



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

**Comportamiento de la estación de crecimiento
en Cuautitlán Izcalli, Estado de México**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA

P R E S E N T A:

VIVIANA MUÑOZ ORTIZ

ASESOR: Dr. GUSTAVO MERCADO MANCERA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis**

Comportamiento de la estación de crecimiento en Cuautitlán Izcalli, Estado de México

Que presenta la pasante: **Viviana Muñoz Ortiz**.
Con número de cuenta: **311251397** para obtener el Título de: **Ingeniera Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 06 de mayo de 2022.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Gustavo Mercado Mancera	
VOCAL	Dr. Julio César Corza Sosa	
SECRETARIO	Dra. Gloria Herrera Vázquez	
1er. SUPLENTE	M. en C. Nancy Berenice Martínez Valles	
2do. SUPLENTE	Ing. Ana Karen Granados Mayorga	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

MCVB/ntm*

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios y al universo por haberme permitido llegar hasta este momento de mi vida, donde puedo sentirme orgullosa de haber logrado este momento tan anhelado para un universitario.

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme acogido y haber hecho posible el cumplimiento de este sueño.

Gracias a mis hermanos Olga, Pablo y Mariana, por ser mis ejemplos de vida.

Gracias a Eduardo Argumedo Rodríguez, por recorrer a mi lado esta maravillosa etapa universitaria, por apoyarme y nunca dejar de creer en mí. A Reynoldez, por ser ese amigo incondicional de principio a fin en esta aventura.

Gracias a mi asesor de tesis, el Dr. Gustavo Mercado Mancera, por compartir sus conocimientos y tiempo brindado. Por creer en sus alumnos y apoyar fielmente a la carrera.

Gracias a mí, Viviana Muñoz Ortiz por no rendirte, por llegar hasta el final, por creer en ti.

DEDICATORIA

Este proyecto final se lo dedico a mis padres Silvia Ortiz Chávez y José Pablo Muñoz Nativitas, que con su mayor esfuerzo y amor me apoyaron incondicionalmente a lo largo de toda mi formación académica y personal. Sin su ayuda esto no sería posible.

Gracias por siempre estar para mí. Los amo con todo mi corazón.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>i</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>i</i>
RESUMEN	<i>ii</i>
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	2
1.1.1. Objetivos particulares	2
II. ANTECEDENTES	3
2.1. Crecimiento y desarrollo de los cultivos	3
2.1.1. Influencia de las variables climáticas	3
2.1.2. Influencia de las variables edáficas	5
2.2. Definición de estación de crecimiento	7
2.2.1. Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad	8
2.2.1.1. Tipos de estación de crecimiento por disponibilidad de humedad	8
2.2.2. Estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura	9
2.3. Importancia agrícola de la determinación de la estación de crecimiento	11
2.4. Localización geográfica del área de estudio	12
2.5. Descripción edafoclimática del área de estudio	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1. Metodología	15
3.1.1. Variables evaluadas	15
3.2. Materiales	15

	Página
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1 Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad	16
4.2. Estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura	19
4.3. Estación de crecimiento para un cultivo anual de ciclo primavera-verano	21
4.4. Estación de crecimiento para un cultivo perenne	23
V. CONCLUSIONES	27
VI. LITERATURA CITADA	29
ANEXOS	32

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Representación esquemática de los tipos de estación de crecimiento (FAO, 1997).	9
Figura 2. Representación esquemática del periodo libre de heladas (Elaboración propia, 2022).	10
Figura 3. Localización geográfica del municipio de Cuautitlán Izcalli. México.	13
Figura 4. Vista de la estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.	14
Figura 5. Estación de crecimiento normal por disponibilidad de humedad, periodo 1988-2021. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.	16
Figura 6. Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad para los periodos 1988-1992, 1993-1997, 1998-2002, 2003-2007. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.	17
Figura 7. Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad para los periodos 2008-2012, 2013-2017, 2018-2021. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM	18
Figura 8. Precipitación diaria del mes de mayo a octubre del 2020. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.	19
Figura 9. Estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura para el periodo 1997-2021. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.	20
Figura 10. Fenología del cultivo de frijol. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.	21
Figura 11. Propuesta para el desarrollo fenológico del cultivo de frijol. FES-C, UNAM.	22
Figura 12. Fenología del cultivo del peral. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.	24
Figura 13. Desarrollo fenológico del peral. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.	25

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Estados fenológicos del peral y su promedio de aparición obtenido de 2014-2019. Cuautitlán Izcalli, Méx. (De Paz, 2020).	24

RESUMEN

La estación de crecimiento es una herramienta fundamental en la agricultura que nos permite realizar una planeación agrícola con el objetivo de proteger los cultivos y con ello maximizar la producción. Este trabajo tuvo como objetivo describir el comportamiento de inicio, fin y duración de la estación de crecimiento por disponibilidad de humedad y temperatura en Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Se obtuvieron estadísticas de precipitación promedio mensual, temperatura media promedio mensual durante el periodo de julio de 1988 a diciembre del 2021 y además se calculó la evapotranspiración por el método del Tanque de Evaporación. Los datos se obtuvieron a partir de la estación meteorológica Almaraz. Las variables evaluadas fueron: la estación de crecimiento por disponibilidad de humedad que se determinó por el método de la FAO, para el periodo de estudio y cada cinco años, y la estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura que se determinó con base a la probabilidad del periodo de bajo riesgo de helada obtenida mediante la distribución normal. Los resultados muestran que la estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura es del tipo normal, presenta un periodo húmedo en la mitad caliente del año con presencia de sequía intraestival dentro del mismo. Para la estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura se consideró a un 5% y un 20% de ocurrencia de helada, el primer caso con una duración de 155 días y para el segundo con una duración de 212 días. También se analizaron datos fenológicos de los cultivos de frijol y peral obtenidos en el 2018, y del 2014 al 2019, respectivamente. Dichos datos se compararon con las estaciones de crecimiento obtenidas. Para el cultivo de frijol no se observó que su ciclo de cultivo se haya visto comprometido por algún siniestro meteorológico. Para el cultivo de peral se observó que las primeras etapas fenológicas se encuentran dentro del periodo de heladas tardías. La importancia de la conjunción entre las estaciones de crecimiento y las etapas fenológicas de los cultivos radica en el apoyo que brinda para la planeación de las actividades agrícolas, tanto de cultivos de temporal como de perennes, lo cual permite la toma de decisiones con mayor seguridad para el éxito de la producción agrícola.

I. INTRODUCCIÓN

La estación de crecimiento es el lapso en el año en el cual se presentan condiciones meteorológicas favorables para el correcto desarrollo de las etapas fenológicas de la planta. Sin embargo, dentro de estas condiciones favorables pueden ocurrir diferentes sucesos que las pueden perturbar y hacer que la planta no pueda desarrollarse correctamente. Estas pueden ser tanto aumento o descenso brusco de temperatura o una ausencia o exceso de humedad en el periodo de crecimiento.

En la agricultura existen dos ciclos vegetativos, el corto o anual y el perenne. Para el primer caso cuando el cultivo se desarrolla en el ciclo primavera-verano se dice que se desarrolla bajo condiciones de temporal, es decir que el cultivo dependerá de la estación lluviosa. Para tener un correcto desarrollo de este cultivo se recomienda hacer uso de la estación de crecimiento, pues es aquí donde se visualiza el comportamiento del periodo húmedo en un lugar determinado. Para el segundo caso, las temperaturas son una parte importante que considerar pues las fechas de aparición o presencia de heladas coinciden en muchos casos con sus momentos fenológicos más sensibles.

Esto hace entender la gran importancia que conlleva el estudio de una estación de crecimiento en la agricultura, pues es de aquí donde surge la planificación de los ciclos de siembra y cosecha en el campo, selección del cultivo y que variedad es la que mejor se adapta de acuerdo con las características climáticas de la zona. Estas acciones brindan más oportunidades a productores y técnicos de establecer cultivos donde se corra el más mínimo riesgo de fenómenos meteorológicos que puedan afectar sus rendimientos, generando así una variabilidad de alimentos sanos y de mejor calidad.

Es importante tener en cuenta que el cambio climático que se vive actualmente en el mundo entero es una de las causas que genera modificaciones en la duración de la estación de crecimiento y en consecuencia el análisis de ella es de vital importancia para el buen desarrollo de las actividades agrícolas.

En el presente trabajo se muestra el análisis del comportamiento de la estación de crecimiento por disponibilidad de humedad y temperatura en Cuautitlán Izcalli, con el propósito de conocer las fechas de inicio, fin y duración de estas, ayudando así a un mejor aprovechamiento de los recursos y de las actividades agrícolas.

