que en buena parte se deben a la temperatura (Curiel, 2012).

De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés; IPCC, 2007) el cambio climático se atribuye al incremento de gases de efecto invernadero, entre los que destacan CO₂, metano, halocarbonos, hexafluoruro de azufre y óxido nitroso, emitidos a la atmósfera por transporte, industria, deforestación y agricultura entre otros, que han generado el aumento de emisiones. Las actividades agrícolas e industriales poco a poco han convertido a la humanidad en un factor capaz de cambiar el clima ya que han llegado a modificar las propiedades de la superficie terrestre y la composición química de la atmósfera. En los últimos doce años (1995-2006), once figuran entre los más cálidos registrados desde 1850, la temperatura superficial promedio se ha incrementado 0.6 ± 0.2 °C durante los últimos 100 años, y la lluvia se ha incrementado entre 0.2 a 0.3% en las zonas tropicales del planeta (IPCC, 2007).

De acuerdo con varios investigadores, los cambios que han sido detectados pueden variar de región a región, ya que los impactos de los mismos variarán en la misma escala espacial. Las predicciones de cambio climático están basadas principalmente por emisiones de gases de efecto invernadero y dentro de ellos, del CO₂; en la agricultura las mayores concentraciones de CO₂ pueden tener un efecto fertilizante en las plantas, ya que un incremento en 300 ppm puede llegar a aumentar la producción de biomasa de maíz en un 1 a 48%; en arroz de 16 a 78%; en trigo y otros cereales de invierno entre 0 a 100%.

La temperatura es un factor de primer orden en la producción de cultivos, ya que incide en la tasa de desarrollo y el crecimiento. La temperatura interviene en numerosos procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la transpiración, las velocidades de crecimiento y desarrollo (las diferentes etapas por las que pasa la planta desde la germinación a la madurez de sus frutos). Cualquier modificación de sus valores en una determinada zona hará que el comportamiento de los cultivos sea diferente (Hernández Díaz-Ambrona, 2005).

El incremento de la temperatura que trae consigo el cambio climático está provocando diferentes efectos en la agricultura; por un lado, una mayor temperatura eleva las necesidades de agua de las plantas y por el otro, acelera el desarrollo de los cultivos, que acorta los ciclos de producción y con ello se reducen los rendimientos. El calentamiento del planeta disminuye la duración del periodo de heladas e incrementa la temperatura de regiones agrícolas templadas y semifrías, lo que permite ampliar su patrón de cultivo a especies de origen subtropical o tropical (Ruíz, 2012).

La adaptación y desarrollo de las plantas están determinadas por límites o controles térmicos como las temperaturas umbrales o ceros fisiológicos. Por debajo del umbral mínimo y por arriba del umbral máximo, la actividad celular y el desarrollo del organismo se consideran nulos (Summerfield *et al.*, 1987) Con ello se puede afirmar que conociendo los valores de los umbrales térmicos de una especie vegetal, se pueden determinar sus ambientes de adaptación o recomendación; otro control térmico importante que determina los niveles de desarrollo es la temperatura óptima, ya que cuando la planta habita bajo un régimen de temperatura óptima se obtienen mayores tasas de desarrollo (González *et al.*, 2011). Los umbrales térmicos y la temperatura óptima de una especie son las temperaturas cardinales (Durán *et al.*, 2011). Una vez conociendo las temperaturas cardinales y la fenología de un genotipo, se puede determinar de manera precisa su requerimiento térmico (RT) o unidades calor (UC) necesarias para completar su ciclo de madurez (Ruíz *et al.*, 2002).

En relación al clima, la producción de cultivos está dada, fundamentalmente, por tres elementos: temperatura, luz y agua. De esos tres elementos, la temperatura es considerada

como la más determinante para la adaptación y distribución de los genotipos de las diferentes variedades de cultivos, y especialmente del frijol (Monteiht, 1977).

En México, como en la mayoría de los países del mundo, hay una preocupación por el cambio climático y sus posibles impactos en el sector productivo primario, que es la producción de alimentos. En nuestro país el frijol es uno de los principales cultivos básicos de mayor importancia, tanto en el área destinada a la siembra, como en el volumen de su producción, ya que forma parte de la dieta del mexicano y actualmente, se cultivan numerosas variedades en diferentes ambientes agroecológicos (González *et al.*, 2011) no obstante el ser uno de los cultivos más importantes, se desconocen varios aspectos relacionados con sus necesidades climáticas básicas.

En general, la tolerancia del frijol común a altas temperaturas es baja y la mayoría de las variedades que utilizan los agricultores están adaptadas a regiones de elevaciones media a alta o a siembras en épocas con temperaturas moderadas (Rosas *et al.*, 2000). Barrios-Gómez y López-Castañeda (2009), consideran que las temperaturas óptimas para el cultivo del frijol son de 18 a 24°C, las que caracterizan a las regiones tropicales (400-1,200 msnm). La adaptación del frijol a zonas bajas donde las temperaturas promedio dominantes son superiores a 27°C es relativamente baja y se manifiesta en incrementos en la tasa de respiración en relación a la tasa fotosintética; además de que el frijol es susceptible al estrés del calor durante el desarrollo productivo como lo mencionan Weaver *et al.* (1985). Diversos autores sugieren que los efectos de altas temperaturas reducen la viabilidad del polen, el crecimiento del tubo polínico y la fertilización del ovario (Hall, 2004); acelera la tasa de desarrollo de la planta y acorta el periodo de crecimiento de los órganos reproductores (Gan *et al.*, 2004), ocasionando excesivos abortos de flores y vainas jóvenes y acelerando el número de semillas por vaina, tamaño de semilla y el rendimiento (Leport *et al.*, 2006), así como la aceleración del llenado del grano (Boote *et al.*, 2005).

Por lo tanto hay una gran necesidad de disponer y desarrollar investigaciones que permitan establecer la adaptabilidad del cultivo básico, como lo es el frijol, hacia escenarios futuros para su mejor adaptación a los incrementos de temperatura como lo establecen diversas

investigaciones; de aquí la importancia de generar información detallada fundamentada en las condiciones climáticas presentes y pasadas y con ello los impactos que se esperarían. La información obtenida servirá de sustento para ofrecer bases a los fitogenetistas de especies agrícolas.

2. ANTECEDENTES

2.1. El cultivo del frijol

2.1.1. Importancia del cultivo del frijol

El frijol común es una leguminosa anual, es una herbácea intensamente cultivada desde el trópico hasta las zonas templadas, es una especie termófila, es decir, que no soporta las heladas. Se cultiva prácticamente en todo el mundo, esencialmente para obtener semillas, las cuales tienen un alto contenido proteico, aproximadamente un 22%, calculado con base en la materia seca (Debouck e Hidalgo, 1984). La producción mundial de frijol se ha mantenido a una tasa media de crecimiento anual de 2.8% para el periodo 2000-2010. En el 2010, la producción mundial de frijol se ubicó en 23.2 millones de toneladas (Bendaña, 2014). Los principales productores de frijol a nivel mundial considerando su producción media anual en el periodo de 2000-2010 son: Brasil (16%), India (15.9%), Myanmar (10.5%), China (8.9%), México (5.8%) y los Estados Unidos (5.6%) (Secretaría de Economía, 2012).

En México, en el periodo 2009-2012, el promedio anual de superficie sembrada fue de 1'887,176.77 hectáreas de frijol, cosechándose 1'630,224.84 hectáreas con una producción de 1'156,257.44 toneladas anuales; es uno de los cultivos con mayor importancia en el sector agrícola por la superficie que ocupa y el número de productores incorporados al proceso productivo. Para el estado de Jalisco la superficie sembrada entre esos años fue de 19,082.30 hectáreas con una producción de 17,132.64 toneladas anuales. (SIAP, 2014).

El papel que juega el frijol en el sector agrícola es fundamental, porque representa para la economía campesina una fuente importante de ingresos, así como una garantía de seguridad y soberanía alimentaria, principalmente el autoconsumo (Sistema Producto Frijol, 2013). De acuerdo con información del Comité Nacional del Sistema Producto Frijol, se estima que en México existen 570 mil productores, de los cuales 65.8% son productores de autoconsumo y el restante 34.2% son productores comerciales y en transición.

Como alimento, el frijol es una fuente importante de nutrientes. En Latinoamérica su consumo promedio anual por persona es de 13 kg/año o 36 gr/día por persona; en promedio la semilla contiene 24.7% de proteínas, 69.4% de carbohidratos y 1.7% de lípidos; por otro lado, 100 gramos de materia seca aportan 136 mg de calcio, 9.4 mg de hierro, 0.42 mg de tiamina y 2.7 mg de niacina (Sellie and Bliss, 1991). Además de su aporte nutricional, el frijol es un alimento nutracéutico, es decir, que produce un efecto beneficioso en la salud humana; dichos componentes presentan diferente actividad biológica como moduladores enzimáticos, reductores de colesterol en sangre, ofrecen tolerancia a la glucosa, reducen el tiempo del tránsito intestinal y promueven la buena digestión (Paredes y Valverde, 2006). Los compuestos fenólicos del frijol han mostrado una actividad biológica como antioxidantes, antimutagénicos y anticancerígenos, se encuentran principalmente en la testa de la semilla (Espinosa, 2007).

2.1.2. Morfología y fenología

El frijol común, especie prototipo del género *Phaseolus* y de nombre científico *Phaseolus vulgaris* L., asignado por Linneo en 1753 (Debouck e Hidalgo, 1984), pertenece a la tribu Phaseoleae de la subfamilia Faboideae dentro del orden Fabales (ITIS Report, 2014).

Durante el desarrollo de la planta se presentan cambios morfológicos y fisiológicos que sirven de base para identificar las etapas de desarrollo del cultivo. Los caracteres morfológicos de la especie se agrupan en caracteres constantes y variables; los constantes son aquellos que identifican al taxón, es decir, la especie (Figura 1). Los caracteres variables reciben la influencia de las condiciones ambientales.

El frijol es una planta anual, con raíz fibrosa y tallos herbáceos de crecimiento determinado (terminan con una inflorescencia) o indeterminado (poseen al final una yema vegetativa con capacidad de crecimiento). Los dos primeros pares de hojas son simples y opuestas y a partir del tercer nudo, son alternas, compuestas por tres folíolos (trifoliadas) (Lépiz y Ramírez, 2010). En las axilas que están formadas por el tallo y las hojas, se encuentra un conjunto de tres yemas conocido como tríada; estas pueden ser vegetativas, reproductivas o una combinación de ambas. La inflorescencia es un racimo con flores pediceladas; la flor

consta de cinco sépalos, cinco pétalos, 10 estambres y un pistilo; el cáliz es gamosépalo y los pétalos difieren morfológicamente y en conjunto forman la corola. La semilla carece de endospermo y consta de testa y embrión. El embrión proviene del cigote y consta del eje primario y divergencias laterales; el eje primario se compone de un tallo joven, el hipocotilo y la radícula. Las divergencias laterales son las hojas, las más conspicuas son los cotiledones, que forman la parte voluminosa de la semilla y en ellos se almacenan las proteínas y los carbohidratos (Debouck e Hidalgo, 1984).

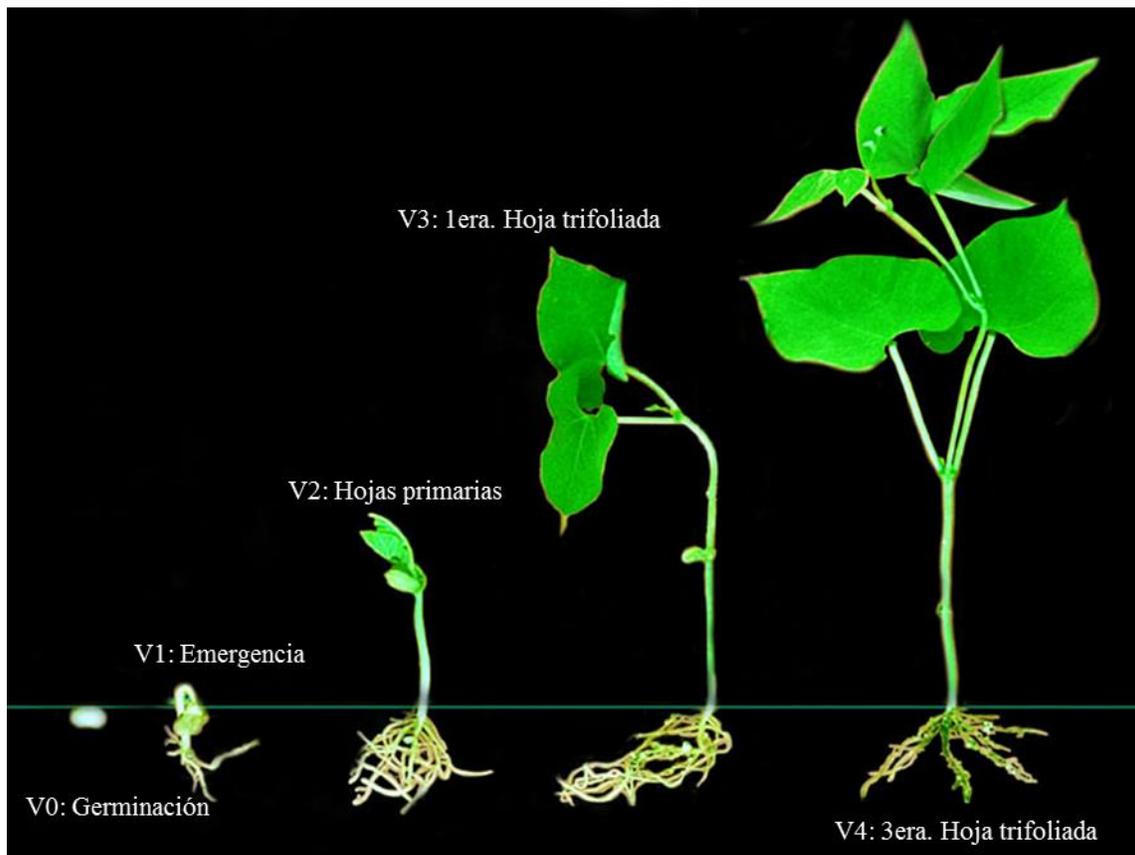


Figura 1. Etapas de desarrollo del frijol (Tomado de Daniela Castro, 2009).

El estudio de fenómenos periódicos de los seres vivos y sus relaciones con las condiciones ambientales de luz, temperatura y humedad, corresponde a la fenología. La aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos vegetales se llama fase (Torres, 1983). La emergencia de las plantas pequeñas, el espigamiento del trigo, brotación de la vid, maduración del maíz, etc., son verdaderas fases fenológicas.

Numerosos autores han publicado escalas de los estados de desarrollo de cultivos en los últimos setenta años, cubriendo diferentes especies de plantas.

Fehr *et al.* (1971), propusieron etapas de desarrollo de la soya que aplicaron a todos los genotipos de soya y frijol cultivados en cualquier ambiente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estadios principales de la soya (Fehr *et al.*, 1971)

<i>Etapa vegetativa</i>	
Estadio	Descripción
V1	Planta con primer nudo verdadero desarrollado.
V2	Segundo nudo, primer trifolio expandido y la segunda hoja trifoliada abierta.
V3	Tercer nudo, segundo trifolio expandido y tercera hoja trifoliada abierta.
V(N)	Enésimo (último) nudo con trifolio abierto sobre el tallo principal, hojas trifoliadas antes de la floración.
<i>Etapa reproductiva</i>	
Estadio	Descripción
R1	Una flor abierta en cualquier nudo de la planta.
R2	Una flor abierta en algunos de los nudos superiores del tallo principal.
R3	Una vaina de al menos 0.5 cm en alguno de los cuatro últimos nudos del tallo principal que tengan hoja totalmente desarrollada.
R4	Una vaina de al menos 2 cm en alguno de los cuatro últimos nudos del tallo principal que tengan hoja totalmente desarrollada.
R5	Una semilla de al menos 3 mm de diámetro de vaina situada en alguno de los cuatro últimos nudos del tallo principal que tengan hoja completamente desarrollada.
R6	Una semilla que ocupó toda su cavidad en una vaina situada en alguno de los cuatro últimos nudos del tallo principal que tenga hoja totalmente desarrollada.
R7	Cuando el 50% de sus vainas llegaron a un color amarillo (madurez fisiológica).
R8	Cuando el 95% de sus vainas llegaron a un color marrón.

Fernández *et al.* (1985), describió que las etapas del desarrollo en el cultivo del frijol, que pueden ser utilizadas en todos los tipos de hábito de crecimiento y con todos los genotipos encontrados dentro de estos tipos; se dividen en dos fases: la fase vegetativa y la fase reproductiva (Cuadro 2).

Cuadro 2. Etapas de desarrollo del frijol (Fernández *et al.*, 1985)

<i>Etapa vegetativa</i>	
Etapa	Descripción
V0	Germinación
V1	Emergencia
V2	Hojas primarias
V3	Primera hoja trifoliada
V4	Tercera hoja trifoliada
<i>Etapa reproductiva</i>	
Etapa	Descripción
R5	Prefloración
R6	Floración
R7	Formación de vainas
R8	Llenado de las vainas
R9	Maduración

Otros autores utilizan la escala BBCH, la cual es un sistema para identificación fenológica de los estadios de crecimiento de especies de plantas mono y dicotiledóneas (Meier *et al.*, 2009). El ciclo completo del desarrollo de las plantas se subdivide en 10 fases principales (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estadios principales de crecimiento escala BBCH (Meier *et al.*, 2009)

Etapa	Descripción
0	Germinación, brotación, desarrollo de la yema.
1	Desarrollo de las hojas (brote o tallo principal).
2	Formación de brotes laterales/macollamiento (ahijamiento).
3	Crecimiento longitudinal del tallo o crecimiento de roseta, desarrollo de brotes (retoños)/ encañonado (tallo principal).
4	Desarrollo de las partes vegetativas cosechables de la planta o de los órganos vegetativos de propagación / embuchamiento.
5	Emergencia de la inflorescencia (tallo principal) / espigamiento.
6	Floración (tallo principal).
7	Desarrollo del fruto.
8	Colocación o maduración de los frutos y semillas.
9	Senescencia, comienzo de la dormancia.

2.1.3. Limitantes en el cultivo

En México se distinguen cuatro regiones productoras de frijol, dos en el Altiplano y dos en el Trópico (Acosta-Gallegos *et al.*, 2000). Entre regiones, la problemática de las limitantes del cultivo es diferente; en los factores abióticos destaca la baja disponibilidad de agua para riego (Noroeste, Noreste y Bajío), las bajas y erráticas precipitaciones pluviales, suelos con baja fertilidad (Centro Norte), salinos (Noroeste) o ácidos (Sureste) y con baja capacidad de retención de la humedad (Centro Norte). Entre los factores bióticos, las plagas, malezas y las enfermedades destacan por los daños causados al cultivo (todas las regiones productoras), ya que atacan todos los órganos de la planta durante la etapa de crecimiento y reproducción, causando daños directa o indirectamente y/o en asociación con agentes patógenos (Esquivel-Villagrana *et al.*, 2002; Acosta-Gallegos, 1998).

En la región del altiplano semiárido los principales estados productores son Zacatecas, Durango, Chihuahua y Guanajuato (región norte-centro), los bajos rendimientos en condiciones de secano, se deben principalmente al errático y mal distribuido temporal de

lluvias, además de las enfermedades como antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), roya (*Uromyces appendiculatus* var. *appendiculatus*), tizón común (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*) y las pudriciones de raíz ocasionadas por un complejo fungoso (*Rhizoctonia solani*), (*Fusarium* sp.).

La región templada-subhúmeda se localiza en la parte central de la República Mexicana y comprende parte de los estados de Puebla, Guanajuato, Querétaro, Jalisco, Michoacán, Hidalgo, Tlaxcala, Morelos y Oaxaca. Se presentan las enfermedades similares a las observadas en la región semiárida (insectos plaga) y ocasionalmente presentan problemas originados por la sequía y las bajas temperaturas al final del ciclo del cultivo.

En la región del trópico-seco, los principales estados productores de frijol son Sinaloa y Nayarit (noreste y noroeste); las principales limitantes de la producción son las enfermedades y las plagas, entre las que destaca la virosis (complejo de tres virus), el tizón común, el moho blanco (*Sclerotinia sclerotiorum*) y la roya. Entre las plagas, la de mayor importancia es la mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennaduis) que es el principal vector del virus del mosaico dorado. Además de presentarse problemas de tipo agronómico como la pérdida de grano en el proceso de cosecha mecanizada, el alto costo de la misma y el control inadecuado de plagas y enfermedades.

Por último, en la región del trópico húmedo, los principales estados productores son Chiapas y Veracruz (sur y sureste), las principales limitantes de la producción son enfermedades como el mosaico dorado, mosaico común y las plagas como la chicharrita (*Empoasca kraemeri*) y el minador de la hoja (*Liriomyza* sp.), además de presentar suelos ácidos de alta pendiente y pobres en nutrientes (Acosta-Gallegos *et al.*, 2000).

2.2. Los impactos del cambio climático en las actividades agrícolas

La tendencia sostenida a largo plazo de los factores del clima o cambio climático, se ha convertido en uno de los temas de mayor preocupación para la comunidad científica, así como para la población en general (Ruíz, 1998). La producción de alimentos en nuestro país se obtiene esencialmente en tierras de labor, en siembras bajo condiciones de temporal

o condiciones de riego y en una menor proporción en invernaderos o instalaciones con malla sombra. Se cultivan especies de ciclo anual, perenne y semiperenne en una amplia gama de ambientes climáticos. En todos los ambientes de producción el cambio climático incrementará la vulnerabilidad de los sistemas de producción, y representa ya una amenaza para la producción de alimentos, ya que modificará la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos como sequías, olas de calor, inundaciones, heladas, granizadas y vientos fuertes entre otros.

El aumento en la temperatura en áreas agrícolas (Ruiz *et al.*, 2010; Zarazúa *et al.*, 2011) puede tener efectos negativos en el potencial productivo de los cultivos, un aumento en la temperatura acelera el proceso de madurez de las plantas, se acorta su ciclo biológico y su etapa reproductiva, causando una disminución en el rendimiento económico de los cultivos (Ruíz *et al.*, 2011).

La literatura señala múltiples evidencias del incremento de la temperatura, principal indicador del cambio climático. Ruíz *et al.* (2010) y Zarazúa *et al.* (2011) mencionan que estudios recientes en áreas agrícolas de México han registrado incrementos en la temperatura desde la década de los años 90's.

El documento del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, establece en el documento "México, quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", que la temperatura en el período de 1901-2009 presentó un incremento medio de menos de 2°C y la precipitación anual disminuyó un 11% (INE, 2012). El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007-2012 (Calderón, 2007), indica en las estrategias 11.2 y 11.3, la necesidad de desarrollar nuevos escenarios climáticos a nivel regional, así como evaluar los impactos en sistemas ecológicos. Adicionalmente, el tercer informe de ejecución 2009 del PNS 2007-2012 del Gobierno Federal, refiere el comienzo del nuevo estudio de "Evaluación de la vulnerabilidad y propuestas de adaptación a nivel regional de algunos cultivos básicos y frutales ante escenarios de cambio climático", que han obligado a instituciones responsables de investigación científica a desarrollar proyectos regionales para cubrir los objetivos

planteados al respecto con este plan (Zarazúa *et al.*, 2011). Dentro de este proyecto federal, el INIFAP está desarrollando el proyecto “Cambio climático y su impacto sobre el potencial productivo agrícola, forrajero y forestal en México”, en el cual se inserta esta investigación.

2.3. Efectos del cambio climático e incremento en las temperaturas

En los últimos 30 años el interés por el cambio climático se ha incrementado, principalmente en lo que respecta a las estimaciones a nivel global relacionadas por el efecto de invernadero, las cuales reflejan un incremento en la temperatura de la atmósfera terrestre (Santillán-Espinoza *et al.*, 2011). El incremento ha sido de 0.084 ± 0.021 °C por decenio de 1901 a 2005 y de 0.268 ± 0.069 °C por decenio entre 1979 y 2005 (Brohan *et al.*, 2006). El cambio climático se ha convertido en uno de los temas de mayor preocupación, tanto para la comunidad científica como para la población en general, pero ¿qué es el cambio climático?; el concepto de cambio climático, es definido como una tendencia sostenida a largo plazo y el término de variación climática implica fluctuaciones cíclicas con períodos de tiempo que pueden variar de acuerdo con la variable climática en cuestión (Ruíz, 1998). Atendiendo a estas dos definiciones, los investigadores en este campo opinan que no se debe hablar de cambios climáticos mientras no se disponga de una serie de bases climáticas suficientes como para detectar tendencias a largo plazo. Esto ha dado como resultado la búsqueda de otros métodos para conocer el pasado climático y la reconstrucción del clima (Deming, 1995).

Los descubrimientos en este tipo de estudios han demostrado variaciones climáticas cíclicas a largo y corto plazo, donde las principales causas son naturales y antropogénicas.

Dentro de las causas naturales se encuentran:

a) Ciclos de manchas solares: el sol provee una fuente de energía para todos los fenómenos biofísicos sobre la tierra y el balance global entre la luz solar incidente y la fuga de radiación de onda larga que determina el clima. Las pequeñas variaciones de 1-2% en la radiación solar tienen potencial para causar cambios climáticos significativos como los relacionados con el sobrecalentamiento por el efecto invernadero (Robock *et al.*, 1993).

b) Periodicidades astronómicas: investigadores de la variabilidad y el cambio climático, consideran que las periodicidades astronómicas influyen en la atmósfera de manera directa e indirecta, ya que la periodicidad más importante está asociada con la fuerza de las mareas solares y lunares (Munk *et al.*, 2002); un ejemplo de ello es que la capa de los 500 mb de presión cambia considerablemente en el hemisferio norte durante las primeras 24 horas después de una ráfaga solar.

Dentro de las causas antropogénicas se encuentran:

a) Gases de efecto invernadero: la concentración de gases de efecto invernadero, así llamados por absorber la radiación de onda larga, ha venido en aumento en las últimas décadas debido a actividades humanas. Dentro de los gases de efecto invernadero más importantes están el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), los clorofluorocarbonos (CFCs), el óxido de nitrógeno (N₂O) y el vapor de agua estratosférico (H₂O) (IPPC, 2007) con una contribución relativa de 56, 24, 11, 6 y 4% respectivamente (Houghton *et al.*, 1990). De acuerdo al IPCC (IPPC, 2007) las actividades humanas están modificando la concentración y distribución de los gases de efecto invernadero y los aerosoles de la atmósfera; la cantidad de bióxido de carbono se ha incrementado 35% aproximadamente en la era industrial y esto se debe a la quema de combustible fósil y a la eliminación de bosques (IPPC, 2007).

b) Cambios de uso de suelo: los cambios en la superficie del suelo, principalmente la deforestación, ya que no sólo provee una fuente de CO₂ y CH₄ a la atmósfera, sino que también modifica el albedo de la superficie y la tasa de evaporación (IPPC, 2007). En las zonas tropicales en que la vegetación tropical ha sido sustituida a cultivo agrícola, la absorción de CO₂ ha disminuido (Lawton *et al.*, 2001).

c) Aerosoles: son partículas suspendidas constituidas principalmente por metales, compuestos orgánicos, material de origen biológico, iones, gases reactivos y carbón; su tamaño varía desde 0.005 hasta 100 µm de diámetro aerodinámico (da) (Rojas y Garibay, 2003). Los aerosoles de origen antropogénico emitidos a la troposfera, pueden reflejar

radiación solar, contribuyéndose en un forzante radiactivo negativo que tiende a enfriar el sistema climático. Dado que algunos aerosoles como el hollín de las fábricas, absorben radiación solar, su presencia puede resultar también proclive al calentamiento. La presencia de aerosoles puede alterar la cantidad y reflectancia de las nubes, por lo que se estima que su efecto final es el de enfriar el sistema climático (Magaña, 2004).

2.3.1. Tendencias de temperatura

En las diferentes regiones del planeta se han realizado estudios para conocer las tendencias de temperatura y determinar sus diferencias y afectaciones con respecto a la climatología actual, utilizando para ello metodologías que disminuyan errores sistemáticos al utilizar series de 30 años y que permitan detectar variaciones pequeñas en las temperaturas. Estas diferencias son conocidas como anomalías (Leroy, 1999), y se obtienen al promediar las temperaturas de diferentes períodos (10 años), (30 años) y en algunos casos quinquenios.

Las temperaturas se han determinado a escala global, regional y local, encontrando diferencias entre ellas. Los investigadores han utilizado valores de anomalías determinadas a nivel global, estas se encuentran en la base de datos HadCRUT4, producto de la colaboración del Meteorological Office Hadley Centre y el Climatic Research Unit, University of East Anglia en el Reino Unido (MetOffice, 2013); son una serie de datos de las anomalías de temperatura superficial históricas, para cada mes desde enero de 1859 en una cuadrícula de 5° x 5° a nivel global.

En el curso de la historia del clima del último milenio, se han registrado diversos fenómenos que han marcado la tendencia de la temperatura. Se han observado aumentos en las temperaturas globales de la superficie terrestre durante el siglo XX y la variabilidad climática inusual se ha observado en varias regiones del mundo. El promedio global de la temperatura del aire superficial se ha incrementado cerca de 0.6 °C a partir de 1860, que es la fecha más lejana que se cuenta con información suficiente. Nuevos estudios y análisis indican que el calentamiento del siglo XX fue probablemente el más grande que en cualquier otro siglo en los pasados 1,000 años para el hemisferio norte (Salinger, 2005). A nivel mundial, la década de los 90's fue la más cálida y el año de 1998 ha sido el más

caluroso desde 1860. Jones *et al.* (2009), reportó que el año 2009 fue el sexto más caluroso en el récord global (Figura 2), excedido por 1998, 2002, 2003, 2004 y 2005, registrando una anomalía de 0.43°C sobre la media de referencia 1961-1990.

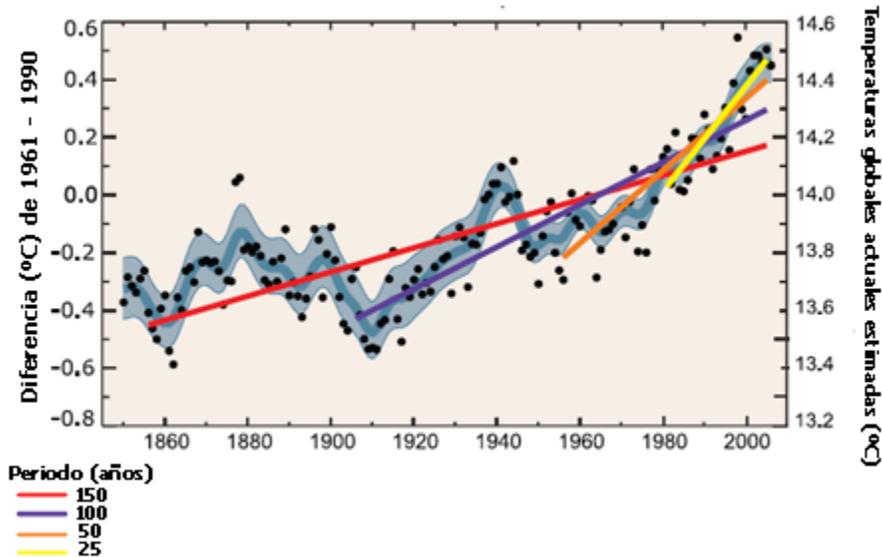


Figura 2. Variaciones en la temperatura de la superficie de la Tierra durante los últimos 140 años (Tomado del IPCC, 2007).

La Organización Meteorológica Mundial indica en su declaración anual del 2013, que el año 2007 junto con el 2013, fue el séptimo año más cálido desde que se tienen registros, continuando así la tendencia al calentamiento a largo plazo. Cada uno de los tres últimos decenios ha sido más cálido que el anterior, siendo 2001-2010 el decenio más cálido registrado. El promedio de la temperatura mundial de la superficie del océano y de la tierra en 2013 fue de 14.5°C, esto es, superior en 0.50 °C a la media de 1961-1990 y en 0.03 °C a la media decenal de 2001-2010. Las temperaturas fueron especialmente cálidas. Australia registró el año más caluroso del que se tenga registro y Argentina el segundo más cálido (OMM, 2014).

En lo que respecta a las temperaturas regionales, durante los primeros nueve meses de 2013 se registraron temperaturas superiores a la media en la mayoría de las superficies terrestres en el mundo, sobre todo en Australia, el norte de América del Norte, el noroeste de América del Sur, el norte de África y gran parte de Eurasia.

La temperatura es uno de los factores ambientales importantes que influyen en los procesos de crecimiento y desarrollo de los cultivos (Machado *et al.*, 2006), ya que al incrementar la temperatura ambiental puede afectar su tasa de crecimiento, limitar su actividad fotosintética y aumentar su respiración (Lawlor, 2005; Ojeda-Bustamante *et al.*, 2011). La adaptación y desarrollo de las plantas está condicionada por límites y controles térmicos llamados temperaturas umbrales o ceros fisiológicos. Por debajo del umbral mínimo y por arriba del umbral máximo, la actividad celular y el desarrollo de la planta se consideran nulos (Summerfield *et al.*, 1989; González *et al.*, 2011). Así mismo, se puede afirmar que, conociendo los valores de los umbrales térmicos para una especie vegetal, se pueden determinar sus ambientes de adaptación o recomendación. Otro control térmico importante es la temperatura óptima, la cual determina los niveles del desarrollo de la planta (Slafer and Savin, 1991). En conjunto, los umbrales térmicos y la temperatura óptima de una especie son conocidos como temperaturas cardinales (Durán *et al.*, 2011). Conociendo las temperaturas cardinales y mediante la caracterización fenológica de un genotipo, se puede determinar de manera precisa el requerimiento térmico (RT) o unidades calor (UC) necesarias para completar su ciclo de madurez (Ruíz *et al.*, 2002).

El acortamiento del ciclo fenológico puede disminuir el rendimiento potencial de los cultivos, al reducir el periodo de intercepción de la radiación, que es otro de los principales determinantes de la acumulación de materia seca y rendimiento (Monteith, 1981).

En frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) los bajos rendimientos en temporal se deben principalmente a periodos frecuentes de sequía, altas temperaturas durante la etapa reproductiva, las cuales pueden causar pérdida total del rendimiento (Acosta-Gallegos *et al.*, 2000). El frijol crece en temperatura promedio de 15 a 27 °C, con una gran amplitud entre variedades, siendo la temperatura óptima de 25°C. Pero las altas temperaturas afectan la fenología y el rendimiento de semilla, Monterroso and Wien (1990) en su investigación de calor por estrés en frijol detectaron que en un período de 10 horas a 35°C durante dos días en la etapa de floración ocasiona abscisión de vainas (<2 cm de longitud) y deshidratación de polen. Las temperaturas extremas pueden causar esterilidad de flores e inhibición de la floración; la planta de frijol puede soportar temperaturas extremas de 5 y

40°C. En la planta de frijol, se registran descensos significativos en la captación de CO₂, por el efecto combinado de estrés hídrico y de temperatura (Ruiz *et al.*, 1999), además, requiere que la humedad se distribuya uniformemente, ya que las grandes precipitaciones pueden causar pérdidas en la floración y el volcamiento de las plantas debido a su irregular distribución.

Se reporta que los mayores rendimientos de leguminosas se obtienen en zonas con temperaturas entre los 18 y 24°C; temperaturas mayores de 27°C producen caídas de flores y reducen el número de granos en la vaina (White, 1985).

En México, el frijol ocupa el 8.2% de la superficie total sembrada (INEGI, 2012), participa con el 2% del valor de la producción agrícola (cerca de 14 mil millones de pesos) y concentra entre 1.7 y 1.8 millones de hectáreas. En el 2012, la producción de frijol alcanzó 1.1 millones de toneladas, en 2013 1.3 millones y para 2014 se estima la misma producción que en 2013, el rendimiento promedio es de 700 kg por hectárea (Financiera Rural, 2014); ya que el cultivo se desarrolla con un régimen de precipitación deficitario y errático, registrándose con frecuencia períodos de sequía intermitente, la cual puede ocurrir en cualquier etapa del desarrollo del cultivo (Acosta-Díaz *et al.*, 2011), ya que el frijol no es reconocido como una especie resistente a la sequía.

Bajo la hipótesis de que en los próximos 50 años la concentración actual de CO₂ atmosférico se podría duplicar como producto de las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la actividad humana, los Modelos de Circulación General (GCM), estiman que se producirán incrementos en la temperatura, la evaporación y la transpiración, así como cambios en el régimen pluviométrico (McKenney and Rosenberg, 1993). Considerando que los procesos fisiológicos en los organismos vegetales, tales como la respiración, fotosíntesis y transpiración, transcurren solamente a determinadas temperaturas, la temperatura del aire tiene una gran importancia en el desarrollo de las plantas (Chacón, 1985). Evidentemente, cualquier alteración en el patrón climático va a incidir directamente en la respuesta de los cultivos al medio, por lo que, las condiciones climáticas resultantes de este calentamiento, afectarían tanto a la actividad agrícola como a

su entorno biológico, alterando la distribución e incidencia de malezas, plagas y enfermedades (Porter *et al.*, 1992; Patz *et al.*, 1996).

2.4. Índices de cambio climático (del ETCCDI)

De acuerdo con Klein-Tank *et al.*, (2009), para tener una perspectiva uniforme de los cambios en clima y extremos climáticos, el “Equipo de Expertos para la Detección, Monitoreo e Índices de Cambio Climático” (ETCCDMI), ha definido una serie de 27 índices que describen características particulares de los extremos, incluyendo frecuencia, amplitud y persistencia. Los cambios proyectados en estos índices son indicativos de cambio climático futuro en los parámetros meteorológicos extremos. Información detallada sobre estos índices se puede encontrar en Alexander *et al.*, (2006), Klein-Tank *et al.*, (2009) y Zhang *et al.*, (2011).

Vincent *et al.* (2005), determinaron que los extremos de temperatura cambian para Suramérica, al encontrar que las noches más frías cambian a más cálidas y que las noches tropicales tienden al incremento. Gallant and Karoly (2010), por su parte, mencionan que en Australia se ha incrementado la duración de extremos cálidos y húmedos, mientras la duración de extremos frescos y secos ha disminuido. Sensoy *et al.* (2013), concluyeron que para Turquía los extremos como días de verano, noches tropicales y noches cálidas se han incrementado, mientras que noches y días frescos han disminuido. Estas variaciones en los extremos meteorológicos tendrán impactos en diferentes sectores entre ellos el agrícola, tal como lo indica el IPCC en su cuarto reporte (IPCC, 2007), al considerar que en zonas templadas se presentará un aumento en el rendimiento de cultivos agrícolas debido al incremento de temperaturas, pero en zonas cálidas el incremento de temperatura afectará al rendimiento.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. Hipótesis

3.1.1. La temperatura ambiental afecta de diferente manera al comportamiento fenológico y de productividad de variedades de frijol, lo cual implica diferencias en su potencial de adaptación al cambio climático.

3.2. Objetivos

3.2.1. Determinar el efecto de la temperatura sobre la fenología y productividad de las variedades de frijol común.

- Caracterizar la fenología de cinco variedades de frijol en condiciones de campo bajo diferentes fechas de siembra.
- Determinar el efecto de las temperaturas sobre la fenología y productividad de las variedades de frijol al variar la fecha de siembra.
- Evaluar el potencial de adaptación de las variedades de frijol, al cambio climático con base en índices de extremos térmicos.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del Estudio

El experimento se realizó en 2013 bajo condiciones de riego y temporal en el Campo Experimental “Las Agujas” del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, de la Universidad de Guadalajara, ubicado en el km 15.5 de la carretera Guadalajara-Nogales, con una latitud Norte de 20°44'48.78” y longitud Oeste de 103°30.55.74” a 1,670 msnm (Figura 3).

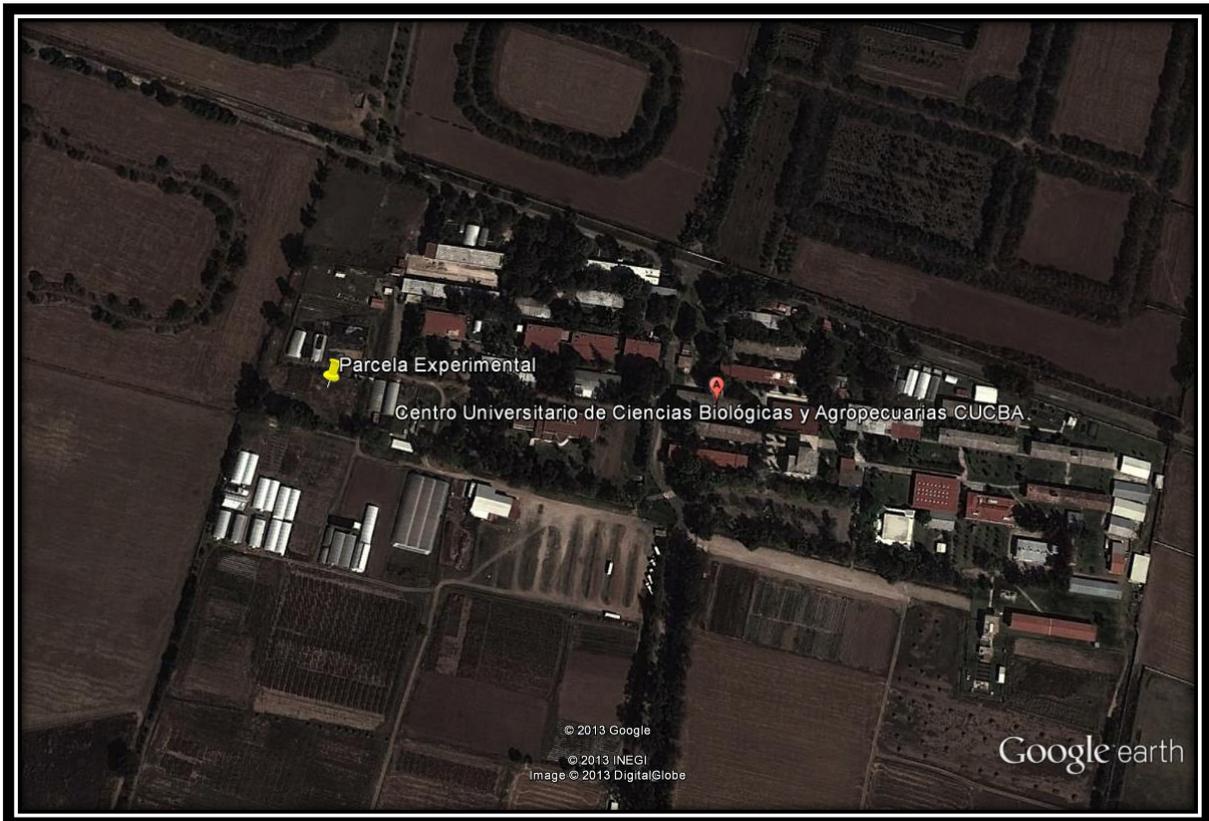


Figura 3. Ubicación geográfica de la Parcela Experimental.