1.1. Objetivo general

- Analizar el comportamiento de la estación de crecimiento en Cuautitlán Izcalli, Estado de México, y su importancia en la agricultura.

1.1.1. Objetivos particulares

- Determinar la duración de la estación de crecimiento por disponibilidad de humedad, con datos climáticos de julio de 1987 a diciembre de 2021, en Cuautitlán Izcalli, Estado de México.
- Determinar la duración de la estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura, con datos climáticos de julio de 1987 a diciembre de 2021, en Cuautitlán Izcalli, Estado de México.
- Relacionar la duración de la estación de crecimiento por disponibilidad de humedad con la estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura en el área de estudio.
- Relacionar la estación de crecimiento con el ciclo fenológico del frijol y del peral.
- Razonar la importancia en las actividades agrícolas del estudio de la estación de crecimiento.

II. ANTECEDENTES

2.1. Crecimiento y desarrollo de los cultivos

En la terminología agrícola, se suelen utilizar dos términos frecuentemente “crecimiento” y “desarrollo”. Los dos términos se suelen utilizar como sinónimos, sin establecer las diferencias entre los procesos que se involucran en cada uno de ellos. El crecimiento es el aumento de tamaño, habitualmente en forma y ocasionalmente en número, este incrementa mediante condiciones de crecimiento favorables (humedad, nutrientes y temperatura adecuados), y disminuye mediante condiciones de crecimiento estresantes (temperaturas anormales, deficiencias en nutrimentos, humedad, entre otros). Mientras que el desarrollo es la progresión de una etapa a otra más avanzada o madura de la planta (Jarman *et al.*, 2010; Endicott *et al.*, 2015).

Comprender las fases de crecimiento que atraviesan los cultivos es esencial para su planificación. Una pequeña plántula que ha germinado tiene necesidades muy diferentes a las de una adulta que está casi lista para ser llevada al campo (Kasten *et al.*, 2012). Entonces, el crecimiento y desarrollo de los cultivos depende de gran medida del efecto de un conjunto de factores bióticos y abióticos que influyen en sus procesos vitales. Dentro de los factores abióticos, las variables edáficas y climáticas dentro de una zona determinada juegan un papel importante en los diferentes procesos fisiológicos. Por lo tanto, el establecimiento de cultivos en zonas donde se cumplen sus requerimientos edafoclimáticos, en conjunto con la capacidad genética de la especie, garantizará el poder alcanzar su rendimiento potencial (Suárez, 2014).

2.1.1. Influencia de las variables climáticas

La productividad de los cultivos está gobernada por complejas interacciones entre el clima y los procesos fisiológicos que estos conllevan. La temperatura, la radiación solar y precipitación son las tres principales variables climáticas que regulan el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Santiváñez, 2001).

El régimen térmico con relación al desarrollo de cultivos comprende variables relacionadas con los requerimientos fenológicos, rangos térmicos y características fotosintéticas de los cultivos. Los diferentes rangos de temperaturas pueden alterar la duración del periodo de crecimiento, esto debido fundamentalmente a la adaptación de temperatura por la que tienen que pasar los cultivos

(FAO, 1997). Temperaturas altas pueden afectar adversamente la fotosíntesis, la respiración, las relaciones hídricas, la estabilidad de las membranas, la regulación hormonal y el metabolismo secundario de las plantas; afecta directamente su crecimiento y desarrollo y, conduce a una drástica reducción del rendimiento económico de las plantas cultivadas (Jarma *et al.*, 2011).

Para evitar pérdidas importantes de rendimiento a medida que aumente la temperatura, el manejo del cultivo deberá ser cada día más preciso; se pueden obtener buenos rendimientos compensando el efecto de las altas temperaturas con un óptimo suministro de agua y de nutrimentos (FAO, 2001).

La precipitación es otra característica ambiental que depende de la latitud, altitud y topografía (Morales y Díaz, 2018). El factor agua interviene como constituyente de las células vivas, como elemento indispensable del metabolismo; en el aprovisionamiento de los vegetales en elementos minerales extraídos del suelo, en los intercambios con el medio ambiente por evapotranspiración, sobre la estructura física y bioquímica del suelo en donde crecen y se desarrollan los cultivos y en su estado hídrico. Por ello, es indispensable para poder determinar las necesidades de agua de las plantas, los recursos hidrológicos o el número de días disponibles para los trabajos agrícolas. Es necesario analizar (Navarro, 1993).

- La distribución de la precipitación a lo largo de cada fase del ciclo vegetativo.
- La frecuencia e intensidad de las precipitaciones.
- La distribución de la precipitación en los periodos críticos del desarrollo de los cultivos.
- Valores probables de la precipitación para un porcentaje de riesgo determinado en diversos periodos críticos (exceso y defecto de precipitación).
- Las precipitaciones máximas esperadas en distintos intervalos de tiempo.
- Sequías y periodos secos. Probabilidad de frecuencia de aparición y duración.

Las plantas necesitan agua para la formación de los carbohidratos en el protoplasma celular y como un vehículo para la translocación de elementos minerales, siendo el elemento determinable para el proceso de crecimiento (Marín, 1977). Por lo tanto, los registros de la precipitación permiten realizar de manera más acertada diversas planificaciones, desde programar la siembra de un cultivo anual hasta la cosecha de este.

La radiación solar es la cantidad de energía radiante que emite el sol y llega a la superficie terrestre. La latitud y la nubosidad de un sitio limitan la radiación porque a mayores latitudes, debido al ángulo de incidencia, los rayos solares tienen que atravesar una amplitud mayor a la capa atmosférica (Morales y Díaz, 2018). Esta es un variable muy importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas, pues controla el funcionamiento de procesos como la fotosíntesis, el fotoperiodismo, los fototropismos, etc. La calidad, intensidad y duración de la luz son características muy importantes que influyen en su crecimiento. Una población excesiva de plantas puede limitar el rendimiento de las cosechas, debido principalmente a una competencia entre las plantas de nutrientes, agua y luz (Marín, 1977). Además, es un factor del cálculo de la evapotranspiración potencial como medida de las necesidades de agua de los cultivos (Navarro, 1993).

La manera de como las plantas perciben la radiación solar se clasifica en tres diferentes formas: la intensidad lumínica que es la cantidad de energía radiante por unidad de tiempo, la calidad de luz que es la distribución espectral de la radiación y las horas luz por día que se refiere al fotoperiodo (Fischer y Pérez, 2012).

Las plantas se adaptan a las condiciones de radiación solar durante su desarrollo. Aquellas que se desarrollan con alta iluminación forman ejes y ramificaciones más vigorosos, sus hojas tienen un mesófilo de varias capas, con células ricas en cloroplastos y una red densa de venas lo que se manifiesta en un aumento más grande de masa seca (MS), contenido de energía más alta de la MS y una mayor fertilidad (floración, cuajamiento y rendimiento de frutos), en comparación con plantas adaptadas a condiciones de baja luz (Fischer y Pérez, 2012). Las plantas que crecen con poca luz tienen un contenido bajo de clorofila, se alarga en su eje longitudinal, y se retardan en su desarrollo foliar; es decir sufren una etiolación o ahilamiento (Jarma *et al.*, 2010).

2.1.2. Influencia de las variables edáficas

La identificación de los indicadores de la calidad del suelo es un problema universal, debido a la importancia de este recurso para la producción vegetal. Por lo general se han utilizado un grupo de variables para diagnosticar la salud del suelo, a partir de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Cabrera, 2012).

Dentro de sus propiedades físicas; la estructura del suelo, particularmente en aquellos suelos que contienen cantidades apreciables de limo y arcilla y su estabilidad tienen un efecto pronunciado sobre el crecimiento de las raíces y de la parte aérea de las plantas (Marín, 1977), ya que afecta al abastecimiento de oxígeno, agua y nutrientes (Osuna, *et al.*, 2006).

La densidad aparente es una medida de la cantidad de espacios porosos en el suelo, entonces a mayor densidad aparente el suelo será más compacto y por consiguiente la estructura será más pobre y habrá menor cantidad de espacios porosos, por lo cual se refleja en el crecimiento de las plantas. La humedad del suelo tiene un efecto pronunciado sobre la absorción de los nutrientes. Cuando los espacios porosos del suelo se saturan con agua se afecta la respiración de las raíces y por consiguiente se disminuye la absorción de iones (Marín, 1977).

La compactación del suelo es un proceso de densificación relacionado con el colapso de los poros, provocado por una presión mecánica que supera la resistencia del suelo. Con este tipo de degradación el suelo experimenta cambios significativos que restringen el crecimiento de los sistemas radicales (Osuna, *et al.*, 2006).