Clima: el sitio de estudio tiene un clima que corresponde al semicálido subhúmedo con lluvias de verano (A)Ca(w₁)(w)eg, con un porcentaje de lluvia invernal <5%, oscilación térmica anual entre los 7 y 14°C y el mes más cálido >22°C (Figura 4), la temperatura del mes más frío <18°C y temperatura media anual entre 18 y 22°C, con una precipitación promedio anual de 999.3 mm (Ruíz *et al.*, 2012).

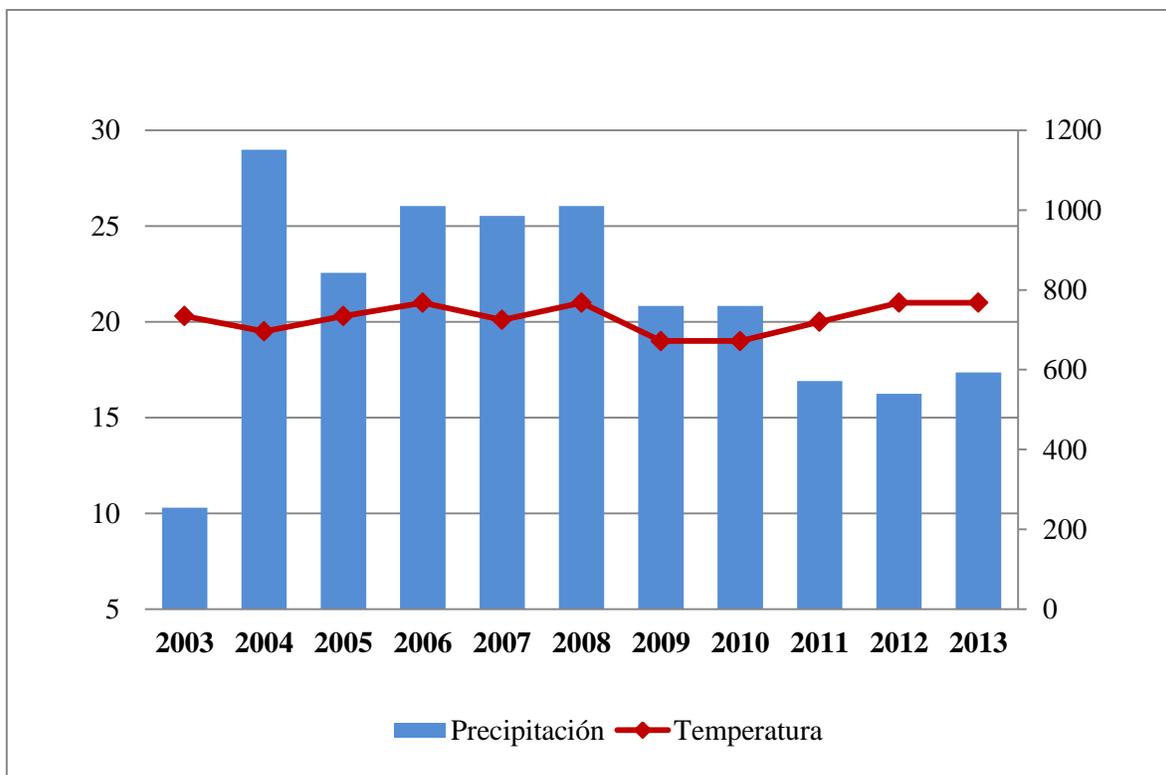


Figura 4. Precipitación y temperaturas medias anuales de la estación meteorológica de la XV Zona Militar de Zapopan, Jalisco.

Suelos: en el área de estudio predominan los suelos del tipo Regosol (Ibarra *et al.*, 2008), que cubren más del 90% de la superficie agrícola. Los regosoles son suelos formados a partir de materiales no consolidados, de una textura arenosa. Se caracterizan por no presentar capas distintas. En general, son claros y en ocasiones están acompañados de afloramiento de rocas y tepetate y son susceptibles a la erosión (FAO, 2007).

4.2. Materiales

4.2.1. Variedades de frijol

Se utilizaron cinco variedades de frijol: Azufrado Tapatío, UGAP-16, Burrito, Mulato y Azufrado Bolita. Los materiales evaluados fueron proporcionados por el Proyecto de “Desarrollo de variedades de frijol de grano preferente y alto rendimiento para el Occidente de México”, de la Universidad de Guadalajara (Cuadro 4).

Cuadro 4. Variedades de frijol utilizadas y algunas de sus características básicas

Genotipo	Genealogía	Origen Línea	Hábito de Crecimiento	Color de Semilla	Resistencia a enfermedades	Área de adaptación
Burrito	PT-98016	INIFAP	Hábito indeterminado o postrado guía corta tipo IIIa	Pinto café	Resistente a antracnosis, bacteriosis común y roya.	Centro, Sur, Valle y Altos de Jalisco, Centro Norte de México.
Azufrado Tapatío	MAM 13	CIAT	Hábito indeterminado postrado, guía corta, tipo IIIa.	Bayo azufrado	Resistente a roya y bacteriosis de halo; resistencia intermedia a antracnosis y bacteriosis común.	Centro, Sur, Valles y Altos de Jalisco, Centro Norte de México.
Mulato	NAB 69	CIAT	Hábito indeterminado erecto guía corta, tipo IIa	Negro pequeño opaco	Resistente a antracnosis y a roya, resistencia intermedia a bacteriosis común. Planta erecta de vainas altas.	Centro, Sur, Valles y Altos de Jalisco. Amatlán de cañas e Ixtlán del Río, Nayarit.
UGAP-16	CBA-7-11-M-2-M	UdG	Hábito determinado erecto tipo Ia	Bayo azufrado	Resistencia a antracnosis, bacteriosis de halo, bacteriosis común y roya.	Centro, Sur, Valles y Altos de Jalisco.
Azufrado Bolita	CBA-7-23-M-30-M	UdG	Hábito determinado erecto tipo Ia	Amarillo azufrado	Resistente a antracnosis, bacteriosis de halo, bacteriosis común y roya.	Centro, Sur, Valles y Altos de Jalisco.

4.2.2. Material de campo

Terreno para siembra (2,500 m²), agua para riego, cintilla para riego, etiquetas de identificación, cinta métrica de 20 metros, hilo de rafia, estacas de madera, balanza granataria OHAUS triple barra, barrena, tamizador, digital, bolsas de papel y plástico y azadones.

4.2.3. Insumos agroquímicos

La preparación adecuada de los suelos para la siembra del frijol, está en función del tipo de suelo y del cultivo anterior, es por ello que se preparó el suelo con un barbecho y un paso de rastra para eliminar bordos pequeños y desmenuzar los terrones grandes al igual que eliminar la maleza que se desarrolló durante los primeros meses de año. Se aplicó en el fondo del surco y antes de la siembra la fórmula 50-50-0 de Nitrógeno (N), Fósforo (P_2O_5) y Potasio (K_2O) en los surcos trazados y se complementó con un fertilizante foliar compuesto. Para el control de la maleza se utilizaron los herbicidas post-emergentes Flex (hoja ancha) y Fusilade (gramíneas) a razón de 0.4 l/ha cada uno solos o en mezcla y se hizo deshierbe manual para mantener el cultivo libre de maleza. Para el control de plagas se utilizó Tamarón 600 LE, Paration metílico al 3%, el fungicida Draconil (75 grs) y Confidor (12.5 ml).

4.2.4. Equipo de laboratorio

Se utilizó la estufa eléctrica Binder para deshidratar las plantas de frijol, balanza electrónica Sartorius Mod. TE412 para la obtención del peso de semillas y la biomasa, vaso de precipitado, agitador orbital TEMSA Mod. JTR-04, potenciómetro Zeromatic Mod. SS-3 para la obtención del pH y la materia orgánica del suelo.

4.2.5. Base de datos.

Se utilizaron los datos diarios, mensuales y anuales de temperatura máxima, temperatura mínima y temperatura media de la estación 14169 perteneciente a la red de estaciones de la Comisión Nacional del Agua, y de la estación meteorológica de la XV Zona Militar de Zapopan, Jalisco.

4.3. Métodos.

La presente investigación se desarrolló en campo y se utilizó el siguiente esquema metodológico que se observa en la Figura 5.

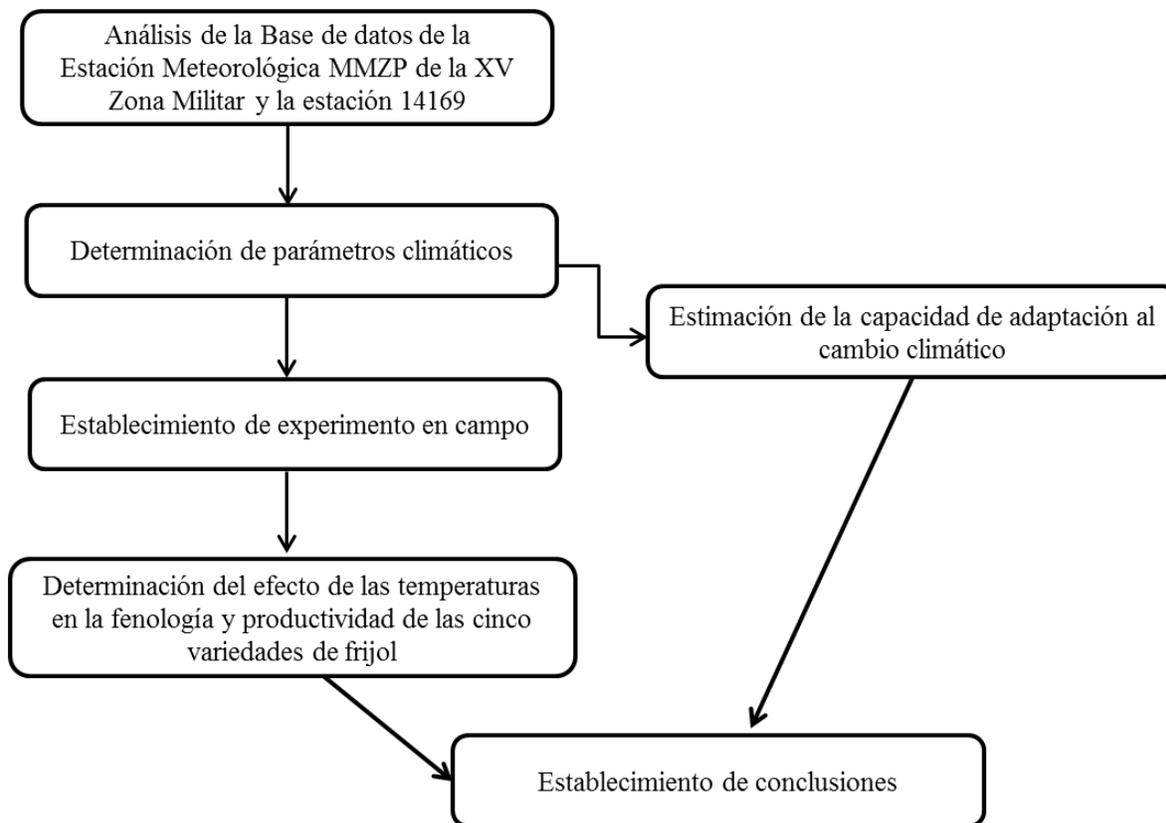


Figura 5. Diagrama que muestra cómo se realizó la investigación.

4.3.1. Diseño de tratamientos del ensayo en campo

El trabajo incluyó el efecto de dos factores sobre el rendimiento y otras variables agronómicas del frijol: fechas de siembra y variedades. Se utilizaron cuatro fechas de siembra: 06 de marzo, 24 de abril, 14 de junio y 02 de agosto del 2013. Las variedades utilizadas fueron: Azufrado Tapatío, Burrito, Mulato, UGAP-16 y Azufrado Bolita.

4.3.2. Muestreo y análisis del suelo.

Se llevó a cabo un muestreo compuesto de suelo en la parcela donde se estableció el ensayo de campo, para ello se tomaron tres muestras de suelo de cada parcela con una barrena a una profundidad de 30 centímetros; posteriormente se mezclaron las muestras, se homogenizaron y tamizaron a fin de tener una muestra representativa. Las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente (22-25°C), tamizadas con tamiz de malla de 2 mm; para la caracterización del suelo se determinó el pH y la materia orgánica siguiendo las técnicas establecidas en la NOM-021-SEMARNAT-2000.

4.3.3. Determinación de parámetros climáticos

Durante el desarrollo de los experimentos de campo se monitoreó la temperatura mediante higrotermómetro instalado en la parcela. La precipitación se obtuvo de la Estación Meteorológica de la XV Zona Militar.

4.3.4. Método de siembra

La siembra se realizó de forma manual depositando 100 semillas por surco de cuatro metros a una distancia de 4.5 centímetros entre semillas, a una profundidad de tres centímetros; la parcela útil contó con dos surcos centrales. El cultivo se manejó de acuerdo al paquete tecnológico “El cultivo del frijol en la regiones Centro y Sur de Jalisco” (Lépiz *et al.*, 2007). La fertilización fue a “chorrillo” al momento de la siembra, con el tratamiento de 50-50-0 de Nitrógeno (N), Fósforo (P_2O_5) y Potasio (K_2O) respectivamente. Las dos primeras fechas de siembra fueron por medio de riego y en las dos últimas fueron de temporal.

4.3.5. Diseño experimental.

Se utilizó un diseño de parcelas divididas; la parcela mayor fue la fecha de siembra y la parcela menor para las cinco variedades. Las variedades dentro de fechas se sembraron bajo un arreglo de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La parcela menor correspondiente a las variedades fue de cuatro surcos de cuatro metros de longitud, trazados a 0.75 metros de separación.

4.3.6. Variables de plantas evaluadas

Número de plantas. Se recolectaron y registró el total de plantas en la parcela útil de cada uno de los tratamientos.

Altura de planta. Se tomaron cinco plantas al azar dentro de cada parcela, en cada uno de los tratamientos. Se registró la altura en centímetros, desde el nivel del suelo hasta la última hoja trifoliada extendida en la etapa R6 (floración).

Materia seca. En la etapa R7 (formación de vainas), se extrajeron cinco plantas al azar de los surcos laterales de la parcela, se pre-secaron en el invernadero durante cinco días y se llevaron a materia seca en estufa eléctrica a 40°C durante ocho días para determinar el peso seco.

Peso de 100 semillas. Después de la cosecha, se tomaron muestras de 100 semillas de cada tratamiento y se les registró su peso en gramos.

Rendimiento de grano. Después de arrancar y contar las plantas de la parcela útil de cada tratamiento, estas se secaron al medio ambiente o en invernadero por ocho días, antes de proceder a la trilla. El grano se depositó en bolsas de papel para continuar con su secado antes de registrar su peso en gramos.

4.3.7. Análisis estadístico

Los datos de los experimentos de campo de las variables agronómicas se analizaron con el software SPSS Statistics versión 7.5. Se realizó un análisis de varianza mediante el modelo univariante correspondiente a parcelas divididas, en la cual las fechas de siembra correspondieron a las parcelas grandes, las variedades de frijol a las parcelas chicas, las réplicas se trataron como bloques y se utilizó el número de plantas por unidad experimental como covariable, para cada una de las variables de estudio. Se corroboró la homogeneidad de varianzas, y al realizar el análisis de covarianza para cada variable determinada se utilizó la prueba de Duncan al 5% ($P \leq 0.05$) para la comparación de promedios.

4.3.8. Etapas de desarrollo

Durante el desarrollo de la planta identificaron las etapas fenológicas del frijol tomando como base el esquema (Figura 6) propuesto por Fernández *et al.* (1985).

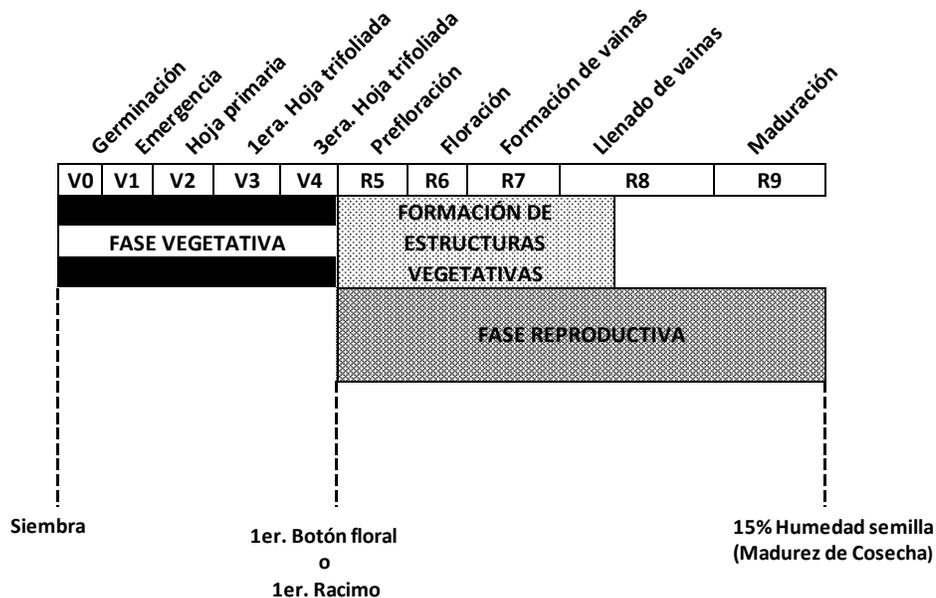


Figura 6. Fases fenológicas (Tomado de Fernández et al., 1985)

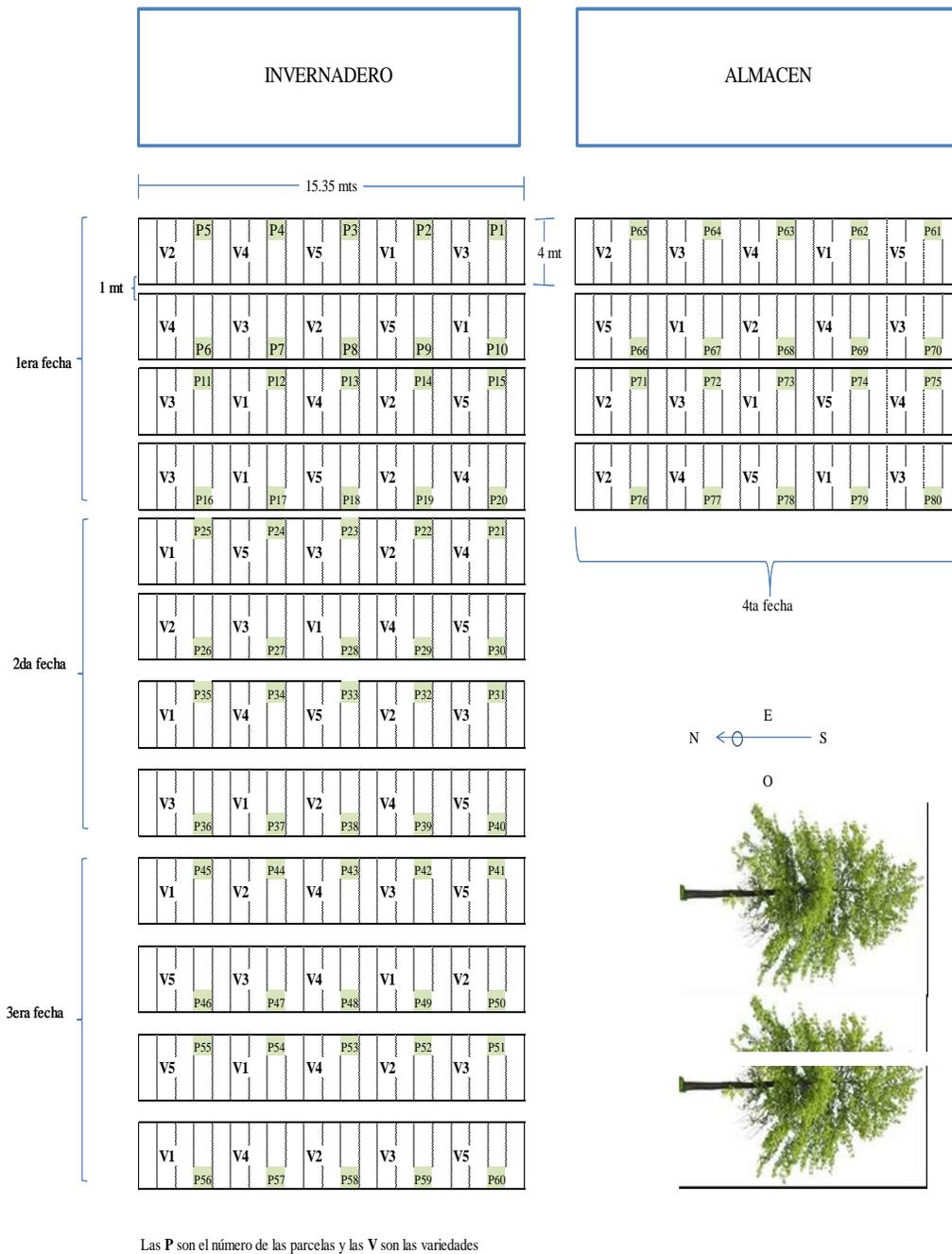
4.3.9. Disposición del cultivo en campo

La distribución de las fechas de siembra y las variedades dentro de los bloques, se muestran en la Figura 7.