Las propiedades químicas del suelo están muy relacionadas con su fertilidad. Los nutrientes de las plantas están retenidos como iones intercambiables y por consiguiente su persistencia en el suelo y su disponibilidad para las plantas dependen de las reacciones de intercambio. Los iones intercambiables del suelo pueden ser aniones o cationes y ambos son de importancia para la nutrición vegetal (Marín, 1977). Por lo tanto, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, P, NH_4 , entre otros). Estos serán intercambiados por otros cationes o iones de hidrógeno presentes en la solución del suelo y liberado por las raíces. Esta propiedad del suelo está muy relacionada con su fertilidad, de modo, que los suelos con mayor CIC tienen en general mayor fertilidad (FAO, 2022).

Esta capacidad de intercambio catiónico varía con el pH, el cual determina el grado de adsorción de iones (H^+) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. El valor de pH en el suelo oscila entre 3.5 (muy ácido) a 9.5 (muy alcalino). Los suelos muy ácidos (<5.5) tienden a presentar cantidades

elevadas y tóxicas de aluminio y manganeso. Los suelos muy alcalinos (>8.5) tienden a dispersarse (FAO, 2022). Las plantas que crecen en ambientes contaminados por metales aumentan los iones de metales tóxicos y los compartimentan eficazmente en varias partes, principalmente en las raíces y las hojas más viejas y en organelos de la célula donde exista un menor riesgo de daño por su acumulación en los órganos del vegetal (Casierra y Poveda, 2005).

Muchos suelos son resultado de la acción climática y como consecuencia, clima y suelo en conjunto suelen influir en la producción de los cultivos (FAO, 1997).

2.2. Definición de estación de crecimiento

Normalmente el crecimiento de los cultivos agrícolas depende de la estacionalidad de los recursos de tierras. En zonas tropicales las estaciones son demasiado secas para establecer un cultivo sin irrigación y en las zonas templadas en la estación de invierno las bajas temperaturas limitan el desarrollo de cultivos. La estación de crecimiento define la época del año en que las condiciones de humedad y temperatura son idóneas para para la producción de los cultivos (FAO, 1997).

Odekunle (2004) citado por Ruíz *et al.* (2012) define como estación de crecimiento al periodo del año en el que las características de distribución de la precipitación son idóneas para la germinación, establecimiento y desarrollo pleno del cultivo.

De acuerdo con Ruiz, *et al.* (2016) la estación de crecimiento es el periodo con condiciones climáticas adecuadas para el crecimiento y desarrollo de cultivos, citando la precipitación, temperatura y radiación solar como fundamentales. Entonces, la estación de crecimiento proporciona un marco ideal para resumir en un determinado tiempo elementos variables del clima, que se pueden comparar con los requerimientos y las respuestas estimadas de las plantas, y así obtener una buena toma de decisiones.

Muchos investigadores han definido el inicio, duración y fin de la estación de crecimiento, con base a las características de una región en específico y de la información climatológica que tienen disponible (Arteaga *et al.*, 2006).

La estación de crecimiento puede ser dividida en las siguientes partes: estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura y la estación de crecimiento por disponibilidad de humedad; la sobreposición de estos dos periodos da como resultado el periodo de crecimiento efectivo (Crespo (2009) citado por Martínez, 2014).

2.2.1. Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad

La estimación de la estación de crecimiento se basa en el modelo de balance hídrico que relaciona la lluvia (P) con la evapotranspiración potencial (ETp). Si la estación de crecimiento no está limitada por la temperatura, la relación P/ETp determina el comienzo, el fin y el tipo de periodo de crecimiento. La determinación del comienzo del periodo de crecimiento se basa en el inicio de la estación lluviosa. Las primeras lluvias caen sobre el suelo que esta generalmente seco y que tiene un gran déficit de humedad en el perfil (FAO, 1997).

La estación de crecimiento es el intervalo en el cual la precipitación es mayor a la evapotranspiración potencial ($P > ETp$). La presencia de un periodo húmedo en la estación de crecimiento cubre las demandas de la evapotranspiración de los cultivos a su máxima cobertura y también cubre el déficit de humedad en el perfil del suelo (Pájaro y Ortiz, 1992).

Crespo (2009) citado por Martínez (2014) propuso que para determinar el periodo de crecimiento por disponibilidad de humedad es que en 5 días lluevan de 10 a 15 mm y que en el próximo mes no se presente ninguna semana sin lluvia.

La estación de crecimiento continúa más allá de la estación lluviosa, cuando los cultivos maduran con las reservas de humedad almacenadas en el perfil de suelo. Por lo tanto, debe considerarse que el almacenamiento de humedad del suelo también determina la duración de la estación de crecimiento (FAO, 1997).

2.2.1.1. Tipos de estación de crecimiento por disponibilidad de humedad

De acuerdo con Pájaro y Ortiz (1992), existen cuatro tipos de estación de crecimiento (Figura 1) cuyas características son:

- Normal: se define cuando existe un periodo húmedo.

- Intermedio: es aquel en donde la precipitación mensual a través del año no exceda la evapotranspiración potencial, pero si a la mitad de la evapotranspiración potencial, es decir, no tiene periodo húmedo.
- Húmedo todo el año: la precipitación excede a la evapotranspiración potencial. También es común considerar el periodo de crecimiento húmedo todo el año como periodo normal de 365.
- Seco todo el año: la precipitación mensual nunca excede a la mitad de la evapotranspiración potencial. El número de días con condiciones adecuadas de humedad es de cero.

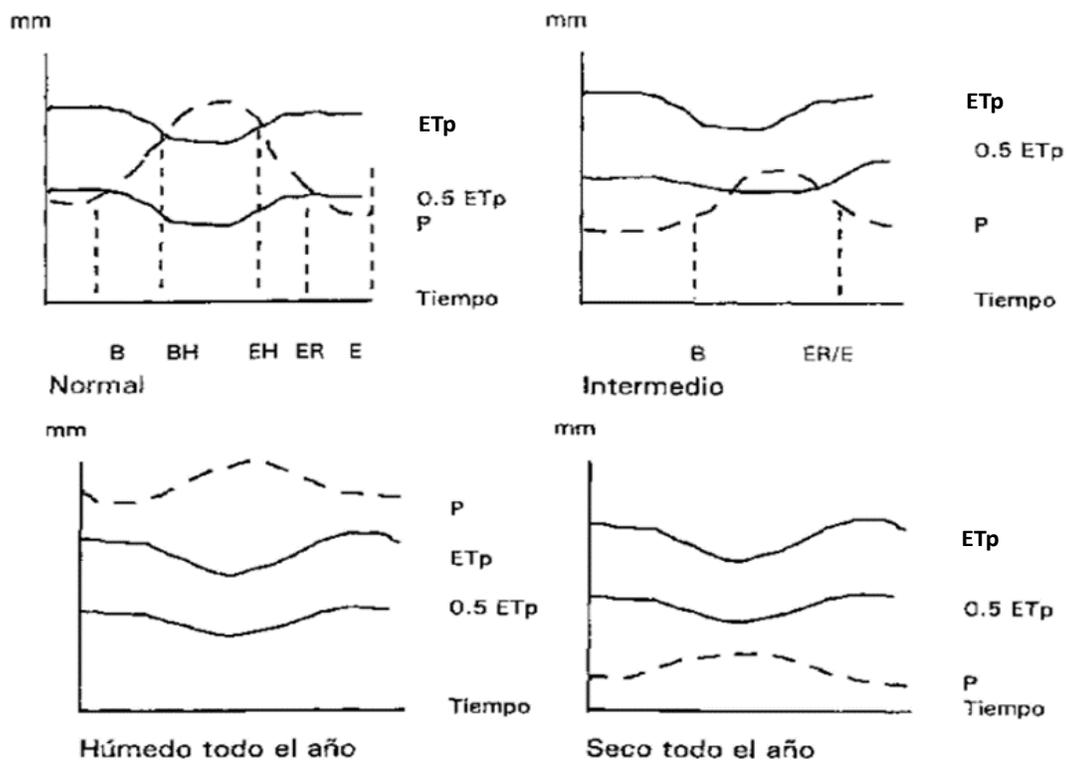


Figura 1. Representación esquemática de los tipos de estación de crecimiento (FAO, 1997).

2.2.2. Estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura

En agricultura, el conocimiento de la temperatura en determinadas zonas resulta ser de gran importancia ya que permite establecer las probabilidades de riesgo en el desarrollo de los cultivos.

El periodo de crecimiento por disponibilidad de temperatura se puede determinar considerando el periodo libre de heladas (Figura 2). Desde el punto de vista meteorológico una helada se define cuando la temperatura desciende $\leq 0^{\circ}\text{C}$. Para la agrometeorología este concepto cambia sustancialmente, pues mientras algunas especies reportan daños con menor temperatura a 0°C , otras sufren daños por encima del valor de cero; también dependerá del estado fenológico en el que se encuentre el cultivo (Martínez y Ruíz, 2005).

Después de establecer la estación con disponibilidad de agua para el desarrollo de cultivos se evalúa dicho periodo en relación con la temperatura. La FAO (1978) citado por Pájaro y Ortiz (1992) consideró a la temperatura media diaria, en México, mientras que Ortiz (1987), a la temperatura media mensual, ambas con el valor de 6.5°C , para establecer un límite de temperatura favorable para el desarrollo de cultivos. De esta forma, al periodo con temperaturas inferiores a 6.5°C se resta al periodo con disponibilidad de agua, como se ilustra a continuación: Periodo con agua disponible = 150 días; periodo con temperaturas menores a 6.5°C = 30 días; periodo de crecimiento = $150 \text{ días} - 30 \text{ días} = 120 \text{ días}$.

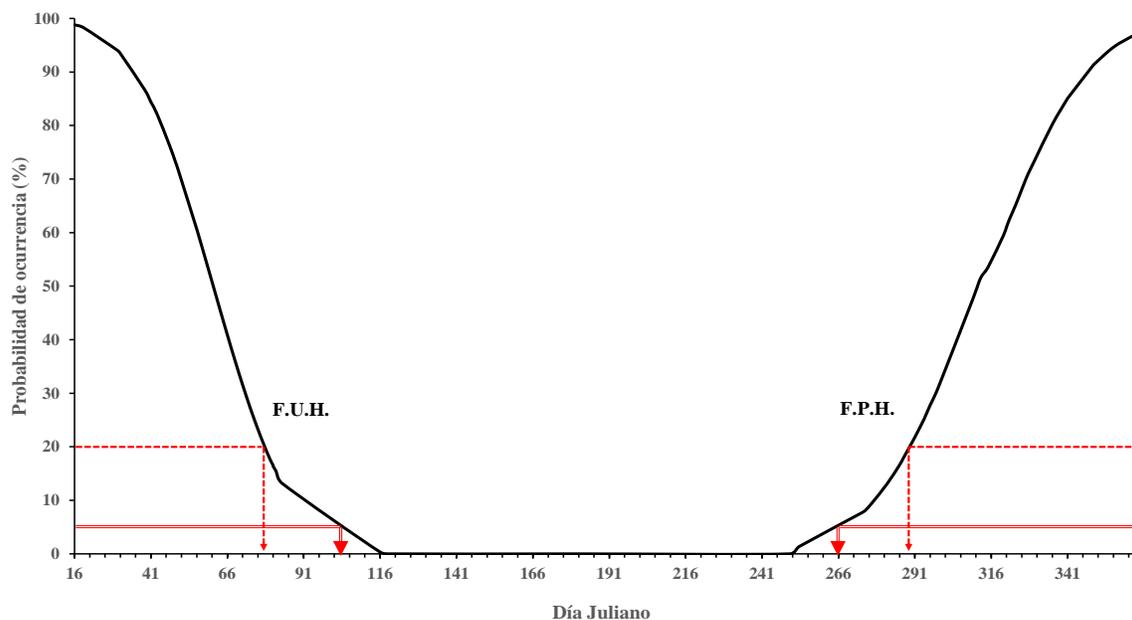


Figura 2. Representación esquemática del periodo libre de heladas (Elaboración propia, 2022).

2.3. Importancia agrícola de la determinación de la estación de crecimiento

La agricultura es una actividad relacionada estrechamente con el clima. Si bien no es el único factor del medio físico cuya influencia se deja sentir en la actividad agrícola, si es cierto que es el que está sometido a variaciones más bruscas en el tiempo y por lo tanto sus efectos son más visibles a corto plazo. La cantidad de agua de lluvia, la humedad almacenada en el suelo, la ocurrencia de heladas o la presencia de granizo, constituyen algunos de los componentes del clima que año con año repercuten en la producción de cosechas (Hernández, 1993; Medina *et al.*, 2008), convirtiéndola en una de las actividades económicas más expuesta a los riesgos climatológicos debido a las características intrínsecas del sistema productivo.

Una estación meteorológica es una herramienta que nos ayuda al registro de las condiciones del tiempo atmosférico de una región, los datos obtenidos a través de estas estaciones, pueden ser procesados, almacenados y analizados de manera oportuna (Medina *et al.*, 2008), como por ejemplo, en la elaboración de estaciones de crecimiento que como ya se había mencionado, se define como la época del año con las mejores condiciones meteorológicas para el crecimiento y desarrollo de un determinado cultivo.

Sivakumar (1988) citado por Arteaga *et al.* (2006), puntualizó que la fecha de inicio de lluvias es un dato muy importante para la planeación de las actividades agrícolas, particularmente la siembra, ya que varios trabajos reportan que el establecimiento temprano de los cultivos resulta en altos rendimientos.

Se han desarrollado diferentes trabajos con el fin de conocer la duración, fecha de inicio y fin de la estación de crecimiento en una región determinada. La expansión de la agricultura, el desarrollo industrial, el aumento apresurado de la población, el cambio climático y la pérdida de recursos naturales son los acontecimientos que han provocado el aumento de la demanda de la determinación de la estación de crecimiento (Ruíz *et al.*, 2012).

Se estima que el 85% de la superficie sembrada en México es de temporal (Arteaga *et al.*, 2006), esto relaciona la agricultura del país directamente con las estaciones del año y los periodos vegetativos de los cultivos.

La información del estado de tiempo es parte fundamental para la toma de decisiones en la agricultura moderna que requiere de información meteorológica actualizada para orientar los procesos de producción (Medina *et al.*, 2008). Es por eso, que se vuelve de suma importancia la planeación de estaciones de crecimiento, aprovechando las condiciones climáticas favorables para la obtención de máximas cosechas (Medina *et al.*, 2008; Martínez, 2014), las cuales dan como beneficio:

- ✓ Definir mejor la época con menor riesgo para la siembra.
- ✓ Selección del cultivo y variedad de este.
- ✓ Determinar la duración de temporada de lluvias permitiendo concluir el ciclo satisfactoriamente.
- ✓ Librar riegos climáticos como sequías, heladas, olas de calor.

Por lo tanto, debido a la gran dependencia que tiene la agricultura de secano de las condiciones atmosféricas, se resalta la importancia que en las zonas de temporal se determine la estación de crecimiento a partir de variables agronómicas, ya sean térmicas o hídricas ya que sus componentes son importantes para diferenciar la toma de decisiones.

2.4. Localización geográfica del área de estudio

El estudio se realizó en la Facultad de Estudios Cuautitlán, UNAM (FES-C), en el centro del valle donde se ubican los municipios de Cuautitlán México y Cuautitlán Izcalli, Estado de México, perteneciendo políticamente al segundo municipio.

El municipio de Cuautitlán Izcalli se localiza en la parte noroeste de la cuenca de México. Tiene una extensión territorial de 109.9 km² que representa el 0.5% de la superficie del Estado de México, con una altitud de 2,256 msnm, el municipio de Cuautitlán Izcalli, se encuentra ubicado dentro del eje Neovolcánico, con las elevaciones al Suroeste y Oeste del municipio, que forman parte de las estribaciones de las sierras de Monte Alto y Monte Bajo, y colinda al Norte con los municipios de Tepetzotlán y Cuautitlán México, al Este con Cuautitlán México y Tultitlán, al Sur con Tlalnepantla de Baz y Atizapán de Zaragoza, al Oeste con Villa Nicolás Romero y Tepetzotlán (Figura 3).

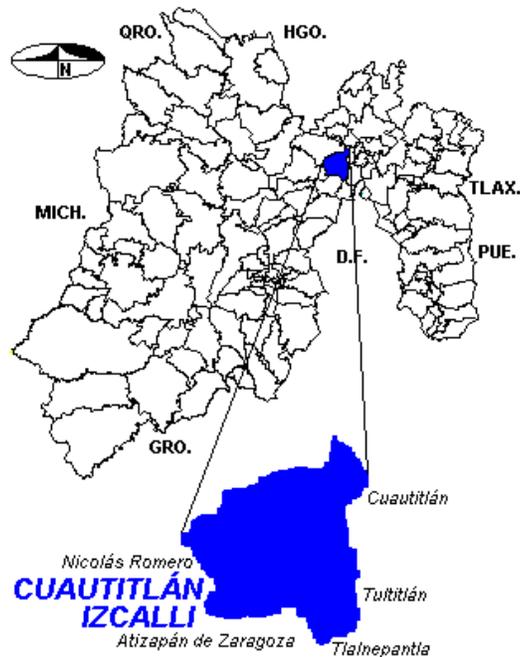


Figura 3. Localización geográfica del municipio de Cuautitlán Izcalli. México.