4.3.10. Determinación de índices de cambio climático en las áreas de adaptación de las variedades de frijol

Para inferir el potencial de adaptación al cambio climático en las variedades bajo estudio se determinaron los índices de cambio climático en las regiones de recomendación de dichos genotipos. De la base de datos del Sistema de Información Geográfica y Ambiental de INIFAP para el estado de Jalisco, se seleccionaron sólo las estaciones climáticas que contaran con suficiente información y para estas estaciones se realizó el análisis de control de calidad de los datos (Klein-Tank *et al.*, 2009), mediante el uso del módulo RClimDex v. 1.0 (Zhang and Feng, 2004), ejecutado en R v. 3.0.1 y se realizó la corrección o eliminación del dato una vez comparado con parámetros climáticos en las mismas fechas de alguna estación cercana. Para el análisis de homogeneidad y detección de saltos o rupturas en las series de temperatura mínima y temperatura máxima diarias, se utilizó la Prueba F de máxima penalización para cambios en la media en datos no documentados, de acuerdo a lo

recomendado por Wang (2008), mediante el módulo RHTests v. 3.0 (Wang and Feng, 2010) ejecutado en R v. 3.0.1 el cual incluye el proceso de homogeneización de la serie con ajuste por Cuantiles (QM), en caso de resultar no homogénea (Wang *et al.*, 2010).



Las P son el número de las parcelas y las V son las variedades

Figura 7. Disposición del cultivo en campo.

Con estas series se realizó un análisis de estadística descriptiva con la finalidad de determinar anomalías en las variables térmicas de temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria y oscilación térmica diaria con los valores de las normales climáticas para un período de 30 años de acuerdo a lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

De las estaciones anteriormente analizadas se seleccionaron 23, las cuales cumplen con los criterios requeridos para la obtención de los índices de cambio climático. Para estas estaciones se tomaron las series comprendidas desde 1980 hasta 2010, cubriendo el mínimo requerido de 30 años establecido por la OMM. Las estaciones seleccionadas cubren varios tipos climáticos bajo los cuales se adaptan las variedades en el estado de Jalisco, tal como se indica en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Estaciones climáticas analizadas para determinar índices de cambio climático.

No. Estación	Nombre	Municipio	Temperatura máxima diaria anual (C°)	Temperatura mínima diaria anual (C°)	Temperatura media diaria anual (C°)	Tipo climático Köppen-García
14002	Acatlán de Juárez	Acatlán de Juárez	30.62	6.62	18.62	Semicálido subhúmedo
14006	Ajojúcar	Teocaltiche	31.54	1.53	16.54	Seco
14013	Atemajac de Brizuela	Atemajac de Brizuela	23.8	8.54	16.17	Templado subhúmedo
14016	Atequiza	Ixtlahuacán de los Membrillos	31.17	5.47	18.32	Semicálido subhúmedo
14025	Calera	Teocaltiche	29	4.18	16.59	Seco
14029	Concepción de Buenos Aires	Concepción de Buenos Aires	24.1	5.77	14.93	Templado subhúmedo
14038	Cuixtla	San Cristóbal de la Barranca	34.26	15.37	24.82	Cálido subhúmedo
14040	Chapala	Chapala	26.35	14.55	20.45	Semicálido subhúmedo

14053	El Pinito	Huejuquilla el Alto	28.25	1.66	14.96	Templado subhúmedo
14070	Huascato	Degollado	26.54	11.98	19.26	Semicálido subhúmedo
14076	Jesús María	Jesús María	23.19	5.34	14.26	Templado subhúmedo
14084	Lagos de Moreno	Lagos de Moreno	26.64	4.07	15.36	Seco
14087	La Red	Tepatitlán de Morelos	26.76	4.94	15.85	Semicálido subhúmedo
14090	La Hierbabuena	Tototlán	30.59	6.27	18.43	Semicálido subhúmedo
14099	Mazamitla	Mazamitla	21.76	11.44	16.6	Templado subhúmedo
14101	Michoacanejo	Teocaltiche	29.81	6.95	18.38	Seco
14113	Presa de Hurtado	Acatlán de Juárez	29.15	9.73	19.44	Semicálido subhúmedo
14114	Presa La Duquesa	Lagos de Moreno	27.07	4.8	15.93	Seco
14118	Quito	Tuxpan	30.45	12.29	21.37	Semicálido subhúmedo
14123	San Diego de Alejandría	San Diego de Alejandría	26.61	10.81	18.71	Seco
14145	Teocaltiche	Teocaltiche	31.19	4.76	17.98	Seco
14165	Villa Obregón	Cañadas de Obregón	27.12	8.62	17.87	Seco
14266	San Gaspar de los Reyes	Jalostotitlán	28.66	6.74	17.7	Semicálido subhúmedo

Con los valores de temperatura mínima y temperatura máxima diarias se obtuvieron tres de los 27 índices de extremos climáticos establecidos por el “Equipo de Expertos para la Detección, Monitoreo e Índices de Cambio Climático” (ETCCDMI) (Vázquez, 2010; Zhang *et al.*, 2011), relacionados con la temperatura (Cuadro 6). Estos valores fueron obtenidos mediante el módulo RCLimDex desarrollado por el Departamento de Investigación Climática del Servicio Meteorológico de Canadá (Zhang and Feng, 2004) y

ejecutado en el software R versión 3.0.1 que calcula estos índices en una base mensual y/o anual.

Cuadro 6. Índices de cambio climático analizados en este estudio.

Índice	Clave en RClimDex v. 1.0 (Zhang y Feng, 2004)	Definición	Unidades
Días de verano, ajustado para temperatura umbral	SUtu	Número de días con $T_{m\acute{a}x} >$ temperatura umbral	Días
Días con heladas, ajustado para temperatura base	FDtb	Número de días con $T_{m\acute{i}n} <$ temperatura base	Días
Rango diurno de temperatura	DTR	Promedio de las diferencias entre T_x y T_i mensual y anual	$^{\circ}\text{C}$

Con los resultados de estos análisis se elaboraron las gráficas que representan las tendencias de los parámetros térmicos como son temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria, días con temperatura mínima menor a la temperatura base para las tres variedades de frijol analizadas en este apartado y los días con temperatura máxima mayor a la temperatura umbral máxima de las mismas tres variedades, tomando como información climática las correspondientes a las estaciones con clima Cálido-subhúmedo y Subcálido-subhúmedo para las variedades Mulato y Azufrado Tapatío, consideradas tropical y subtropical respectivamente; mientras que para la variedad UGAP-16 se tomó la información climática de las estaciones con clima Seco y Templado-subhúmedo, por ser considerada una variedad de clima subtropical-templado. Estas gráficas fueron elaboradas mediante la obtención de medias móviles para períodos de cinco años.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Determinación del pH del suelo del sitio experimental

En cada fecha de siembra, se tomaron muestras de suelo de cada parcela. El muestreo del suelo se hizo en base a lo establecido por el Laboratorio de Agua y Suelos del Centro de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara.

La Figura 8 muestra el mapa de distribución del pH en las tres primeras fechas de siembra. El rango de variación se ubicó entre 4.2 y 5.1, con sectores amplios de 4.3 y 4.5; estos valores de pH clasifican al sitio experimental como un suelo muy ácido. La variación del pH dentro del área donde se establecieron las fechas de siembra fue de la siguiente: la primera fecha (06 de marzo) de 4.5 a 5.1, la segunda fecha (24 de abril) de 4.3 a 5.0 y la tercera fecha (14 de junio) de 4.2 a 4.8. La cuarta fecha de siembra (02 de agosto) se instaló en el mismo sitio que ocupó la primera, por lo cual ya no se registraron los niveles de pH. El Cuadro 5 muestra los rangos de pH del suelo de cada parcela por variedad de frijol para las tres fechas de siembra. De acuerdo con estos resultados y lo que establece la literatura, los niveles de pH del suelo del sitio experimental, entre 4.5 y 5.1, se puede afirmar que son muy ácidos para la buena producción de frijol.

También se determinó el contenido de materia orgánica del suelo donde se instaló el experimento de campo; mostró un rango de 1.78 a 1.98%. De acuerdo con estos valores, se considera que el suelo tuvo un nivel de materia orgánica de bajo a moderadamente bajo. Factor que pudo haber afectado de forma negativa el rendimiento general de las variedades en el ensayo.

5.2. Registro de temperaturas diarias

El desarrollo de los cultivos depende del fotoperiodo y la temperatura, por lo que requiere de índices biometeorológicos para describir este proceso (Ruíz *et al.*, 2002). Los registros de temperatura máxima y mínima diarias durante el período que duró el cultivo en las cuatro fechas de siembra se tomaron todos los días con un higrómetro digital que fue colocado al lado del sitio experimental bajo cubierta, con los registros de temperatura

máxima y mínimas diarias, se construyó la Figura 9, donde se observa un comportamiento similar en las tres curvas de temperatura (un incremento, un punto máximo y un decremento).

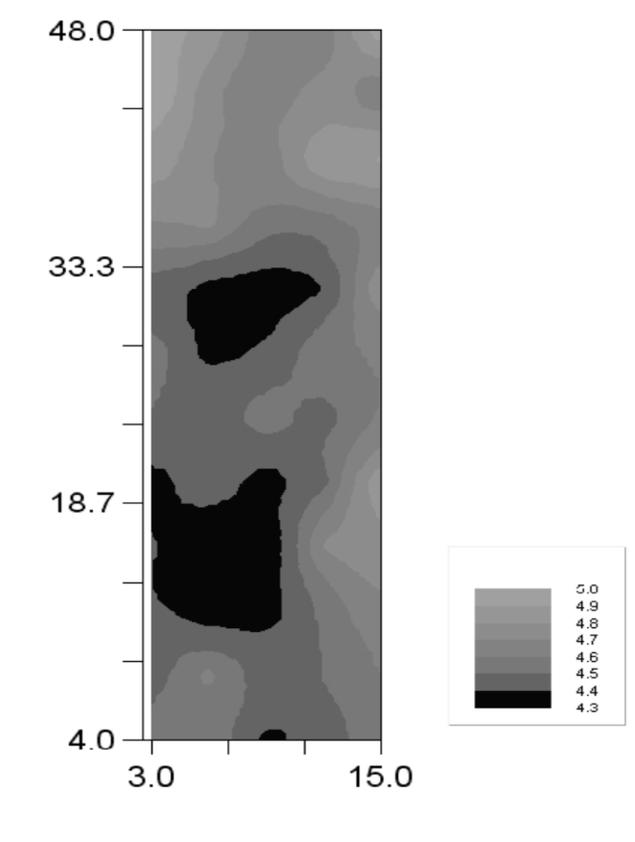


Figura 8. Variabilidad del pH del suelo

En los meses de enero, febrero y marzo se registraron las temperaturas más bajas y las más altas en los meses de mayo y junio.

Es importante señalar que en marzo y parte del mes de abril, las temperaturas mínimas estuvieron por debajo de la temperatura umbral mínima de 10 °C para el frijol (Barrios-Gómez y López-Castañeda, 2009), y las temperaturas medias máximas de marzo al mes de agosto estuvieron por arriba de la temperatura umbral máxima de 27°C (Ruíz *et al.*, 1999). La temperatura media promedio mensual, en ningún mes superó los 27°C.

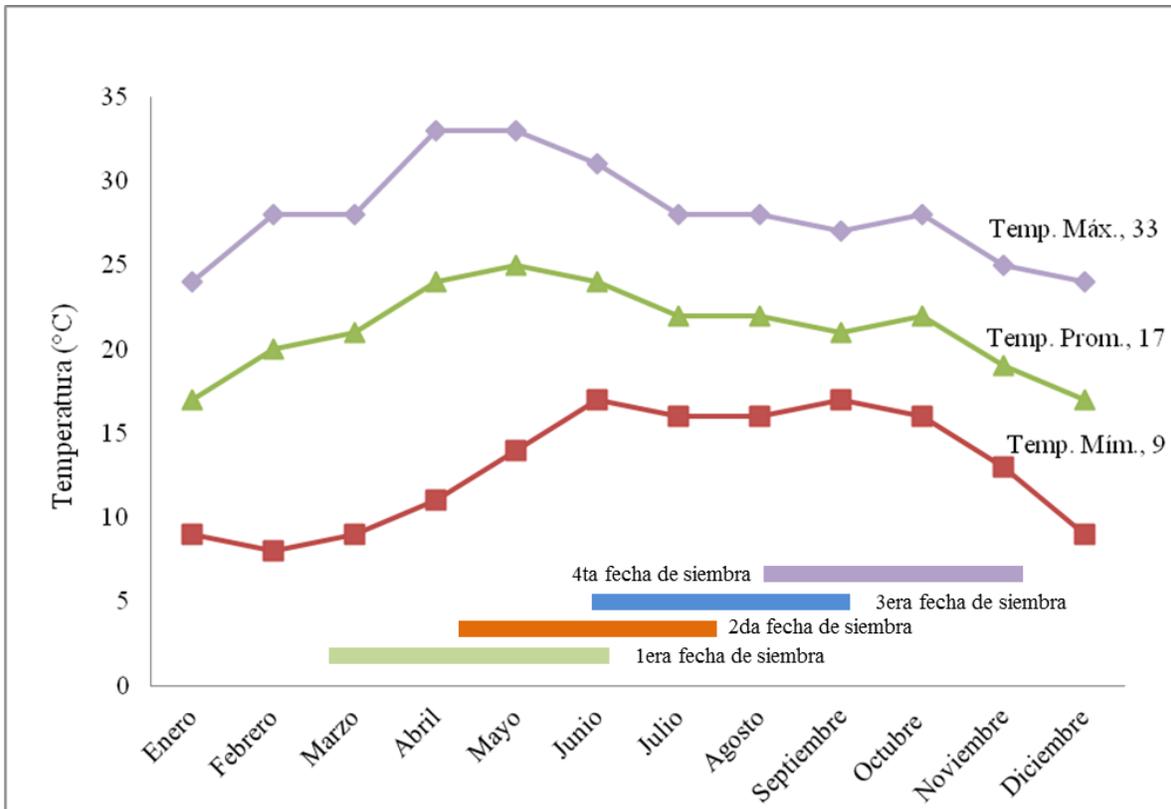


Figura 9. Comportamiento de la temperatura mínima y máxima medias mensuales durante el período de desarrollo del frijol en las cuatro fechas de siembra del 2013.

5.3. Precipitación

Con información de la Estación Meteorológica de la XV Zona Militar correspondiente al año 2013, se construyó la gráfica de precipitación (Figura 10).

El año inició con intensas lluvias en los primeros días de enero en el centro-occidente del país por el ingreso de aire humido proveniente del Océano Pacífico y de un sistema frontal. A nivel nacional el mes de enero terminó con lluvias ligeramente arriba del promedio y de febrero hasta mayo, las precipitaciones fueron intermitentes; a finales de mayo y en la etapa media del verano, el déficit continuó y se agudizó entre finales de julio y la mitad de agosto. El repunte en las condiciones de humedad ocurrió en septiembre, debido a la incursión de cuatro sistemas tropicales (dos de ellos de manera simultánea) que condujeron al septiembre más lluvioso de los últimos setenta años. Las lluvias de octubre se presentaron de manera normal mientras que las de noviembre nuevamente superaron

cualquier registro previo para ese mes y el año terminó con el cuarto diciembre más lluvioso registrado (CONAGUA, 2013).

De acuerdo con la información climatológica registrada en la estación meteorológica de la XV Zona Militar la cual fue la estación más cercana a la zona de estudio, en el 2013 se registró una precipitación acumulada de 592.9 mm, mientras que en los años 2011 y 2012 tuvieron una precipitación acumulada de 540 y 571.5 mm, respectivamente. De acuerdo con CONAGUA (2013) las estimaciones de lámina de lluvia durante el año 2013 dejó 10 estados clasificados como los cinco más húmedos desde 1941, Estos fueron Jalisco (quinto más húmedo), Michoacán (el cuarto), Chihuahua y Tamaulipas (tercero), Campeche y Yucatán (segundo), pero 2013 fue el año más húmedo para Aguascalientes, Colima, Morelos y Quintana Roo.

Durante la primera fecha de siembra del 06 de marzo, el desarrollo del cultivo se extendió de marzo a julio, la temperatura mínima y máxima fue de 8 y 36.5 °C, respectivamente, con una precipitación acumulada de 97.6 mm, en esta época, por lo general el frijol se produce bajo riego con cuatro a cinco riegos de auxilio tal como lo mencionan Andrade *et al.* (1995); González *et al.* (2008).

En la segunda fecha de siembra del 24 de abril, el cultivo se desarrolló de abril a agosto; la temperatura mínima y máxima media fue de 10.5 y 35.5°C, respectivamente, con una precipitación acumulada de 238.2 mm, cuya distribución favoreció el desarrollo del mismo.

En la tercera fecha siembra del 14 de junio, el cultivo tuvo su desarrollo de junio a octubre, la temperatura mínima y máxima media fue de 14.2 y 32.7 °C, respectivamente, con una precipitación acumulada de 503.2 mm, y en la última fecha de siembra del 02 de agosto, el cultivo tuvo su desarrollo de agosto a noviembre, con una temperatura mínima y máxima de 12 y 31° C, con una precipitación acumulada de 249.2 mm.

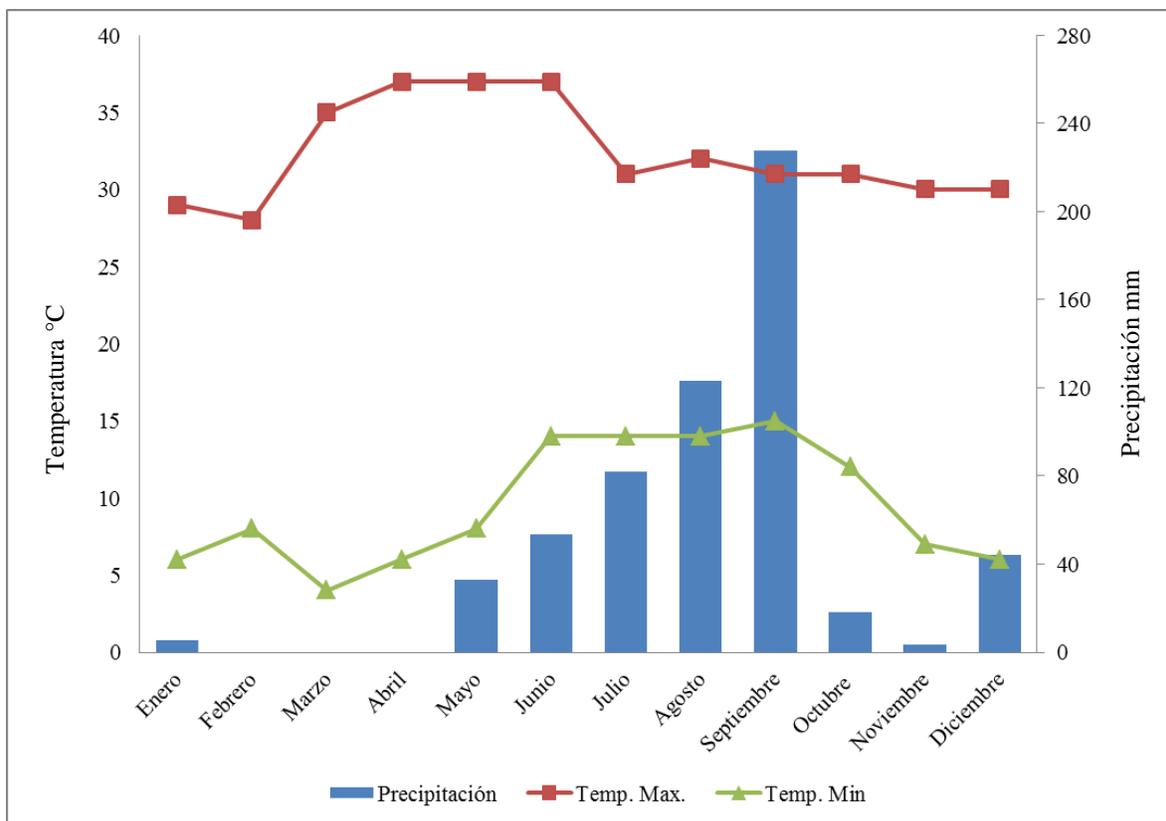


Figura 10. Temperatura media y precipitación acumuladas mensuales, registradas en la estación climatológica de la XV Zona Militar durante el año 2013

5.4. Efecto de las fechas de siembra sobre las etapas de desarrollo de las variedades de frijol.

El registro de las etapas de desarrollo de las variedades en las cuatro fechas de siembra, mostró diferencias en el ciclo biológico de los cultivares entre fechas de siembra (Figuras 11, 12, 13 y 14). El número promedio de días en alcanzar la madurez fisiológica de las cinco variedades en la primera fecha del 06 de marzo fue de 116.2 días, en tanto que la segunda fecha de siembra 24 de abril fue de 103.6 días; una diferencia de 12.6 días. Las fechas tres y cuatro mostraron un comportamiento fenológico similar a la de la fecha dos. Las primeras etapas de desarrollo en la primera fecha, fueron las más afectadas; el promedio de días a hoja primaria (V2) en la primera fecha de siembra del 06 de marzo, fue de 30.8 días, en tanto que en la segunda fecha de siembra del 24 de abril, el promedio de las cinco variedades fue de 22 días, una diferencia de 8.8 días. Las fechas tres y cuatro mostraron un comportamiento fenológico similar al de la segunda fecha de siembra (Figuras 13 y 14).

En cuanto a la duración de las diferentes etapas fenológicas del cultivo, se observaron diferencias entre las variedades. En las Figuras 11, 12, 13 y 14 se puede observar que hay diferencias en la duración de días para llegar a la madurez; esto es un indicador de la plasticidad fenológica que tiene el cultivo en esas etapas, la cual es considerada una característica adaptativa del frijol de habito indeterminado (Acosta and White, 1995; Esquivel *et al.*, 2004), que le permite a los genotipos acortar o retardar la duración de algunas etapas fenológicas en respuesta a estímulos ambientales.

Las temperaturas mínimas del mes de marzo y parte del mes de abril (Figura 9) por debajo de la temperatura umbral mínima de 10°C para el frijol (Barrios-Gómez y López-Castañeda, 2009), provocaron el alargamiento de las primeras etapas de desarrollo y del cultivo en la primera fecha. Igualmente, las temperaturas medias máximas de marzo al mes de agosto estuvieron por arriba de la temperatura umbral máxima de 27°C (Ruiz *et al.*, 1999), provocaron el acortamiento del ciclo biológico de las variedades de frijol.

Las diferencias en las etapas de desarrollo entre variedades se incrementaron conforme avanzó el ciclo reproductivo, de tal forma que al llegar a la madurez fisiológica (R9) se observó que el promedio de días de Mulato para alcanzar la madurez fisiológica (R9) fue de 87.75 días, tanto que las otras variedades registraron un promedio de 95.75 a 100.25 días.

Lo anterior evidencia el efecto del ambiente prevaleciente en cada fecha de siembra sobre la duración de cada una de las etapas reproductoras y sobre el ciclo del cultivo. Estos resultados son coherentes con investigaciones ya realizadas por Esquivel, (1995); Esquivel *et al.* (2004) y Acosta-Gallegos *et al.* (1996), donde los días a floración y a la madurez fisiológica variaron de acuerdo con el genotipo y los niveles de temperatura alcanzados durante el ciclo del cultivo.

Se puede observar en la Figura 9 que durante el desarrollo del cultivo las temperaturas medias altas, cercanas a los 25°C se presentaron en los meses de abril, mayo y junio, con mayor tiempo de incidencia en la segunda y tercera fechas de siembras y con un efecto de acortamiento del ciclo biológico de las variedades, fechas en que este fue menor.

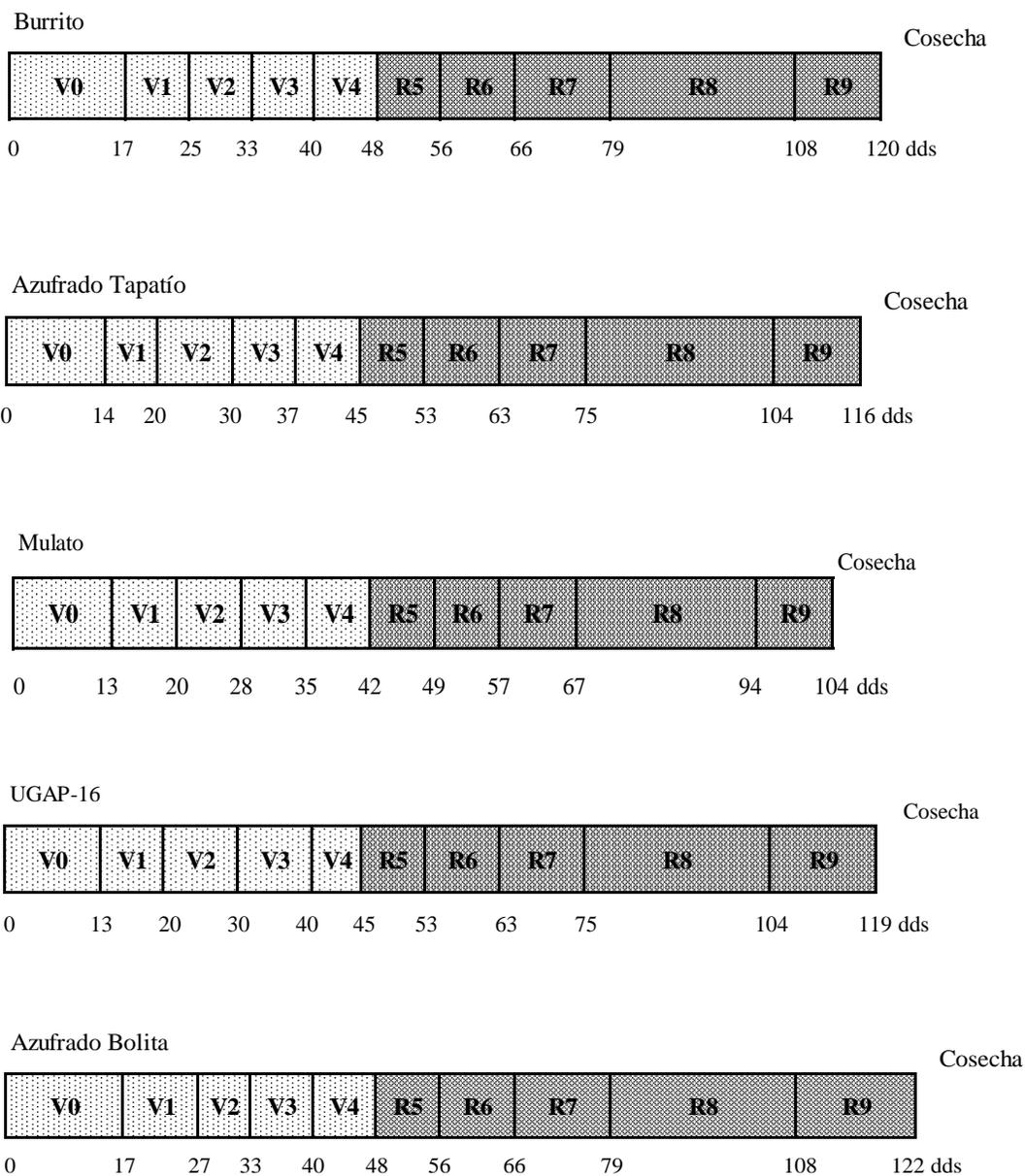


Figura 11. Duración de las etapas de desarrollo de las variedades de frijol en la primera fecha de siembra (06 de marzo).

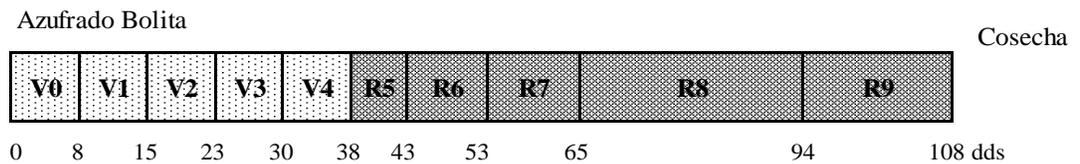
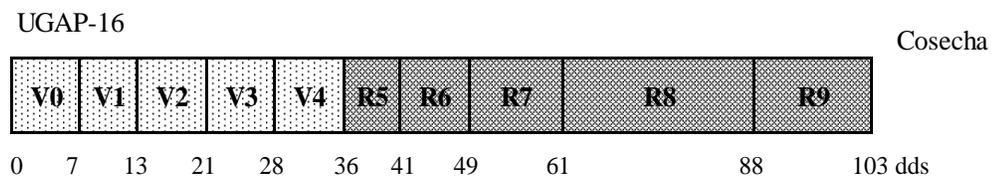
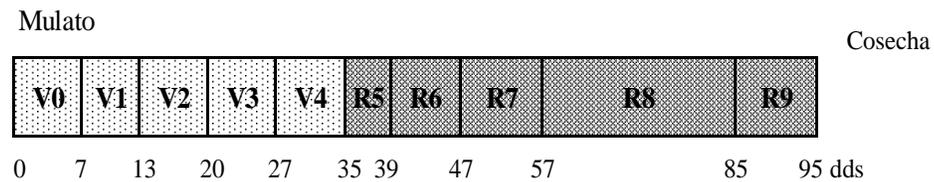
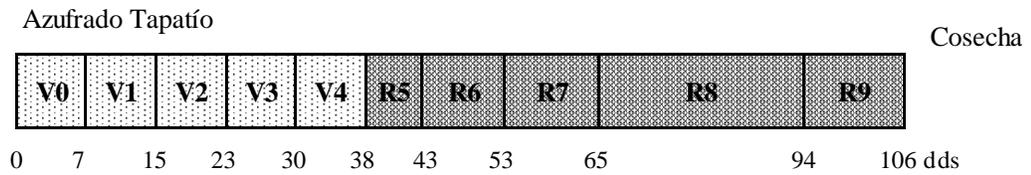
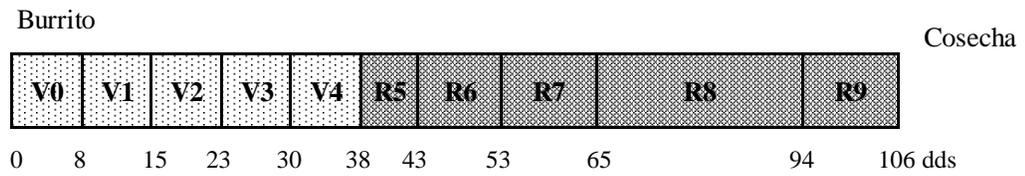


Figura 12. Duración de las etapas de desarrollo de las variedades de frijol en la segunda fecha de siembra (24 de abril).

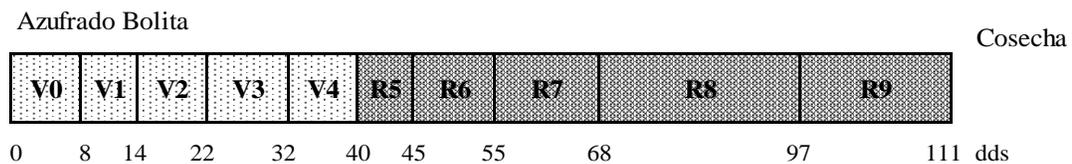
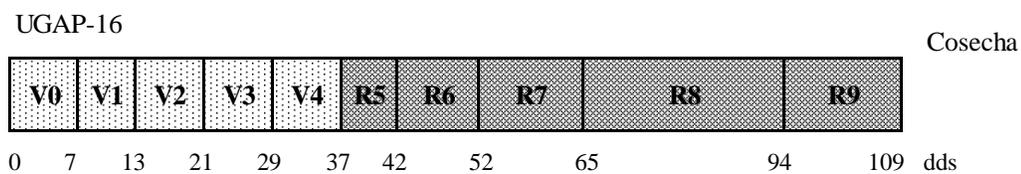
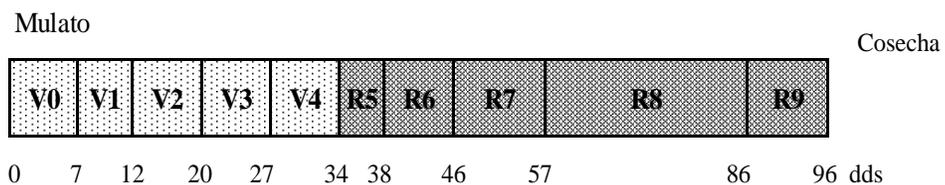
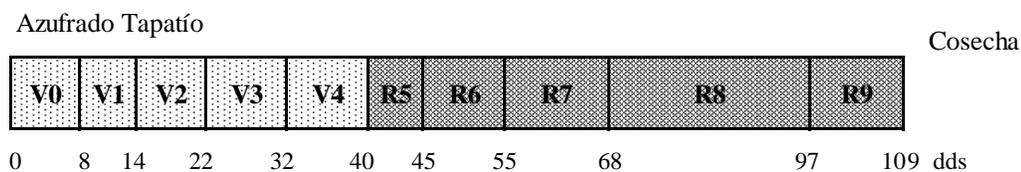
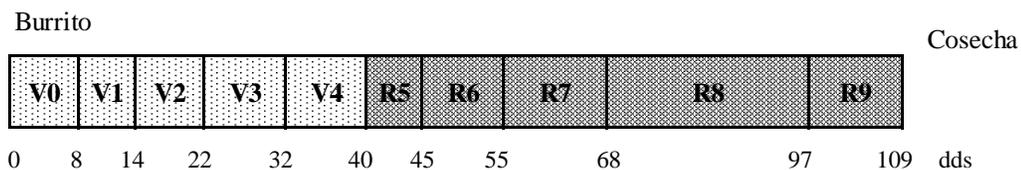


Figura 13. Duración de las etapas de desarrollo de las variedades de frijol en la tercera fecha de siembra (14 de junio).

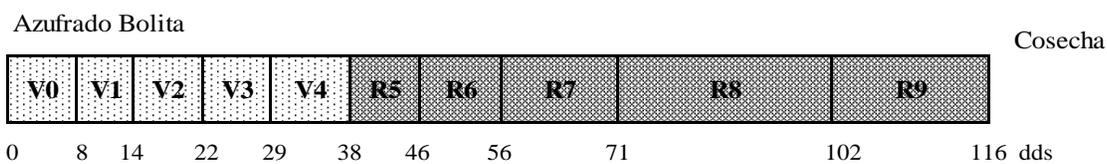
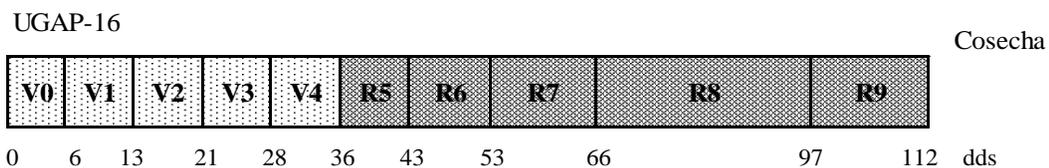
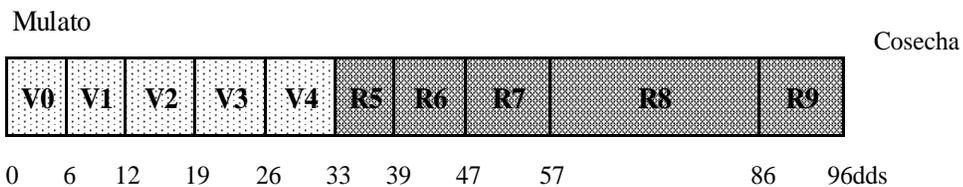
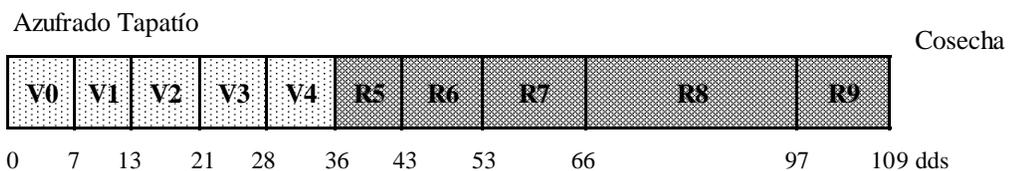
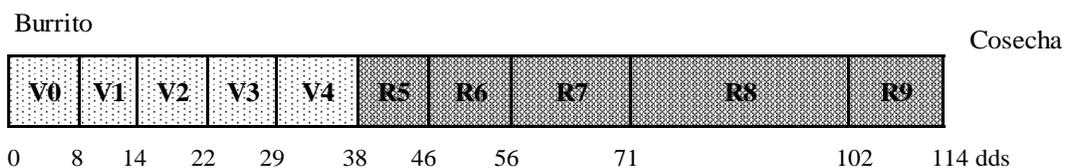


Figura 14. Duración de las etapas de desarrollo de las variedades de frijol en la cuarta fecha de siembra (02 de agosto).

5.3. Efecto de las fechas de siembra sobre las variables agronómicas.

5.3.1. Rendimiento de grano

El Cuadro 7, muestra los resultados del análisis de varianza donde y de acuerdo con el valor de F calculada y el nivel de significación estadística, se puede apreciar que hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para el factor: fechas de siembra y diferencias significativas para la interacción fecha por variedad; y diferencias no significativas entre las variedades. El valor del coeficiente de variación (CV) en el análisis de varianza de 19.26%, nos indica que los resultados del ensayo son de una confiabilidad aceptable.

Cuadro 7. Análisis de varianza del rendimiento de grano (g/parcela), en el ensayo de variedades de frijol y fechas de siembra. CUCBA, PV 2013.

Cuadrado					
Fuente de variación	GL	SC Tipo I	Medio	F	Valor P
Fecha	3	9124909.26	3041636.42	72.917	0.000**
Error (a)	11	458853.53	41713.95		
Variedad	4	181401.69	45350.42	2.281	0.076
Fecha*Variedad	12	809676.91	67473.07	3.394	0.001**
Error (b)	44	874777.68	19881.31		

Coefficiente de Variación: 19.26%

El Cuadro 8 muestra los rendimientos de grano promedio por fecha de siembra, por variedad y para la interacción fecha por variedad. De acuerdo con la comparación de promedios, el mejor rendimiento de grano obtenido fue la segunda fecha del 24 de abril, con 1,237.14 kg/parcela, seguido de la tercera fecha de siembra del 14 de junio con 796.90 g/parcela. Los rendimientos de grano promedio en las fechas primera del 06 de marzo y cuarta del 02 de agosto, fueron similares entre sí y de una producción más baja. En los rendimientos de grano promedio por variedad por fechas de siembra, los resultados muestran que UGAP-16, Azufrado Tapatío, Mulato y Azufrado Bolita, fueron los mejores genotipos, con una producción superior a 730 g/parcela, el rendimiento más bajo lo registró Burrito con 611.58 g/parcela.

Cuadro 8. Comparación de promedios entre fechas de siembra e interacción fecha de siembra por variedad, para la variable rendimiento de grano (g/parcela). CUCBA, PV 2013.

Variedad	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4	Promedio
Azufrado Tapatío	564.7900 ^{efg}	1251.1400 ^{ab}	855.0250 ^{cd}	305.2333 ^{fg}	744.05
Burrito	592.2175 ^e	1031.2400 ^{bc}	612.9000 ^e	209.9667 ^h	611.58
Mulato	369.2325 ^{efg}	1176.8000 ^{ab}	1009.030 ^{bc}	388.9333 ^{efg}	736.00
UAGP-16	526.5000 ^{ef}	1317.5400 ^a	878.4175 ^c	273.1000 ^{fg}	748.89
Azufrado Bolita	424.5250 ^{efg}	1409.0200 ^a	629.1750 ^{de}	392.7667 ^{efg}	731.60
Promedio	495.4530	1237.1400	796.900	314.0000	710.87

Duncan 0.05 (Tratamientos con la misma letra, son estadísticamente iguales entre sí)

El bajo rendimiento obtenido en la última fecha (02 de agosto), fue el resultado del exceso de lluvia y humedad en el área de estudio, como se muestra en la Figura 10. Las mayores precipitaciones ocurrieron durante los meses de agosto y septiembre con 123 y 227.6 mm de lluvia respectivamente. La precipitación excesiva de septiembre provocó presencia permanente de agua en los surcos (Figura 15), situación que afectó en mayor grado a las variedades de frijol en la etapa de desarrollo vegetativo y floración.



Figura 15. Precipitación excesiva durante el mes de septiembre en la etapa de desarrollo vegetativo y floración.



Figura 16. Desarrollo vegetativo en la tercera fecha de siembra (14 de junio).

Las fechas intermedias del 24 de abril y 14 de junio recibieron las mejores condiciones ambientales de temperatura y precipitación (Figuras 9 y 10) y en consecuencia fueron las que registraron los mayores rendimientos.

En la tercera fecha (el 14 de junio), hay evidencia estadística de diferencias en un mejor desarrollo vegetativo (Figura 16) y se esperaba que produjera también los mayores rendimientos; no fue así, porque en la etapa reproductiva de llenado de vainas y madurez fisiológica, el exceso de agua provocó volcamiento de las plantas (acame), condición que afectó el llenado de vainas y la pudrición de algunas de ellas; ya que el frijol requiere de 350 a 500 mm para un óptimo desarrollo. De acuerdo con Doorenbos and Kassam (1979), quienes señalan que son convenientes 110 a 180 mm entre la siembra y la floración, de 50 a 90 mm durante la floración e inicio de la fructificación ya que el período más crítico de necesidad de agua son 15 días antes de la floración y entre 18 a 22 días antes de la madurez de las primeras vainas como lo señala Benacchio (1992).

En relación a la interacción de los factores de fecha de siembra por variedad (Cuadro 8), los resultados indican que las variedades Azufrado Bolita, UGAP-16, Azufrado Tapatío y Mulato, en la segunda fecha de siembra del 24 de abril, fueron los mejores genotipos en este estudio, con producciones superiores a los 1,200 g/parcela; un segundo grupo de buenos rendimientos, lo integraron Burrito en la segunda fecha de siembra del 24 de abril y Mulato en la tercera fecha del 14 de junio, con rendimientos arriba de 1,000 g/parcela. Por lo que respecta a la primera fecha, los genotipos se comportaron de manera similar, de la misma forma, en la cuarta fecha no se encontraron diferencias significativas entre variedades. Tanto en la primera como en la cuarta fecha de siembra, las variedades mostraron bajos rendimientos. La Figura 17 muestra de manera gráfica y sencilla los resultados señalados; donde la segunda y tercera fechas de siembra fueron mejores y la primera y última fechas de siembras resultaron las de menor rendimiento de grano.

El desarrollo y menor producción de las variedades de frijol en la primera fecha de siembra, del 06 de marzo, se explica por las bajas temperaturas ocurridas en los meses de marzo y abril; las temperaturas medias fueron de 19 y 22°C respectivamente, por debajo de la

temperatura promedio señalada como óptima de 25°C (Mayasa and White, 1991). Estas temperaturas se reflejaron en un desarrollo lento durante el inicio del ciclo, menor desarrollo del aparato fotosintético, menor tasa fotosintética y en consecuencia una menor producción. Por otra parte, durante el desarrollo del cultivo en las cuatro fechas de siembra, las temperaturas menores a 10°C o mayores a 27°C, de los umbrales mínimos y máximos para frijol respectivamente no causaron problemas ni daños en las láminas foliares de las plántulas, esto coincide con los resultados publicados por Machado *et al.* (2006) y Barrios-Gómez y López Castañeda (2004), donde mencionan que todavía hay crecimiento sin daño a temperaturas entre 4 y 10°C. En el campo experimental de Las Agujas, Zapopan, la temperatura mínima promedio (18.9°C) fue mayor a la temperatura base, lo que favoreció un rápido desarrollo de la planta (Singh, 2006).