2.5. Descripción edafoclimática del área de estudio

La información climática fue recopilada de la estación meteorológica Almaraz (Figura 4), que se localiza en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, en la Longitud Oeste de $99^{\circ}11'42''$ y en la Latitud Norte de $19^{\circ}41'35''$; a una altura de 2,256 msnm.

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificado por García (1973) y de la información climática descrita por Rodríguez (2014), la clasificación del clima de la zona es $C(w_0) b(i')$, esto es, un clima templado subhúmedo con lluvias de verano, el más seco de los subhúmedos, con verano fresco, porcentaje de lluvia invernal de 5.14%, poca oscilación de temperatura, el mes más caliente es junio y sin sequía intraestival.



Figura 4. Vista de la estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.

Los suelos del área de estudio son vertisoles, de textura arcillosa, con un porcentaje de materia orgánica mayor del 4.32%; el pH es de 6.5; la conductividad eléctrica de 0.578 dS m^{-1} ; y la fertilidad de alta a muy alta (Granados y Vizcarra, 2018).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Metodología

Los datos utilizados fueron capturados durante el periodo de julio de 1988 a diciembre del 2021 en la estación meteorológica Almaraz, y se consideraron los datos promedio mensual de temperatura media, precipitación promedio mensual y se calculó la evapotranspiración por el método del Tanque de Evaporación.

Para el caso de los datos fenológicos del cultivo de frijol se consideraron los reportados por Hernández (2019) y del peral los consignados por De Paz (2020) en días julianos (Anexo 1).

3.1.1. Variables evaluadas

Se determinó lo siguiente:

- a) Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad: se determinó por el método de la FAO (cada cinco años).
- b) Estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura: con base a la probabilidad del periodo de bajo riesgo de helada obtenida mediante la distribución normal. (Arroyo, 2022).

El procedimiento de cada método se explicó en el apartado anterior.

3.2. Materiales

- Datos climáticos normales: de precipitación, evaporación, temperatura.
- Datos de fechas de última y primera helada.
- Datos fenológicos de los cultivos de frijol y peral, obtenidos de 2018 y del 2014 al 2019, respectivamente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad

La estación de crecimiento por disponibilidad de humedad del área de estudio se determinó con los datos promedio mensual de precipitación (pp), evapotranspiración (ETP) y la mitad de la ETP del periodo 1988 al 2021 (Figura 5). Esta inicia a finales del mes de mayo, donde hay condiciones para iniciar las labores de siembra aprovechando la humedad disponible ($pp > 0.5 \text{ ETP}$) que hay en el perfil del suelo que permite iniciar la etapa de germinación. Para la primera quincena del mes de junio inicia el periodo húmedo y termina a finales del mes de septiembre; en este periodo ocurre el crecimiento y desarrollo de los cultivos aprovechando la temporada de lluvias que se presenta el área de estudio y alcanzar la etapa de madurez de ellos. El final de la estación de crecimiento está señalado para el fin de mes de octubre.

En forma general, la estación de crecimiento es del tipo normal puesto que se presenta un periodo húmedo en la mitad caliente del año, que abarca del mes de junio a septiembre; no se observa una deficiencia hídrica en este periodo, por lo cual se considera que la cantidad total de lluvias presentes es suficiente para cubrir las demandas de los cultivos desarrollados en esa zona como maíz, frijol, calabacita, girasol, entre otros.

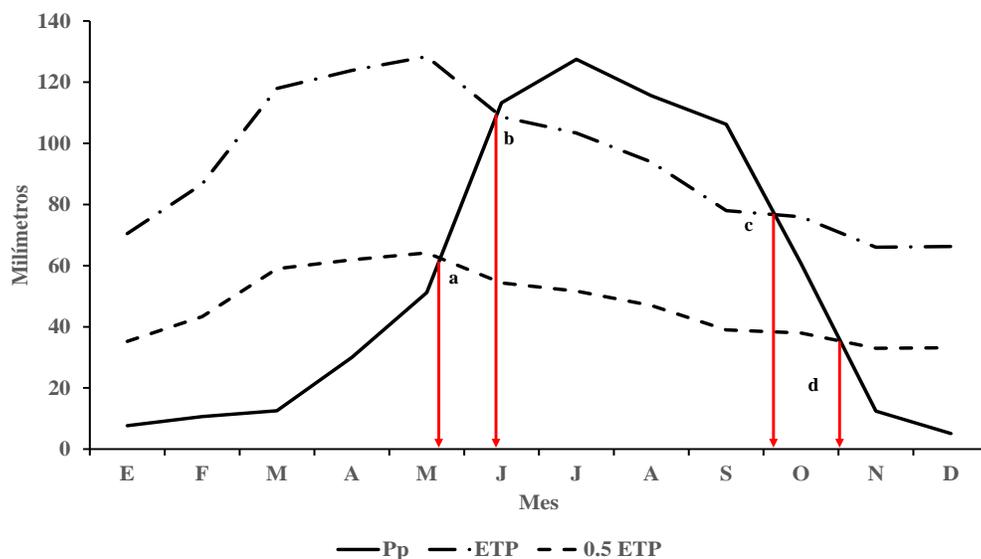


Figura 5. Estación de crecimiento normal por disponibilidad de humedad, periodo 1988-2021. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.

Donde: a= inicio de estación de crecimiento. b= inicio del periodo húmedo. c= fin del periodo húmedo. d= fin de estación de crecimiento.

Sin embargo, se ha observado que la ocurrencia de lluvias varía de un año a otro, lo cual ha puesto en riesgo la producción de cultivos de temporal. Existe la presencia de sequía intraestival entre el 15 de julio y el 15 de agosto, y han existido años en que la estación de crecimiento por disponibilidad de humedad no se comporta como la estación normal que se presentó en la Figura 5.

Por este motivo, se elaboraron las gráficas de forma independiente para periodos de cinco años durante el lapso considerado en este estudio, y que se presentan en las Figuras 6 y 7.

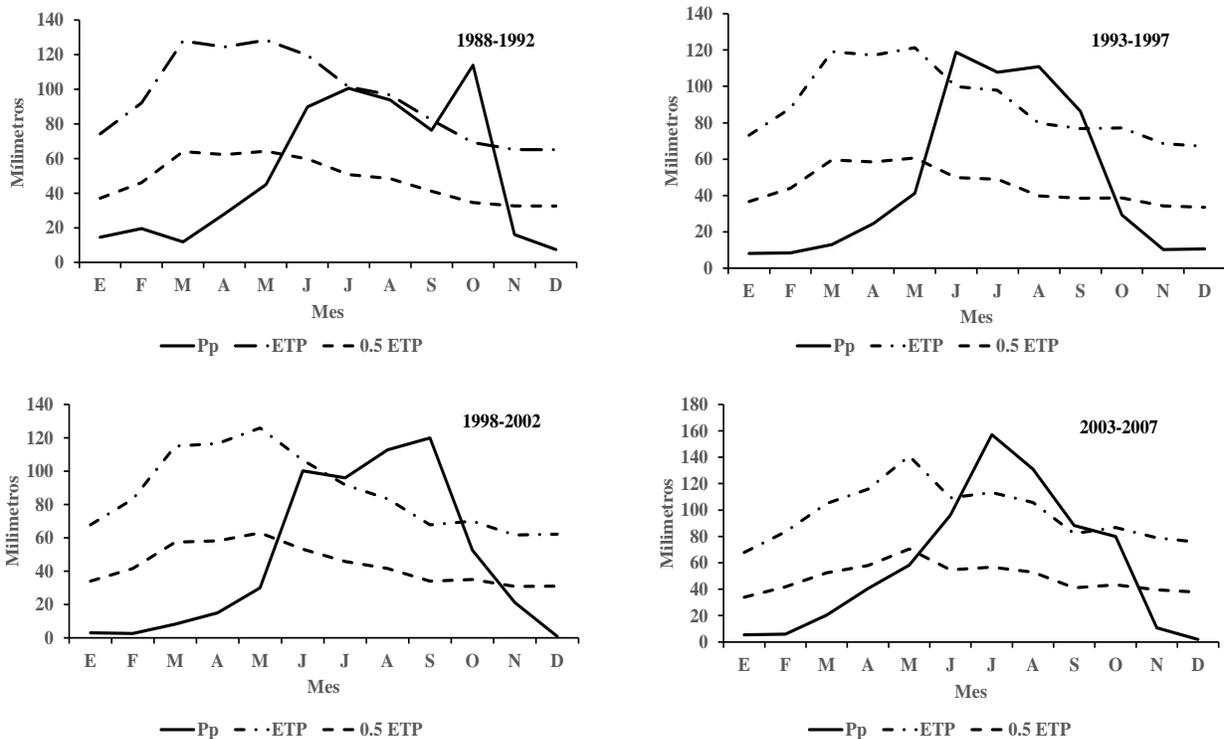


Figura 6. Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad para los periodos 1988-1992, 1993-1997, 1998-2002, 2003-2007. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.