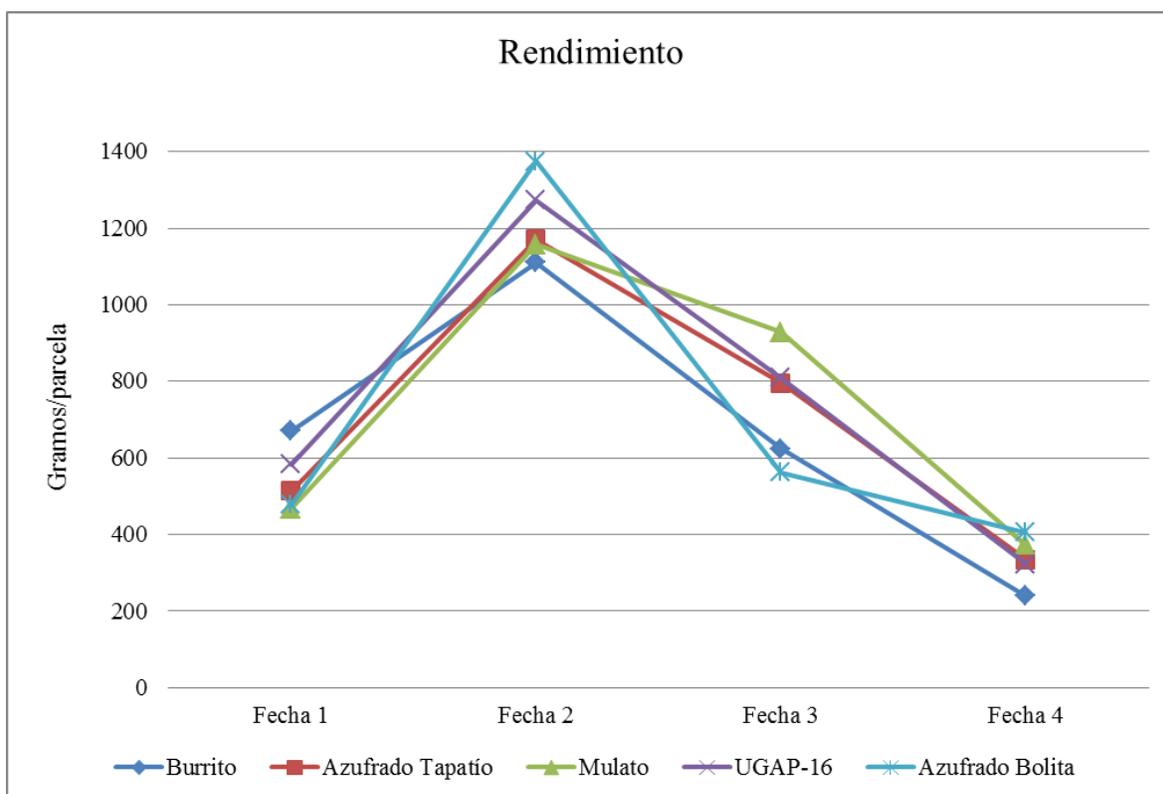


Figura 17. Rendimiento de grano de las variedades de frijol, obtenido en las cuatro fechas de siembra.

Las diferencias o similitudes en rendimiento de grano de las variedades de frijol a través de las cuatro fechas de siembra son el resultado de su constitución genética, ya que los cinco genotipos estuvieron sometidos a las mismas condiciones ambientales durante su desarrollo. Las variedades Azufrado Bolita y UGAP-16 que mostraron los mayores rendimientos, son de hábito arbustivo erecto tipo I y el resultado de selecciones individuales repetidas realizadas en poblaciones segregantes en el área de estudio, el hábito arbustivo erecto permite cierta tolerancia a los excesos de lluvia (Salinas *et al.*, 2008) y son cultivares con combinaciones genéticas de adaptación, resistencia a enfermedades y buen rendimiento para el sitio donde se realizó el trabajo. Por su parte las variedades de Azufrado Tapatío y Burrito de hábito de crecimiento indeterminado postrado tipo III, también de buen rendimiento, estuvieron seriamente afectadas por el exceso de lluvia en los meses de agosto y septiembre (Figura 10).

5.3.2. Peso seco de cinco plantas por parcela útil

El Cuadro 9, muestra los resultados del análisis de varianza del peso seco de cinco plantas por parcela. De acuerdo con los valores de F calculada y el nivel de significación estadística, se puede apreciar que hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para los factores: fechas de siembra y la interacción fechas por variedad, y diferencias significativas ($p < 0.05$) para las variedades. El valor del coeficiente de variación (CV) en el análisis de varianza de 14.67%, nos indica que los resultados del ensayo son de una confiabilidad aceptable.

Cuadro 9. Análisis de varianza del peso seco de cinco plantas por parcela útil (g/5 plantas), en el ensayo de las variedades de frijol en las cuatro fechas de siembra. CUCBA, PV 2013.

Fuente de variación	GL	SC Tipo I	Cuadrado		
			Medio	F	Valor P
Fecha	3	248242.55	82747.51	60.71	0.000**
Error (a)	11	14992.87	1362.98		
Variedad	4	5110.85	1277.71	3.044	0.027*
Fecha*Variedad	12	37670.36	3139.19	7.478	0.000**
Error (b)	44	18470.51	419.78		

Coeficiente de Variación: 14.67%

El cuadro 10 muestra los promedios del peso seco de cinco plantas por fecha de siembra por variedad y de la interacción fecha por variedad. De acuerdo con la comparación de promedios, la mejor fecha donde se registró el más alto peso seco de cinco plantas por parcela útil fue la segunda, correspondiente al 24 de abril, con 221.85 g/5 plantas, seguida de la tercera fecha de siembra del 14 de junio con 141.96 g/5 plantas. En la cuarta fecha del 02 de agosto se registró el peso seco más bajo de 56.82 g/5 plantas. Las diferencias o similitudes en producción de materia seca, al igual que en rendimiento de grano a través de las cuatro fechas de siembra son el resultado de su constitución genética.

Cuadro 10. Comparación de promedios entre fechas de siembra e interacción fecha de siembra por variedad, para la variable peso seco de cinco plantas por parcela útil (g/5 plantas). CUCBA, PV 2013.

Variedad	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4	Promedio
Azufrado Tapatío	133.4325 fg	225.8500 c	119.9625 cd	60.0667 hi	134.83
Burrito	119.3900 fg	175.6075 de	190.5775 cd	62.7667 hi	137.08
Mulato	89.91500 gh	250.7500 ab	126.6250 fg	67.7000 hi	133.74
UAGP-16	118.8000 fg	266.7825 a	145.1475 ef	52.3333 hi	145.76
Azufrado Bolita	124.5750 fg	190.3000 cd	127.5275 fg	41.2333 i	120.91
Promedio	117.2225	221.8580	141.9680	56.8200	134.46

Duncan 0.05

El rendimiento de grano es considerado la resultante de componentes morfológicos y fisiológicos (Kohashi, 1990, Gardner *et al.*, 1985 y; Geiger *et al.*, 1989). Estos investigadores señalaron que altas producciones en los cultivos son el resultado de una producción mayor de materia seca y se puede observar que los mayores rendimientos fueron en la segunda fecha de siembra del 24 de abril y la tercera fecha del 14 de junio al igual que el peso seco obtenido en estas dos fechas de siembra. La baja de materia seca en la primera fecha y cuarta fecha de siembra, correspondientes al 06 de marzo y 02 de agosto respectivamente, fue el resultado de las condiciones climáticas adversas. Las bajas temperaturas en la primera fecha de siembra, provocó que el período de emergencia se retrasara, mientras que el exceso de agua en el suelo debido a la lluvia en la última fecha de siembra, limitó la oxigenación de las raíces del frijol.

Para el período floración-llenado de vaina, se registraron precipitaciones y temperaturas de 135.4 mm y 23°C en la segunda fecha de siembra y 204.8 mm y 23.4°C en la tercera fecha, es decir, ambas fechas tuvieron condiciones favorables para un alta producción de biomasa (Dapaa *et al.* (2000); Padilla *et al.* (2008). Al respecto Chavarín *et al.* (2008) mencionan que estas condiciones propician un buen suministro de fotosintatos; resultando una mayor acumulación de biomasa.

En relación en la interacción de los factores fechas de siembra por variedad (Cuadro 10), los resultados indican que las variedades UAGP-16 y Mulato, en la segunda fecha de siembra del 24 de abril fueron los mejores fenotipos en este estudio, con producciones superiores a los 250 g/5 plantas; un segundo grupo con una buena producción de materia seca lo integro Azufrado Tapatío en la segunda fecha y Burrito y Azufrado Tapatío en la tercera fecha de siembra del 14 de junio, con producción de materia seca arriba de 180 g/5 plantas. Tanto en la primera como en cuarta fechas de siembra las variedades mostraron baja producción de materia seca y no se detectaron diferencias significativas entre variedades dentro de fecha. En la Figura 18 muestra de manera gráfica y sencilla los resultados señalados; donde la segunda y tercera fechas fueron mejores y la primera y la última fechas de siembra resultaron las de menor peso seco.

Al igual que en el rendimiento el desarrollo y menor producción de las variedades de frijol en primera fecha del 06 de marzo, se explica por las bajas temperaturas ocurridas en el mes de marzo y abril; las temperaturas medias registradas fueron de 19 y 22°C respectivamente, el frijol se ve afectado por temperaturas bajas sin que lleguen a nivel de helada (0°C), causando diferentes daños sobre el frijol que puede tolerar de 4 a 5°C por un tiempo breve de exposición sin sufrir daño alguno, aunque este se puede manifestar a nivel de la composición de la semilla (White, 1985). Jacinto y Fernández, 1993 citado por Barrales (1997) utilizaron siembras retrasadas de frijol, observaron cambios en la composición de la semilla y encontraron una disminución de 20 a 35% en su peso. Estas temperaturas se reflejaron en un desarrollo lento de la planta durante el inicio del ciclo, menor desarrollo del aparato fotosintético, menor tasa fotosintética y en consecuencia disminución en el peso seco.

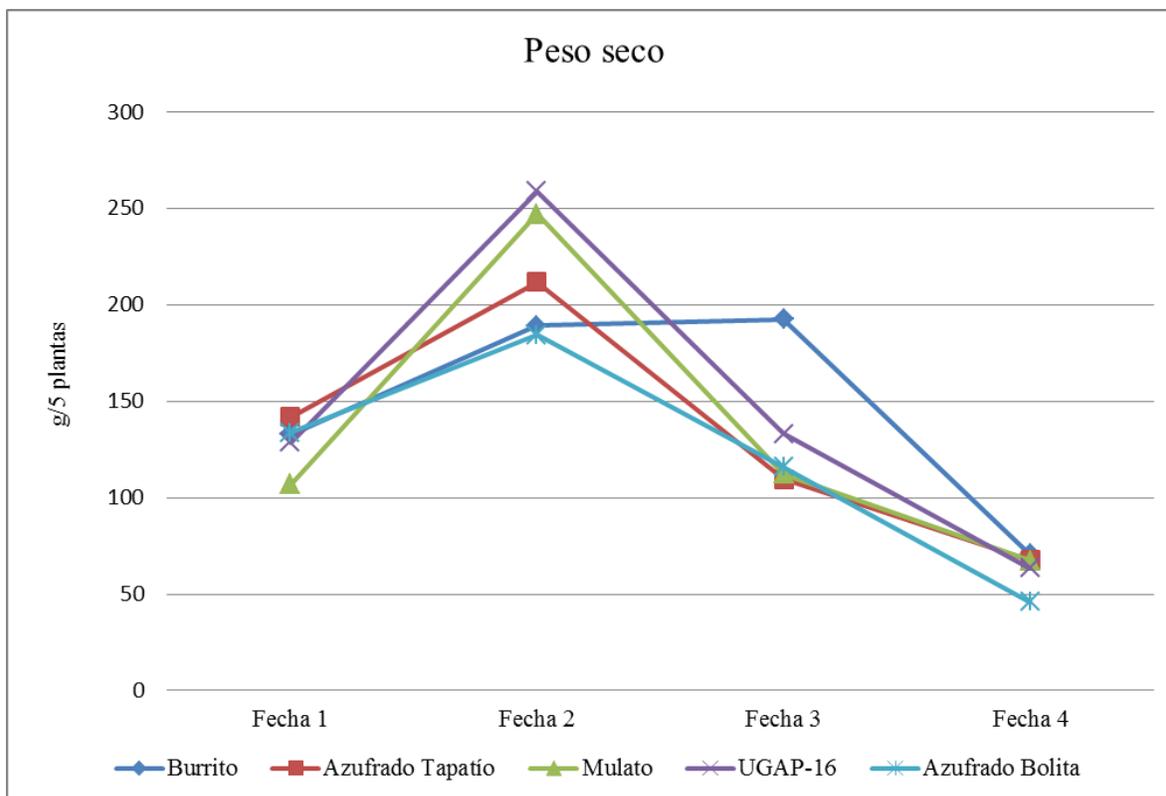


Figura 18. Peso seco de cinco plantas de variedades de frijol, obtenido en las cuatro fechas de siembra.

5.3.3. Peso de 100 semillas

El Cuadro 11, muestra los resultados del análisis de varianza de acuerdo con el valor de F calculada y el nivel de significación estadística, se puede apreciar que hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para los factores: fechas de siembra, variedades y la interacción fecha * variedad. El valor del coeficiente de variación (CV) en el análisis de varianza en este caso es igual a 7.67%, nos indica que los resultados del ensayo son de una confiabilidad aceptable.

El Cuadro 12 muestra el peso de 100 semillas promedio de las cinco variedades de frijol por fecha de siembra y para la interacción fecha * variedad. De acuerdo con la comparación de promedios, la mejor fecha de siembra fue la segunda fecha del 24 de abril, con 32.16 gramos, seguida de la tercera fecha de siembra del 14 de junio con 31.45 gramos, seguido

de la primera fecha de siembra del 06 de marzo con 30.92 gramos. La cuarta fecha de siembra del 02 de agosto fue el peso más bajo de 28.50 gramos.

Cuadro 11. Análisis de varianza de peso de 100 semillas, en el ensayo de variedades de frijol y fechas de siembra. CUCBA, PV 2013

Fuente de variación	GL	SC Tipo I	Cuadrado		
			Medio	F	Valor P
Fecha	3	123.44	41.14	5.11	0.000*
Error (a)	11	88.57	8.05		
Variedad	4	1817.29	454.32	80.92	0.000*
Fecha*Variedad	12	449.32	37.44	6.67	0.000*
Error (b)	44	247.01	5.61		

Coefficiente de Variación: 7.67%

Las semillas producidas en la segunda, tercera y cuarta fechas de siembra (24 de abril, 14 de junio y 02 de agosto) tuvieron un peso promedio igual. En la Figura 18, muestra el peso de 100 semillas de las cinco variedades de frijol, donde Burrito, Azufrado Bolita, Azufrado Tapatío y Mulato muestran homogeneidad en las cuatro fechas de siembra, mientras que UGAP-16 mostró diferencias en las cuatro fechas de siembra, incrementando su peso en la segunda fecha del 24 de abril y la tercera fecha del 14 de junio, lo que puede atribuirse a la interacción genotipo-ambiente como lo reportó Ayala *et al.* (2006).

En la interacción de los factores fecha de siembra por variedad (Cuadro 12), los resultados indican que las variedades UGAP-16, Burrito y Azufrado Tapatío, en la segunda fecha de siembra del 24 de abril, con un peso de 100 semillas superior a los 45 gramos; un segundo grupo con Azufrado Bolita en la segunda fecha de siembra y Burrito y UAGP-16 en la primera fecha de siembra del 06 de marzo.

Cuadro 12. Comparación de promedios entre fechas de siembra e interacción fecha de siembra por variedad, para la variable peso de 100 semillas en las variedades de frijol en las cuatro fechas de siembra. CUCBA, PV 2013

Variedad	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4
Azufrado Tapatío	31.4000 ab	29.5000 abc	28.0500 cd	26.8667 cd
Burrito	32.4000 b	31.5500 ab	32.2750 ab	31.3000 ab
Mulato	25.3000 de	24.8000 de	21.3500 e	21.8000 e
UAGP-16	33.2500 b	41.3500 a	45.6750 a	33.0333 b
Azufrado Bolita	32.2750 ab	33.6250 b	29.7750 abc	29.5333 abc
Promedio	30.9250	32.1650	31.4250	28.5066

Duncan 0.05

La Figura 19 muestra de manera gráfica y sencilla los resultados obtenidos, donde la primera y tercera fecha de siembras del 24 de abril y 14 de junio obtuvieron los gramos más altos del peso de 100 semillas, seguida de la primera fecha de siembra del 06 de marzo y con un peso de 100 semillas más bajo la última fecha de siembra del 02 de agosto.

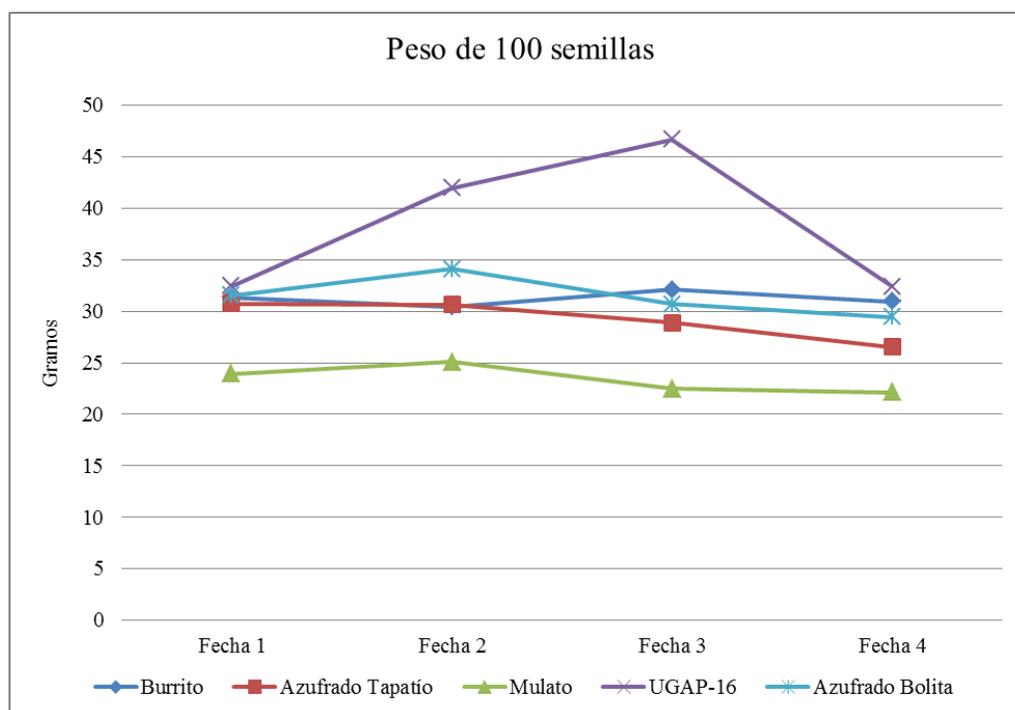


Figura 19. Peso de 100 semillas obtenido en las cuatro fechas de siembra.

5.3.4. Altura de planta

En el Cuadro 13, se muestran los resultados del análisis de covarianza, de acuerdo con el valor de F calculada y el nivel de significación estadística de no equivocarse al declarar que hay diferencias entre los niveles de un factor (valor de p), se puede apreciar que hubo diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) para los factores: fechas de siembra, variedades, interacción fecha por variedad y en el número de plantas utilizado como covariable. El valor de coeficiente de variación (CV) en el análisis de covarianza de 5.38%, nos indica que los resultados del ensayo son de una confiabilidad aceptable.

Cuadro 13. Análisis de covarianza sobre la variable altura de planta en el ensayo de variedades de frijol y fechas de siembra. CUCBA, PV 2013

Cuadrado					
Fuente de variación	GL	SC Tipo I	Medio	F	Valor P
Fecha	3	3400.58	1133.52	98.73	0.000*
Error (a)	11	126.28	11.48		
Variedad	4	315.19	78.79	8.36	0.000*
Fecha*Variedad	12	546.00	45.50	4.832	0.000*
No. de planta	1	157.56	157.56	16.73	0.000*
Error (b)	43	404.90	9.41		

Coeficiente de Variación: 5.38%

El Cuadro 14 muestra la altura de planta promedio por fecha de siembra por variedad y la interacción fecha por variedad. De acuerdo con la comparación de promedios, la mejor fecha donde se desarrollaron y tuvieron una mejor altura de planta fue la tercera fecha del 14 de junio, con una altura de 65.03 centímetros, seguida de la segunda y cuarta fechas de siembra del 24 de abril y 02 de agosto con 58.22 y 58.14 centímetros respectivamente. La primera fecha se registró una menor altura de la plantas con 46.84 centímetros. El desarrollo y menor altura de planta de las variedades de frijol en la primera fecha de siembra (06 de marzo), se explica por las bajas temperaturas ocurridas en los meses de marzo y abril, donde las temperaturas medias fueron de 19 y 22°C respectivamente, por debajo de la temperatura promedio señalada como óptima (25°C) (Masaya and White,

1991). Para las siguientes fechas de siembra (mayo/junio) hubo un mejor desarrollo de la planta, ya que las temperaturas medias fueron 24.6 y 24.8°C, lo que favoreció el rápido desarrollo de las plantas (Figura 9).