Los resultados muestran que durante el periodo 1988-1992 la estación de crecimiento presentó un periodo húmedo desplazado al otoño, lo que implicó problemas de abasto de agua para los cultivos durante las primeras etapas de crecimiento, comparado con los otros tres periodos que muestran

una tendencia semejante a la estación normal obtenida en este estudio (Figura 6). En general la duración promedio de la estación fue de tres meses con un acumulado de precipitación promedio de 100 mm que favorece el desarrollo fenológico de los cultivos.

En la Figura 7 se presenta la estación de crecimiento de los tres periodos restantes. Los inicios de las estaciones están entre el mes de mayo y el inicio del periodo húmedo en el mes junio, observándose en estos tres últimos un aumento del número de días en el periodo húmedo. También aumentó el promedio de precipitación acumulada en el periodo húmedo con más de 100 mm en los tres periodos. El final del periodo húmedo ocurrió aproximadamente en el mes de octubre coincidiendo con el final de la estación a finales del mismo mes.

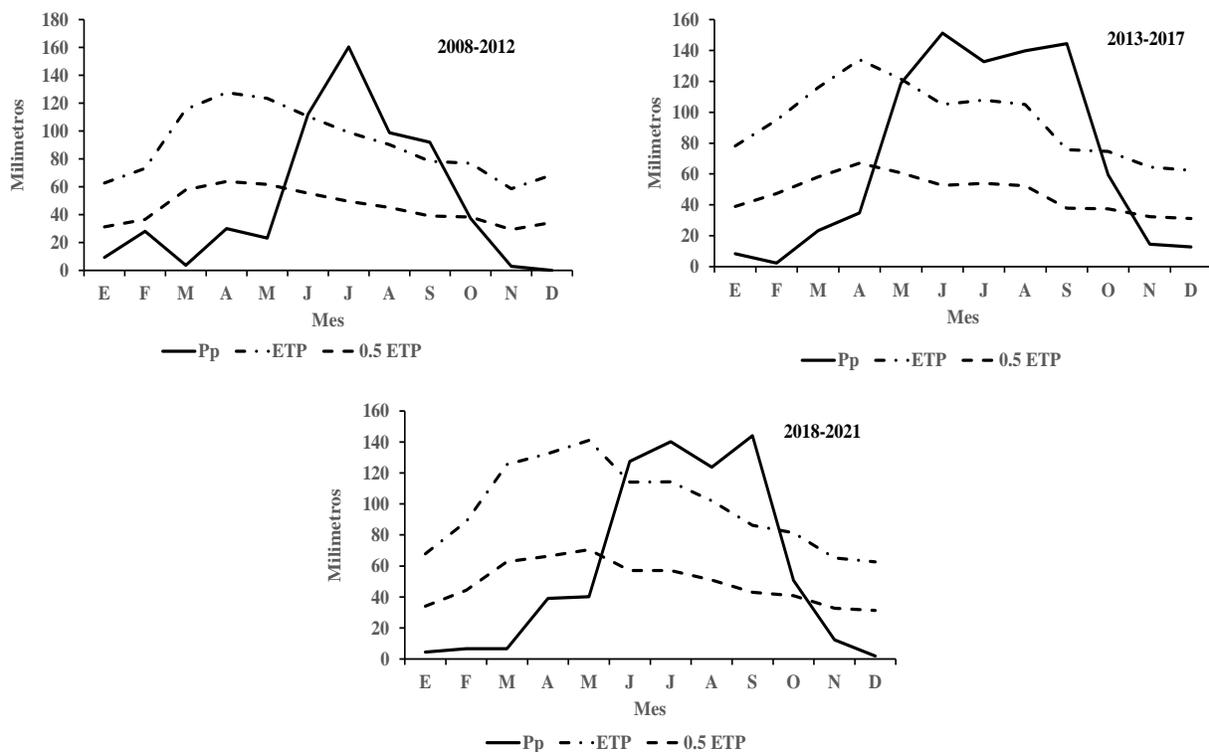


Figura 7. Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad para los periodos 2008-2012, 2013-2017, 2018-2021. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.

En estos últimos tres periodos se observa la presencia de sequía intraestival, aunque el análisis presente no permite observar la severidad que pudo tener, aunque se tiene conocimiento que han

existido años en donde esta sequía ha tenido efectos negativos en la agricultura, no sólo en la zona de influencia de la estación sino también a nivel nacional, como fue la sequía presente durante los años 2010 y 2011 (Caballero, 2012), y durante el año 2020 donde la falta de lluvias causó mermas en los rendimientos de los cultivos (Figura 8). Cabe señalar que se presentan los datos diarios de mayo a octubre del 2020, que permite visualizar que además de considerar el volumen total mensual de precipitación, la distribución diaria se vuelve relevante para algunos años, puesto que en ocasiones la precipitación no está presente en más de 15 días lo cual afecta el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

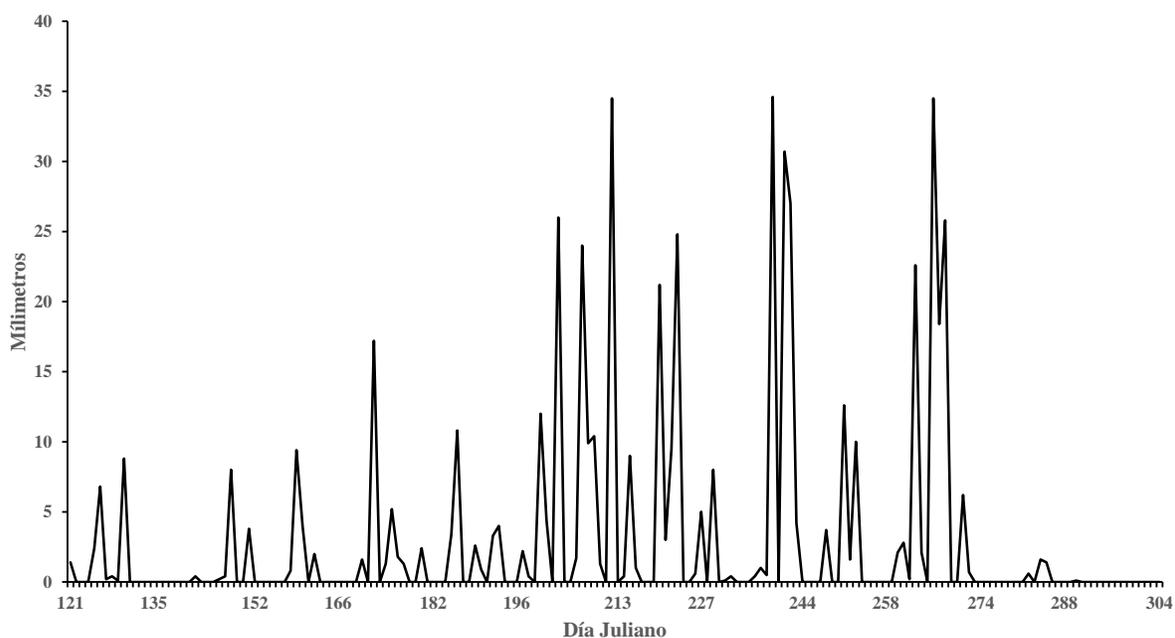


Figura 8. Precipitación diaria del mes de mayo a octubre del 2020. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.

4.2. Estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura

La estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura del área de estudio se determinó con las fechas de la última y primera helada del periodo 1988-2021 (Figura 9); se consideró a un 5% y un 20% de probabilidad de ocurrencia de helada, el primer caso es para frutales perennes y el segundo caso es para cultivos anuales. Esto obedece al nivel de inversión que cada cultivo presenta o bien, a la posibilidad de tener uno nuevo, por ejemplo, si se presenta una helada tardía durante la

emergencia de un cultivo anual, habrá tiempo de volver a sembrar, pero en un frutal perenne, la presencia de helada durante la floración causaría pérdidas casi totales sin la posibilidad de que hubiera otra brotación, por lo tanto, la pérdida económica es mayor.

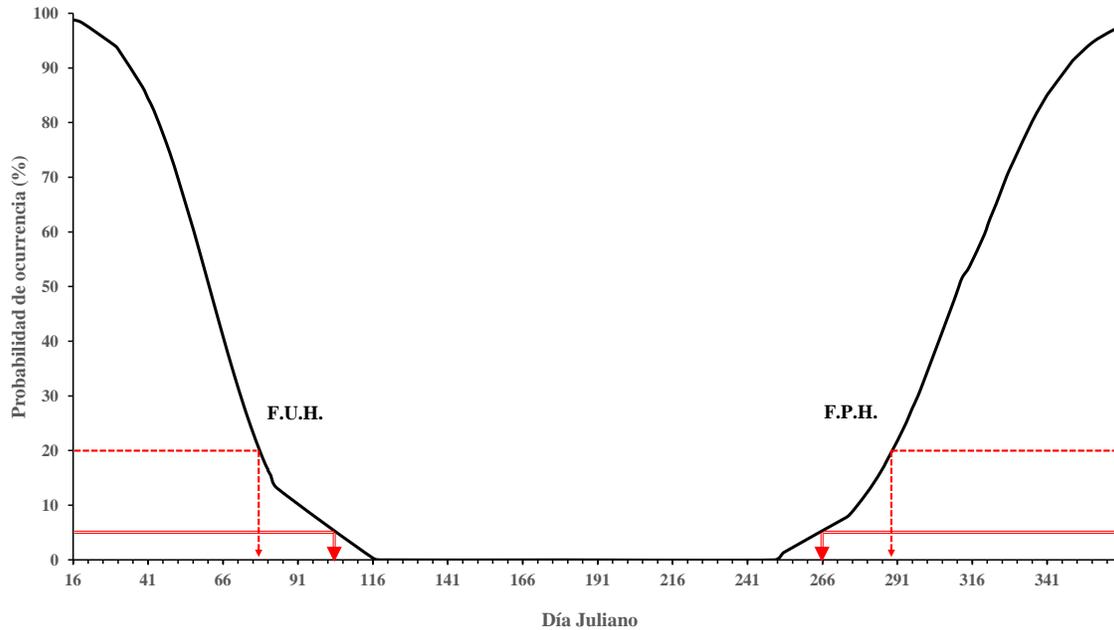


Figura 9. Estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura para el periodo 1988-2021. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.

Con un 5% de probabilidad el periodo de bajo riesgo de helada tiene una duración de 155 días, esto es, la fecha de última helada se establece para el día 105 juliano (15 de abril) y la fecha de primera helada para el día 260 juliano (17 de septiembre).

El riesgo de ocurrencia de helada es importante considerar, porque en el caso de la última helada los cultivos inician su crecimiento y son momentos fenológicos muy sensibles a la baja de temperatura. En el caso de la primera helada se presenta cuando los cultivos entran a la etapa de madurez y la disminución de temperatura puede ocasionar mermas en los rendimientos por un mal llenado de granos o daños directamente en los frutos, lo que ocasionaría pérdidas económicas para los productores.

Para el caso del periodo de bajo riesgo de helada con el 20% de probabilidad se obtuvo una duración de 212 días, esto es, la fecha de última helada se establece para el día 78 juliano (19 de marzo) y la fecha de primera helada es el día 290 juliano (17 de octubre). Esta duración permite la producción

de cultivos de ciclo corto e intermedio, mientras que los de ciclo largo pueden presentar daños en el momento de llenado de grano, por ejemplo.

A continuación, se presentan los datos de observaciones realizadas en el área fenológica de la estación meteorológica Almaraz, de la FES Cuautitlán, que permita ejemplificar el uso práctico de los datos obtenidos de la estación de crecimiento por disponibilidad de humedad (Figura 5) y por disponibilidad de temperatura (Figura 9).

4.3. Estación de crecimiento para un cultivo anual de ciclo primavera-verano

Se consideraron los datos del cultivo de frijol, especie que se ha sembrado el 10 de junio del 2018 en el área de estudio y en la Figura 10 se presentan las etapas fenológicas de dicho cultivo, reportados por Hernández (2019).

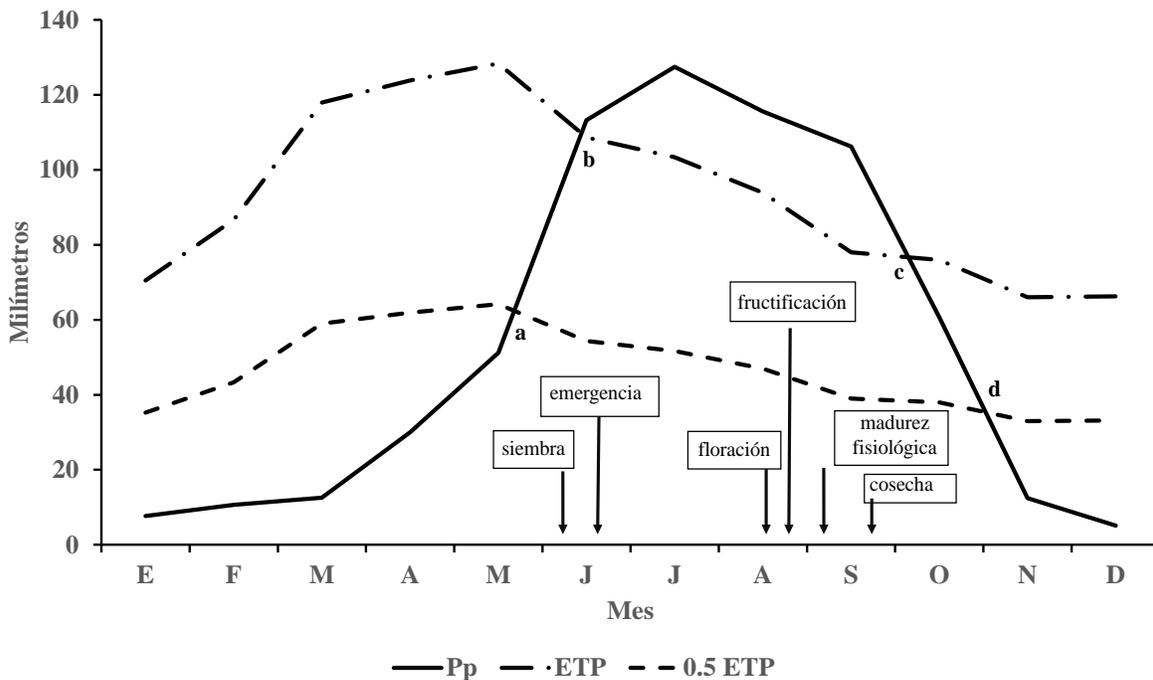


Figura 10. Fenología del cultivo de frijol. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.

Se tomó como inicio de siembra el día 159 juliano (8 de junio). Para esta fecha la precipitación ya era mayor a 0.5 ETP, es decir, ya se cumplían las necesidades de agua para que se llevara a cabo

la germinación de la semilla. Las fases fenológicas emergencia, floración, fructificación y madurez fisiológica se sitúan dentro del periodo húmedo de la estación de crecimiento por disponibilidad de humedad; tomando en cuenta el no desabasto de precipitación dentro de este periodo, se puede deducir que las necesidades hídricas que exigen estas fases fenológicas son satisfechas. Sin embargo, hay que tomar en cuenta los periodos de sequía intraestival, que pueden presentarse en la mitad caliente del año (julio-agosto) y que de manera local se presentan con diversos niveles de impacto en la disponibilidad de humedad para los cultivos, esto puede afectar al cultivo y su rendimiento final, sobre todo si coinciden con las fases de floración y el llenado de las vainas.

La cosecha se inicia en el día 268 juliano (25 de septiembre) donde el periodo húmedo está prácticamente terminando. Se debe de tomar cuidado si se llegara a presentar alguna precipitación en esta fase, pues llegaría a afectar la calidad de la semilla, sobre todo por la presencia de enfermedades en la vaina o la proliferación de insectos como el picudo del ejotero o el gorgojo, plagas muy recurrentes en el área de estudio.