Las bajas temperaturas ocurrieron en los meses de marzo y abril con 4 y 6 °C respectivamente. La baja temperatura del mes de marzo y abril afectó en mayor grado a las variedades de frijol en la etapa de desarrollo vegetativo. A partir de la segunda fecha de siembra del 24 de abril hasta la última fecha de siembra del 02 de agosto se tuvieron mejores condiciones ambientales (temperatura y precipitación) para el desarrollo del cultivo.

Por otra parte, el alto desarrollo de las plantas fue el resultado de la presencia de lluvias en el área de estudio en los meses de junio y julio, donde la segunda, tercera y cuarta fecha de siembra recibieron las mejores condiciones ambientales tanto de temperatura como de precipitación (Figuras 9 y 10) y en consecuencia registraron las altura más altas de las plantas (Figura 20).



Figura 20. Registro de la variable alturas de planta en las cuatro fechas de siembra.

En relación en la interacción de los factores de fecha de siembra por variedad (Cuadro 14), los resultados indican que las variedades UAGP-16, Azufrado Bolita y Mulato, en la tercera fecha de siembra del 14 de junio, fueron los mejores genotipos, con un crecimiento de la planta superiores a 60 centímetros; en la segunda y cuarta fechas de siembra del 24 de abril

y del 02 de agosto hubo un buen crecimiento de la planta llegando a una altura de 58 centímetros siendo los mejores genotipos Mulato, UGAP-16 y Azufrado Bolita. Por lo que respecta a la primera fecha de siembra del 06 de marzo, los genotipos se comportaron de manera similar. La Figura 19 muestra de forma gráfica y sencilla los resultados señalados.

Cuadro 14. Comparación de promedios entre fechas de siembra e interacción fecha de siembra por variedad, para la variable altura de planta en las variedades de frijol en las cuatro fechas de siembra. CUCBA, PV 2013

Variedad	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4
Azufrado Tapatío	49.6125 gh	56.1750 ef	64.2500 abc	56.2667 ef
Burrito	47.8950 ghi	57.7250 de	60.8600 bcde	51.3333 fg
Mulato	42.7050 i	51.6250 fg	65.6000 ab	62.4333 abcd
UAGP-16	48.5350 gh	64.2750 abc	68.3000 a	59.2667 cde
Azufrado Bolita	45.4900 hi	61.3250 bcde	66.1500 ab	61.4000 bcde
Promedio	46.8475	58.2250	65.0320	58.1400

Duncan 0.05

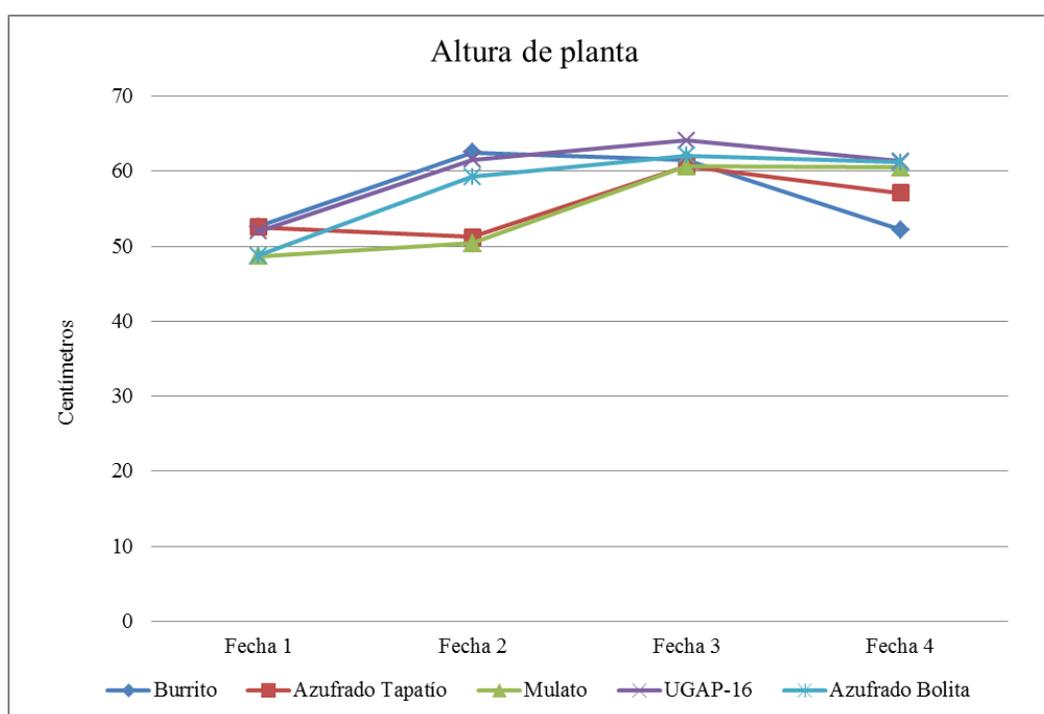


Figura 21. Altura de planta obtenida en las cuatro fechas de siembra.

5.4. Tendencias de temperaturas en el estado de Jalisco

Respecto a las tendencias resultantes para las temperaturas mínimas y máximas diarias en Jalisco, en la Figura 22 se observa que mientras para la temperatura mínima diaria se tiene un ligero decremento de -0.37°C para el período 1980-2010, para la temperatura máxima se tiene un incremento de 0.90°C en el mismo período. El incremento en la oscilación térmica indica que se va presentando una separación de los valores térmicos diarios a nivel estatal. Estos resultados son promedios de las 23 estaciones analizadas en las que se incluyen los cuatro tipos climáticos que se presentan en Jalisco.

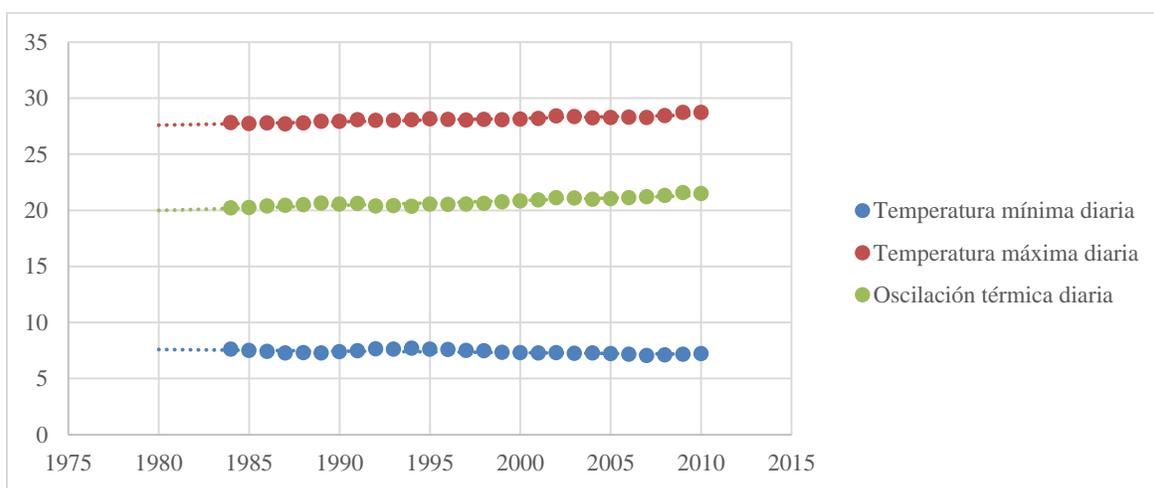


Figura 22. Tendencias de las temperaturas mínima diaria, máxima diaria y oscilación térmica diaria (DTR) en Jalisco, en el período 1980-2010.

Para la evaluación de la capacidad de adaptación de las variedades de frijol estudiadas, se decidió evaluar el impacto del cambio climático haciendo uso de los valores de las temperaturas cardinales siguientes: frijol tipo subtropical-templado como Azufrado Tapatío, una Temperatura base de 9.4°C y Temperatura umbral máxima de 29.8°C ; frijol tipo tropical como Mulato con Temperatura base de 9.8°C y Temperatura umbral de 31.8°C ; y tipo templado como UGAP-16 con Temperatura base de 8.7°C y Temperatura umbral máxima de 31.6°C , de acuerdo a lo establecido por González *et al.* (2011).

Las tendencias observadas a nivel estatal han repercutido en la duración de días con temperaturas no adecuadas para las variedades de frijol, es decir, se tienen incrementos en

la duración de días con temperatura mínima menor a las temperaturas base y temperatura máxima mayor a las temperaturas umbrales de las variedades de frijol Mulato, Azufrado Tapatío y UGAP-16. En la Figura 23 se observan las tendencias a nivel regional de los tipos climáticos Cálido y Semicálido subhúmedos sobre la variedad Mulato. Dichas tendencias denotan disminución de los días con temperatura mínima menor a la T base (FD9.8) para esta variedad, esto es una disminución de 14 días entre los períodos 1980-1985 y 2005-2010, e incremento del número de días con temperatura máxima mayor a la umbral (SD31.8), un incremento de 29 días entre los períodos 1980-1985 y 2005-2010, indicando estos resultados que en la región tropical y subtropical de Jalisco, la variedad Mulato se verá afectada por la duración de períodos cálidos mayores a la temperatura umbral.

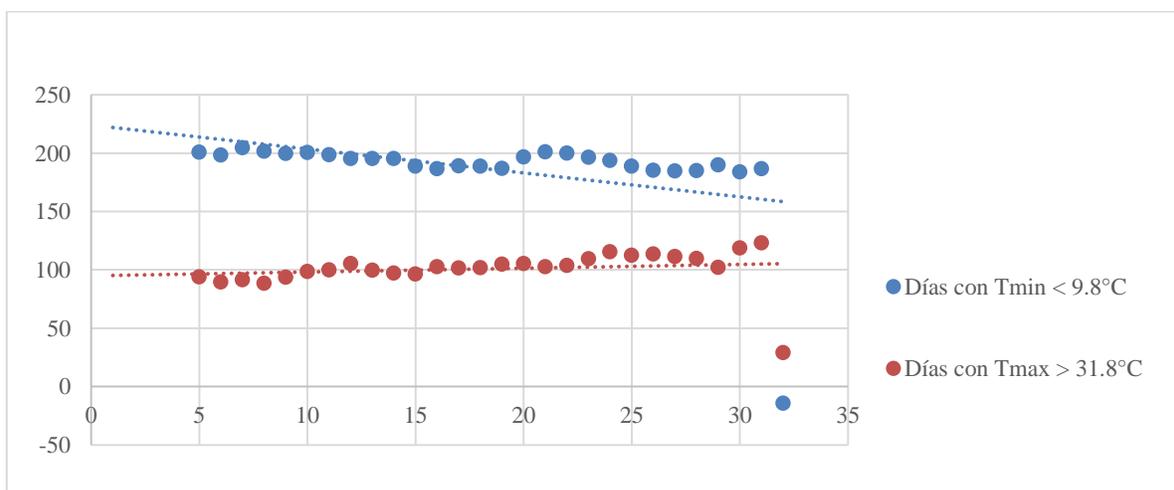


Figura 23. Tendencias de días con $T_{mín} < 9.8^{\circ}\text{C}$ y $T_{máx} > 31.8^{\circ}\text{C}$ para las estaciones de tipo climático Cálido-subhúmedo y Semicálido-subhúmedo, para la variedad Mulato.

Para la variedad Azufrado Tapatío, considerada subtropical, también se muestran tendencias similares a las de la variedad Mulato, aunque en el caso de Azufrado Tapatío no son muy marcadas las tendencias para temperaturas frías pero sí para temperaturas cálidas (Figura 24), indicando esto que la variedad se verá afectada por las temperaturas altas en las regiones Cálidas y Subcálidas subhúmedas de Jalisco, ya que a nivel regional se tienen 10 días menos con temperatura mínima menor a la T base para Azufrado Tapatío (FD9.4) y 27

días más con temperatura máxima mayor a la T umbral para esta variedad (SD29.8), entre los periodos 1980-1985 y 2005-2010.

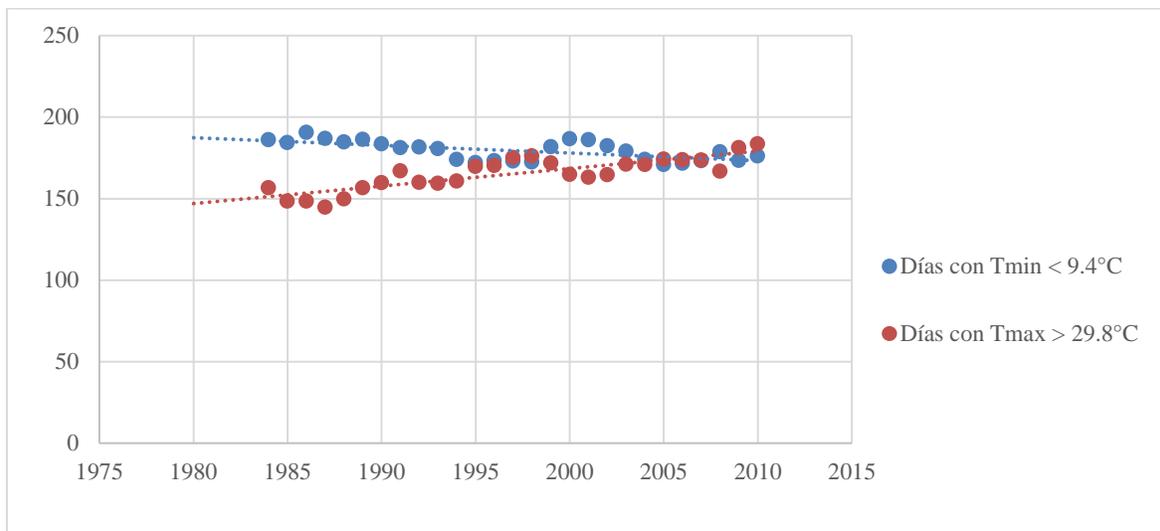


Figura 24. Tendencias regionales del número de días con temperatura mínima menor a 9.4°C y temperatura máxima mayor a 29.8°C, para Azufrado tapatío en las estaciones de tipo climático Cálido-subhúmedas y Subcálido-subhúmedas de Jalisco.

En lo referente a la variedad UGAP-16, considerada de clima subtropical-templado y para la cual se analizó la región con clima Seco y Templado-subhúmedo, se ha presentado una tendencia al incremento en los días con temperaturas muy frías (FD8.7), como se observa en la Figura 25, que son del orden de 63 días más en el período 2005-2010 con respecto al período 1980-1985. Por otro lado, los días con temperatura máxima mayor a la temperatura umbral (SD31.6), para la variedad UGAP-16 tienen un leve incremento de 5 días para el período 2005-2010 con respecto al período 1980-1985.

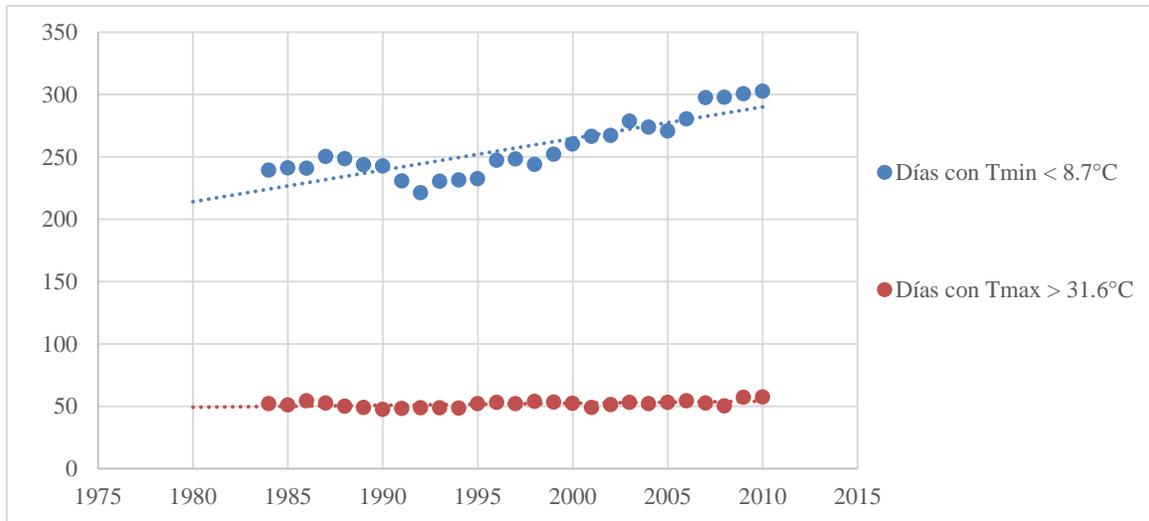


Figura 25. Tendencias a nivel regional del número de días con temperatura mínima menor a 8.7°C y temperatura máxima mayor a 31.6°C, para UGAP-16 en las estaciones con tipo climático Seco y Templado-subhúmedo.

Esto nos indica que la variedad UGAP-16, considerada como subtropical-templada se verá afectada por la disminución de las temperaturas mínimas en las zonas de producción, lo que repercutirá en su rendimiento.

Estos resultados confirman que los efectos del cambio climático afectan las condiciones térmicas adecuadas del cultivo de frijol, por lo que es importante seguir investigando sobre diferentes variedades que logren desarrollarse bajo estas condiciones. Así mismo, se requiere de investigar más a detalle las temperaturas cardinales de diversas variedades de frijol, lo cual junto con los análisis de las tendencias climáticas, permitirán identificar con mayor certeza el germoplasma adecuado para los diversos tipos climáticos de nuestro estado.

6. CONCLUSIONES

Hubo un efecto sobre la duración de las etapas de desarrollo de las cinco variedades de frijol sembradas. En la primera fecha de siembra hubo un alargamiento del ciclo biológico de las variedades al registrarse temperaturas por debajo de la temperatura umbral mínima registrada para el frijol.

En las primeras etapas de desarrollo, las variedades mostraron un comportamiento similar entre los 14 y 15 días para alcanzar la primera hoja simple, al llegar a la madurez la variedad Mulato fue más precoz que las otras cuatro variedades, diferencias que se explican por los atributos genéticos de cada variedad.

Las fechas de siembra intermedias del 24 de abril y 14 de junio, fueron mejores en producción de materia seca y rendimiento de grano, en relación a la primera fecha del 06 de marzo y última del 02 de agosto. La fecha de siembra del 06 de marzo resultó afectada por las bajas temperaturas ocurridas durante las primeras etapas de desarrollo y la última del 02 de agosto, por el exceso de lluvia en sus etapas de desarrollo intermedias y de fin del ciclo biológico.

Las variedades de frijol mostraron un comportamiento promedio similar en producción de materia seca y rendimiento de grano en las cuatro fechas de siembra. En la interacción fecha de siembra por variedad, los genotipos Azufrado Bolita, UGAP-16, Azufrado Tapatío y Mulato, fueron mejores en la siembra del 24 de abril. No obstante que la variable peso de semilla es poco afectada por factores del medio ambiente, en esta investigación las bajas temperaturas en la siembra de marzo y el exceso de lluvia en la de agosto, disminuyeron el peso del grano.

Las tendencias resultantes en los índices de extremos térmicos de cambio climático analizados en Jalisco han repercutido en la duración de días con temperaturas no adecuadas para las variedades de frijol, esto es, que se tienen incrementos en la duración de días con temperatura mínima menor a las temperaturas base e incremento en el número de días con

temperatura máxima mayor a las temperaturas umbrales de las variedades de frijol Mulato, Azufrado tapatío y UGAP-16

Los resultados obtenidos nos confirman que los efectos del cambio climático afectan las condiciones térmicas adecuadas del cultivo de frijol, el cual puede tener un acortamiento en las etapas fenológicas. Con el aumento de la temperatura puede verse afectado el proceso de madurez del cultivo, ya que se puede acortar el proceso de madurez, su ciclo biológico y su etapa reproductiva, ocasionando una disminución en el rendimiento económico del cultivo.

7. LITERATURA CITADA

- Acosta-Díaz E., I. Hernández-Torres. R. Rodríguez-Guerra, J. A. Acosta-Gallegos, J. Pedroza-Flores, M. D. Amador-Ramírez y J. S. Padilla-Ramírez. 2011. Efecto de la sequía en la producción de biomasa y grano de frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(2), 249-263.
- Acosta-Gallegos J. A., R. Rosales-Serna, R. Navarrete-Maya y E. López-Salinas. 2000. Desarrollo de variedades de frijol para condiciones de riego y temporal en México. *Agricultura Técnica en México*. 26(1), 79-98.
- Acosta-Gallegos J. A. 1998. Mejoramiento genético de frijol en México. En: R. Lépiz-Ildelfonso (ed.) *Memoria del Taller Internacional del Mejoramiento Genético de Frijol Negro Mesoamericano. PROFRIJOL*. Veracruz, México. 5-12 pp.
- Acosta-Gallegos, J. A., P. Vargas-Vázquez, and J. W. White. 1996. Effect of sowing date on the growth and seed yield of common vean (*Phaseolus vulgaris* L.) in highland environments. *Field Crops Res.* 49: 1-10.
- Acosta-Gallegos, J. A. and J. W. White. 1995. Phenological plasticity as an adaptation by common bean to rainfed environments. *Crop Sci.* 35: 199-204.
- Alexander, L. V.; Zhang, X.; Peterson, T. C.; Caesar, J.; Gleason, B.; Klein-Tank, A. M. G.; Haylock, M.; Collins, D.; Trewin, B.; Rahimzadeh, F.; Tagipour, A.; Rupa Kumar, K.; Revadekar, J.; Griffiths, G.; Vincent, L.; Stephenson, D. B.; Burn, J.; Aguilar, E.; Brunet, M.; Taylor, M.; New, M.; Zhai, P.; Rusticucci, M. and Vázquez-Aguirre, J. L. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperatura and precipitation. *J. Geophy. Res.* 111:D05109.
- Andrade, A. E.; Delgadillo, S.; Arévalo, V. A.; Soria, R. J.; Rodríguez, G. H.; Díaz, C. G.; Castellanos, R. J. Z.; Narro, S. J.; Pérez, M. J.; Díaz de León, T. G.; 1995. *Guía para*

cultivar frijol de riego y temporal en Guanajuato. INIFAP-CIRCE-CEBAJ, Celaya, Guanajuato. México 25 p. (Folleto para Productores Núm. 2).

Ayala G., O.J., J.M. Pichardo G., J.A. Estrada G., J.A. Carrillo S. y A. Hernández L. 2006. Rendimiento y calidad de semilla del frijol Ayocote en el Valle de México. *Agricultura Técnica en México*. 32(3): 313-321.

Barrales, J.S. 1997. La asociación maíz-frijol, como alternativas para agricultura con problemas de heladas. *Agronomía Mesoamericana*. 8(2): 121-126.

Barrios-Gómez E. J. y C. López-Castañeda. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar. *Agrociencia*. 43, 29-35.

Bendaña S. G. 2014. Estudio de la cadena de frijol negro. Proyecto “Microfianzas comunitarias y servicios microfinancieros rurales especializados en el Salvador, Guatemala, Nicaragua y República Dominicana”. Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos. Ministerio de Asuntos Exteriores. Fundación CODESPA. 1-34.

Bennachio S. S. 1992. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-CNIA. 87 p.

Boote K. J., L. H. Allen, P. V. V. Prasad, J. T. Baker, R. W. Gesch, A. M. Snyder, D. Pan and J. M. G. Thomas. 2005. Elevated temperature and CO₂ impacts on pollination, reproductive growth and yield of several globally important crops. *J. Agric. Meteorol.* 60(5), 469-474.

Brohan P., J. J. Kennedy, I. Harris, S. F. B. Tett and P. D. Jones. 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new data set from 1850. *J. Geophys. Res.* 111, D12106.

- Calderón H. F. 2007. Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. Presidencia de la República. México. [En línea] 01 de diciembre del 2007. [En línea] <<http://www.pnd.calderon.presidencia.gob.mx>> [Consultado el 20 de febrero del 2013].
- Chacón A. Z. 1985. Agroclimatología. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.
- Chavarín, I., Lépiz, R. y López, J. J. 2008. Fenología y acumulación de materia seca en variedades de frijol arbustivo de diferente hábito de crecimiento. XIX Semana Nacional de la Investigación Científica. In: Avances en la Investigación científica en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA). Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. p. 25-30.
- Comisión Nacional del Agua. CONAGUA. 2013. Reporte Anual 2013. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Gerencia de Meteorología y Climatología Subgerencia de Pronóstico a Mediano y Largo Plazo. 23 p.
- Curiel B. A. 2012. Adaptación al cambio climático. Ciencia. 63(4), 6-7.
- Dapaah, H., Mckenzie, B. y Hill, G. 2000. Influence of sowing date and irrigation on the growth and yield of pinto beans (*Phaseolus vulgaris*) in a subhumid temperate environment. Journal of Agricultural Science. Cambridge University Press. 134:33-43.
- Debouck D. y R. Hidalgo. 1984. Morfología de la Planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Guía de Estudio. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 56 P.
- Deming D. 1995. Climatic warming in North America: Analysis of borehole temperatures. Science. 268, 1576-1577.

- Doorenbos, J. and A.H. Kassam. with C.L.M. Bentvelsen. 1979. Yield response to water. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Libraries Australia.
- Durán P. N., J. A. Ruíz C., D. R. González E., G. Núñez H., F. J. Padilla R. y S. H. Contreras R. 2011. Temperaturas cardinales de desarrollo en la etapa siembra-emergencia de 11 pastos forrajeros. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 2(3), 347-357.
- Esquivel, E. G., J. A. Acosta G., J. Ortiz C., María C. Mendoza C., y J. S. Padilla R. 2004. Fenología y rendimiento de cuatro variedades de frijol en el Altiplano Central de México. *Agricultura Técnica en México.* 30(1): 19-27.
- Esquivel-Villagrana F., J. S. Padilla-Ramírez, R. Ochoa-Márquez y L. Reyes-Muro. 2002. Efecto de la fecha de siembra y el régimen de humedad en el desarrollo de pudriciones de raíz y el rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología.* 20(2), 161-167.
- Esquivel, E. G. 1995. Fenología, crecimiento y rendimiento de dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en seis fechas de siembra. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Fitotecnia. Chapingo. Edo. De México. México. 60 p.
- Espinosa A. L. G. 2007. Identificación de materiales de frijol con alto potencial nutricional y nutracéutico. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Campus Guanajuato. Laboratorio de Biotecnología de Alimentos. Premio Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos.
- Fehr W. R., C. E. Cavines, D. T. Burmood and J. S. Pennington. 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Science.* 11, 929-931.

Fernández F., P. Gepts y M. López. 1985. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común. CIAT. 6-7 p.

Financiera Rural. 2014. Panorama del Frijol. [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Frijol%20\(may%202014\).pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Frijol%20(may%202014).pdf).

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2007. Base referencial mundial del recurso del suelo. Primera actualización 2007. Informe sobre los recursos mundiales de suelos. No. 103. FAO. Roma.

Gallant, A. J. and Karoly, D. J. 2010. A combined climate extremes index for the Australian Region. *J. Climate*. 23:6153-6165.

Gan Y., S. V. Angadi, H. Cutforth, D. Potts, V. V. Angadi and C. L. McDonald. 2004. Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. *Canadian Journal of Plant Science*. 84, 697-704.

Gardner, F.P., R.B. Pearce y R.L. Mitchell. 1985. *Physiology of crop plants*. Iowa State University Press. Ames, IA.

Geiger, D.R., S. Wen-Jang y R.M. Saluke. 1989. Carbon partitioning among leaves, fruits, and seeds during development of *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiol*. 91: 291-297.

González E. D. R., J. A. Ruíz C., R. Lépiz I., A. González A., E. López A., G. Ramírez O., P. Zarazúa V. y N. Durán P. 2011. Expectativas de adaptación al cambio climático de tres variedades de frijol en Jalisco. *Rev. Mex. Cienc. Agric. Pub. Esp*. 2, 337-350.

- González T.,G., F. M. Mendoza H., J. Covarrubias P., Nicolás Morán V. y J. A. Acosta G. 2008. Rendimiento y calidad de semilla de frijol en dos épocas de siembra en la Región del Bajío. *Agricultura Técnica en México*. 34(4): 421-430.
- Hall A. E. 2004. Breeding for adaptation to drought and heat in cowpea. *Europ. J. Agronomy*. 21, 447-454.
- Hernández Díaz-Ambrona, C. 2005. La agricultura extremeña en el horizonte 2050: Cambio climático y cultivos. *Agricultura*. 126-131.
- Hernández C., N. y F. Soto C. 2012. Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales. Parte I. Cultivo de Maíz (*Zea mays* L.). *Cultivos Tropicales*. 33(2):44-49.
- Houghton J. T., G. J. Jenkins and J. J. Ephraums (eds.) 1990. *Climate change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press. 365 p.
- Ibarra C. D., J. A. Ruíz C., D. R. González E. y J. G. Flores G. 2008. Clasificación Espacial de la Textura de los Suelos Agrícolas de Zapopan, Jalisco. *Avances de la Investigación Científica en el CUCBA*. ISBN: 978-607-00-2083-4.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2012. México, quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 6-56 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2012. Encuesta Nacional Agropecuaria 2012. [En línea] <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/encuestas/agropecuarias/ena/2012/> [Consultado el 09 de abril del 2014].

- Integrated Taxonomic Information System (ITIS). 2014. *Phaseolus vulgaris* L. [En línea]. <http://itlis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=26857>. [Consultado el 21 de enero del 2014].
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. *In*: Pachauri, R.K., and A. Reisinger (eds.) Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del IPCC. Ginebra. Pp. 104.
- Jacinto, C. y P. Hernández. 1993. Efecto de las heladas sobre factores nutricionales y de calidad de frijol. *Revista Fitotecnia Mexicana*. SOMEFI. México. (16): 91101.
- Jones P. D., D. E. Parker, T. J. Osborn and K. R. Briffa. 2009. Global and hemispheric temperatures anomalies land and marine instrumental records. In *Trends: a compendium of data on global change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy. USA.
- Kleint-Tank, A., F. Zwiers, and X. Zhang, 2009: Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. *World Climate Data and Monitoring Program Series*, World Meteorological Organization,(72): 56 pp.
- Kohashi S., J. 1990. Aspectos de la morfología y fisiología del frijol *Phaseolus vulgaris* L. y su relación con el rendimiento. Centro de Botánica-Colegio de Postgraduados. Chapingo-Montecillo. México
- Lawlor D. W. 2005. Plant responses to climate change: impacts and adaptation. In: Omasa, I. Nouchi, and L. J. de Kok (eds.) *Plant responses to air pollution and global change*. K. Springer-Verlag. Tokio. 81-88.

- Lawton R. O., U. S. Nair, R. A. Pielke and R. M. Welch. 2001. Climatic impact of tropical lowland deforestation on nearby montane cloud forests. *Science*. 294, 584-587.
- Lépiz Ildefonso, R. y R. Ramírez Delgadillo. 2010 Los parientes silvestres del frijol común en el occidente de México. Universidad de Guadalajara. 64 pp.
- Lépiz I. R., S. Sánchez P., E. López A., A. González A., y S. Núñez. 2007. El cultivo del frijol en las regiones Centro y Sur de Jalisco. Tecnología para altos rendimientos. Universidad de Guadalajara. Las Agujas, Municipio de Zapopan, Jalisco, México. 34 p.
- Leport L., N. C. Turner, S. L. Davies and K. H. M. Sidique. 2006. Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought. *Europ. J. Agronomy*. 24, 236-426.
- Leroy S.S. 1999. Optimal detection of global warming using temperature profiles: A methodology. *Journal of Climate*. 12, 1185-1198.
- Machado N. N. B., P. M. Regina, A. B. Gatti and V. J. Mendes. 2006. Temperature effects on seed germination in races of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta. Sci. Agron*. 28, 155-164.
- Magaña R. V. O. 2004. Cambio climático global: comprender el problema. Cambio climático: una visión desde México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, INECOL. 525 p.
- Maldonado, G., y G. Corchuelo. 1993. Dinámica de crecimiento de dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) I. Análisis de crecimiento por periodos fijos. *Agronomía Colombiana*. 10(2): 114-121.

- Masaya P., and J. W. White. 1991. Adaptation to photoperiod and temperature. In: Schoonhoven A. V., and O. Voyses (eds). *Common Beans: Research for Crop Improvement*. C. A. B. Intl. U. K. and CIAT, Cali, Colombia. pp: 445-500.
- McKenney M. S. and N. J. Rosenberg. 1993. Sensitivity of some potential evapotranspiration estimation methods to climate change. *Agricultural Forest Meteorology*. 64, 81-110.
- Meier U., H. Bleiholder, L. Buht, C. Feller, H. Hacks, M. Meß, P. D. Lancashire, U. Schnock, R. Stauß, T. van den Boom, E. Weber and P. Zwerger. 2009. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications -. *Journal Für Kulturpflanzen*. 61(2), 41-52.
- Meteorological Office Hadley Center (Met Office). 2013. HadCRUT4 Dataset. [En línea] <<http://hadobs.metoffice.com/hadcrut4/>> [Consultado el 01 de diciembre del 2013].
- Monteith J. L. 1981. Climatic variation and the growth of crops. *Quart. J. Royal Meteorol. Soc.* 107, 749-774.
- Monteith J. L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 281, 277-294.
- Monterroso V. A. and H. C. Wien. 1990. Flower and Pod Abscission due to heat stress in beans. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(4), 631-634.
- Munk, W., M. Dzieciuch, and S. Jayne. 2002. Millennial Climate variability: Is there a tidal connection? *Journal of Climate*. 15: 370-385.
- Ojeda-Bustamante W., E. Sifuentes-Ibarra, M. Iñiguez-Covarrubias y M. J. Montero-Martínez. 2011. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*. 45, 1-11.

- Organización Meteorológica Mundial (OMM). 2014. Comunicado de prensa 985. Declaración provisional del estado del clima de 2013: constantes temperaturas altas a escala mundial y numerosos fenómenos climáticos extremos en todo el mundo. [En línea] <http://www.wmo.int/pages/mediacenter/press_releases/pr_985_es.html> [Consultado el 24 de marzo del 2014].
- Padilla, J., Osuna, E. y Acosta, E. 2008. Effect of sowing date on seed yield of early and late dry bean cultivars at highlands of Mexico. *Bean Improvement Cooperative*. 51:230-231.
- Pajarito, R. A. 2006. Fenología y rendimiento de variedades de frijol en diferentes fechas de siembra y condiciones de humedad. *Agrofaz*. 6(1): 7-16.
- Paredes L. O. y M. E. Valverde. 2006. Los recursos nutraceuticos y medicinales que Mesoamérica le ha dado al mundo. CINVESTAV. Irapuato. Guanajuato. 88 p.
- Patz J. A., P. R. Epstein, T. A. Burke and J. M. Balbus. 1996. Global Climate Change and Emerging Infectious Diseases. *Journal of the American Medical Association (JAMA)*. 275(3), 217-223.
- Porter J. H., M. L. Parry and T. L. Carter. 1991. The potential effects of climatic change on agricultural insect pest. *Agricultural and Forest Meteorology*. 57, 221-240.
- Robock, A, R.P. Turco, M.A. Harwell, T.P. Ackerman, R. Andressen, H. Chang and M.V.K. Sivakumar. 1993. Use of general circulation model output in the creation of climate change scenarios for impact analysis. *Climatic Change* 23:293-335
- Rojas B. L. y V. Garibay B. 2003. Las partículas suspendidas, aeropartículas o aerosoles: ¿hacen daño a la salud? ¿podemos hacer algo?. *Gaceta Ecológica*. 13, 63-69.

- Rosas J. C., A. Castro, J. S. Beaver, C. A. Pérez, A. Morales y R. Lépiz. 2000. Mejoramiento genético para tolerancia a altas temperaturas y resistencia a mosaico dorado en frijol común. *Agronomía. Mesoamericana*. 11(1), 1-10.
- Ruíz C., J.A. 2012. Adaptar la agricultura al cambio climático. *Ciencia*. 63(4), 76-83.
- Ruíz C. J. A., H. E. Flores L., J. R. Regalado R., y G. Ramírez O. 2012. Estadísticas climáticas normales del Estado de Jalisco. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. 350 p.
- Ruíz C. J. A., G. Medina G., J. L. Ramírez D., H. E. Flores L., G. Ramírez O., J. D. Manríquez O., P. Zarazúa V., D. R. González E., G. Díaz P. y C. de la Mora O. 2011. Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2, 309-323.
- Ruíz C. J. A., G. G. Medina, O. J. D. Manríquez y D. J. L. Ramírez. 2010. Evaluación de la vulnerabilidad y propuestas de medidas de adaptación a nivel regional de algunos cultivos básicos y frutales ante escenarios de cambio climático. INIFAP-INE. Guadalajara, Jalisco. México. 108 p.
- Ruíz, M., G.S. Díaz, N. Pérez, Y. Muñoz, M.E. Rodríguez y D. Domínguez. 2009. Comportamiento de la variedad de arroz (*Oryza sativa* L.) INCA LP-4 sembrada en diferentes épocas del año. *Cultivos Tropicales*. 30(1): 57-60
- Ruíz C. J. A., H. E. Flores-López, J. L. Ramírez-Díaz y D. R. González-Eguiarte. 2002. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. *Agrociencia*. 36, 569-677.

- Ruiz C. J. A., G. G. Medina., A. González, I. J.; Ortiz T., C.; Flores L., H.E.; Martínez P., R.A. y Byerly M., K.F. 1999. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Libro técnico No. 3. INIFAP. México. 324 p.
- Ruíz C. J. A. 1998. Cambio climático y su impacto sobre algunos parámetros agroclimáticos y potencialidades agrícolas del estado de Jalisco. Tesis Doctoral. Universidad de Guadalajara – CUCBA. Zapopan, Jalisco, México. 89 p.
- Salinas, P., R.A., J.A. Acosta G., E. López S., C.A. Torres E., F.J. Ibarra P. y R. Félix G. 2008. Rendimiento y características morfológicas relacionadas con tipo de planta erecta en frijol para riego. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(3): 203-211.
- Salinger M. J. 2005. Climate variability and change: past, present and future – an overview. In: *Increasing climate variability and change.* Salinger M. J., M. V. K. Sivakumar and R. P. Motha (eds.) Springer. 9-29 p. U.S.A.
- Santillán-Espinoza L. E., F. Blanco-Macías, R. Magallanes-Quintanar, J. L. García-Hernández, J. Cerano-Paredes, O. Delgadillo-Ruíz y R. D. Valdez-Cepeda. 2011. Tendencias de temperaturas extremas en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 2, 207-219.
- Secretaría de Economía (SE). 2012. Análisis de la cadena de valor del frijol. [En línea] <<http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>> [Consultado el 21 de febrero del 2014].
- Sellie K. and F. A. Bliss. 1991. Genetic Improvement of food quality factors. *In: Common beans. Research for crop Improvement.* A. van Schoonhoven and O. Voysest (Eds.) CIAT. CAB. 649-671 p.

- Servicio de la Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. [En línea] <<http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>> [Consultado el 14 de febrero del 2014].
- Singh P. S. 2006. Drought resistance in the Race Durango dry bean landraces and cultivars. *Crop Sci.* 46: 2111-2120.
- Sistema Producto Frijol (Sisprofrijol). 2013. Frijol. [En línea] <<http://www.sisprofrijol.org.mx/2011/frijol.php>> [Consultado el 17 de enero del 2014].
- Slafer G. A. and R. Savin. 1991. Developmental base temperature in different phenological phases of wheat. *J. Exp. Bot.* 41(241), 1077-1082.
- Sensoy, S.; Türkoglu, N.; Arkcakaya, A.; Ekici, M.; Ulupinar, Y.; Atay, H.; Tüvan, A. and Demirbas, H. 2013. Trends in Turkey climate indices from 1960 to 2010. 6th. Atmospheric science symposium. Istanbul, Turkey. 214 p.
- Summerfield R. J., E. H. Roberts and R. J. Lawn. 1989. Photothermal modulation of flowering in grain legumes crops. *Proc. Of the Inter. Congress of Plant Physiology and Biochemistry.* New Delhi, India.
- Summerfield R. J., E. H. Roberts and P Hadley. 1987. CRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics) Adaptation of chickpea and pigeonpea to abiotic stresses. *Proceedings of the Consultants Workshop*, 19-21. December 1984. CRISAT Center, India. Patancheru, A.P. 502324, India: I C R I S A T.
- Torres R. E. 1983. *Agrometeorología.* Editorial Diana. México. 150 p.
- Vázquez, A. J. L. 2010. *Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México.* Instituto Nacional de Ecología. México. 376 p.

- Vincent, L. A.; Peterson, T. C.; Barros, B. R.; Marino, M. B.; Rusticucci, M.; Carrasco, G.; Ramírez, E.; Alves, L.M.; Ambrizzi, T.; Berlato, M. A.; Grimm, A. M.; Marengo, J. A.; Molion, L.; Moncunill, D. F.; Rebello, E.; Anunciacao, M. T.; Quintana, J.; Santos, J. L.; Baez, J.; Coronel, G.; García, J.; Trebejo, I.; Bidegain, M.; Haylock, M. R. and Karoly, D. 2005. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *J. Climate*. 18:5011-5023.
- Wang, X. L. 2008. Penalized maximal F test for detecting undocumented mean shift without trend change. *J. Atmospheric Oceanic echnol*. 25:368-384.
- Wang, X. L. and Feng, Y. 2010. Rhtests V3. User manual. Climate research division. atmospheric science and technology directorate. Science and technology branch. Environment Canada.
- Wang, X. L.; Chen, H.; Wu, Y.; Feng, Y. and Pu, Q. 2010. New techniques for the detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series. 2010. *J. Appl. Meteorol. Climatol*. 49:2416-2436.
- White J. W. 1985. Conceptos básicos de fisiología del frijol. En: Frijol, investigación y producción. Editado por Marcoliano López, Fernando Fernández y Aart van Schoonven. CIAT. 43-60 pp.
- Weaver M. L., H. Timm and D. W. Burke. 1985. Pollen staining and high temperature-tolerance of bean. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*. 110 (6), 797-799.
- Zarazúa-Villaseñor P., J. A. Ruíz-Corral, D. R. González-Eguiarte, H. E. Flores-López y J. Ron-Parra. 2011. Impactos del cambio climático sobre la agroclimatología del maíz en Ciénega de Chapala, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2, 351-363.

Zhang, X.; Alexander, L.; Hegerl, G. C.; Jones, P.; Klein-Tank, A.; Peterson, T. C.; Trewin, B. and Zwiers, F. W. 2011. WIREs Clim Change. Doi: 10.1002/wcc.147.

Zhang, X. and Feng, F. 2004. RCLimDex (1.0). Manual del usuario. Climate Research Branch Environment Canada. Versión en español: Santos, J. L. CIIFEN.