Para evitar riesgos de presencia de precipitaciones en la fase de cosecha, se podría considerar un cambio de fecha de siembra. Por ejemplo, si se retrasa del día 159 juliano (8 de junio) al día 165 juliano (14 de junio), es decir cinco días después, entonces la fecha de cosecha se recorrería al día 274 juliano (1 de octubre), por lo tanto, esta fase ya se encontraría fuera del periodo húmedo y así se evitarían riesgos de que la vaina pueda mojarse y obtener posibles mermas (Figura 11).

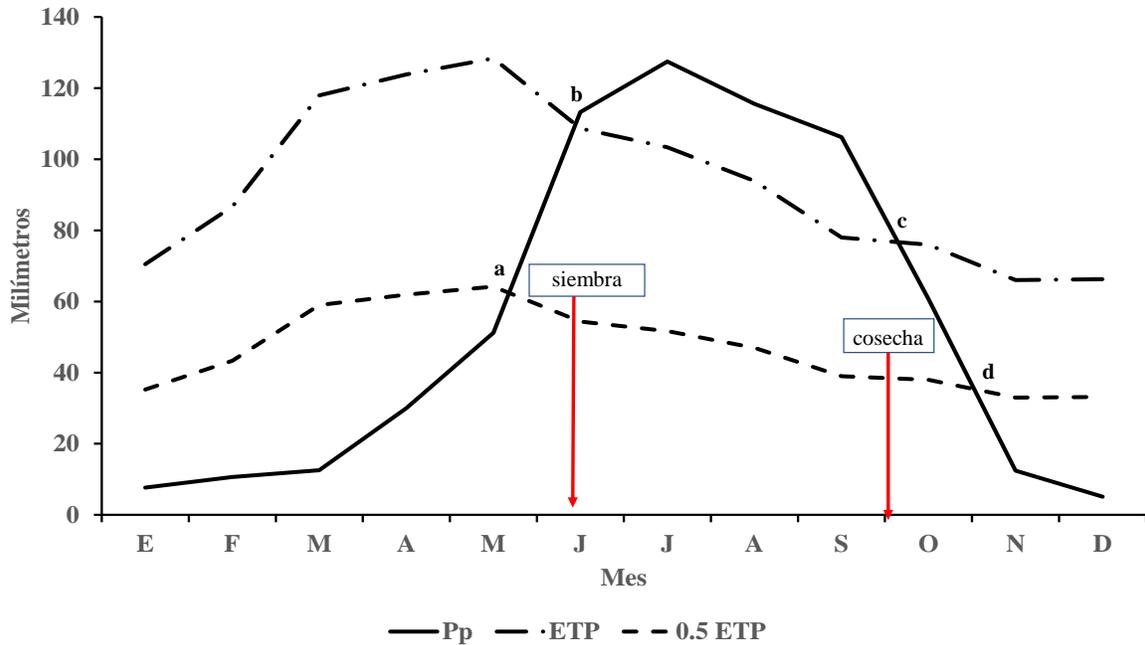


Figura 11. Propuesta para el desarrollo fenológico del cultivo de frijol. FES-C, UNAM.

El periodo vegetativo de este cultivo se presenta del día 171 juliano (20 de junio) al día 268 juliano (25 de septiembre) es decir se tendrían 97 días del ciclo del cultivo. Si se toma de referencia el periodo de bajo riesgo de helada con 20% de probabilidad se deduce entonces que esta duración permite esquivar la presencia de la primera helada otoñal.

4.4. Estación de crecimiento para un cultivo perenne

Para el caso del cultivo perenne se consideraron las observaciones fenológicas realizadas en el peral, árbol frutal de zona templada que se encuentra en las inmediaciones de la estación meteorológica Almaraz, reportados por De Paz (2020), y en la Tabla 1 se presentan las etapas fenológicas de dicho cultivo.

Tabla 1. Estados fenológicos del peral y su promedio de aparición obtenido de 2014-2019. Cuautitlán Izcalli, Méx. (De Paz, 2020).

Estado fenológico	Promedio (día juliano)
A: Botón de invierno	41
B: Empiezan a hincharse	50
C: Botón hinchado	57
C₃: Botón hinchado	63
D: Aparecen yemas florales	68
D₃: Aparecen yemas florales	71
E: Sépalos que dejan ver los pétalos	81
E₂: Sépalos que dejan ver los pétalos	87
F: Primera flor	92
F₂: Plena Floración	98
G: Caída de primeros pétalos	104
H: Caída de últimos pétalos	112
I: Frutos cuajados	121
J: Crecimiento de frutos	132
K: Cosecha	268

De acuerdo con la Figura 12, se observa que el periodo reproductivo del peral se encuentra fuera de la estación de crecimiento por disponibilidad de humedad, por lo cual es necesario la aplicación de riegos para satisfacer las necesidades hídricas al inicio de la brotación y los primeros estados fenológicos de este frutal.

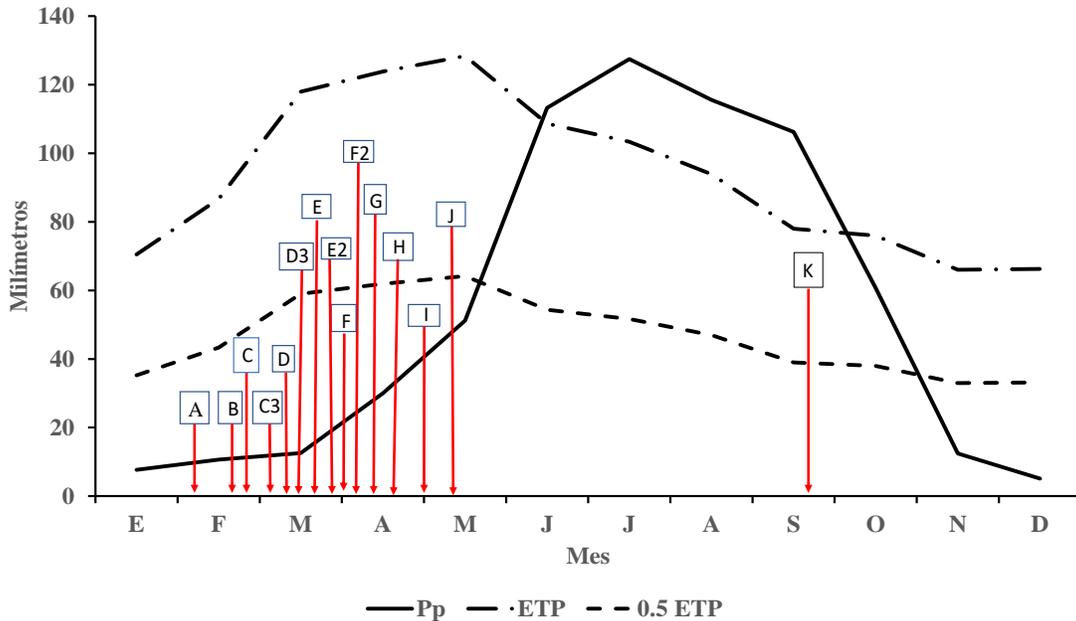


Figura 12. Fenología del cultivo del peral. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.

Donde: A= botón de invierno. B= botón empiezan a hincharse. C= botón hinchado. C3= botón hinchado. D= aparecen yemas florales. D3= aparecen yemas florales. E= sépalos que dejan ver pétalos. E2= sépalos que dejan ver pétalos. F= primer flor. F2= plena floración. G= caída de primeros pétalos. H= caída de últimos pétalos. I= cuajado de frutos. J= crecimiento de frutos. K= cosecha.

De acuerdo con la Figura 13, los primeros estados fenológicos del peral están expuestos a sufrir daños por la presencia de las últimas heladas, hay que tener en cuenta que esta adversidad climática puede afectar de manera considerable estos momentos fenológicos.

Para el estado fenológico A (botón de invierno) la probabilidad de que se presente una helada tardía es del 80% porque por lo que deberá estarse muy atento a la temperatura para verificar que no se vaya a presentar una helada.

En la Figura 13 se observa que a medida que avanzan los días, disminuye la probabilidad de presencia de heladas tardías, sin embargo, es hasta la fase fenológica F2 (plena floración) donde todavía se corre un riesgo significativo de que se presente una helada tardía y exponer al árbol de sufrir daños por frío.

Las fases fenológicas G (caída de los primeros pétalos), H (caída de los últimos pétalos), I (frutos cuajados) y J (crecimiento de frutos), se han desarrollado dentro del periodo de bajo riesgo de

helada con un 5% de probabilidad. Sin embargo, a pesar de estar dentro de una fase donde existe un riesgo bajo de presenciar una helada tardía, el riesgo existe, por ejemplo, si llegara a ocurrir una helada en la etapa fenológica J (crecimiento del fruto) el daño estaría muy marcado en la cosecha y esto mermaría la producción.

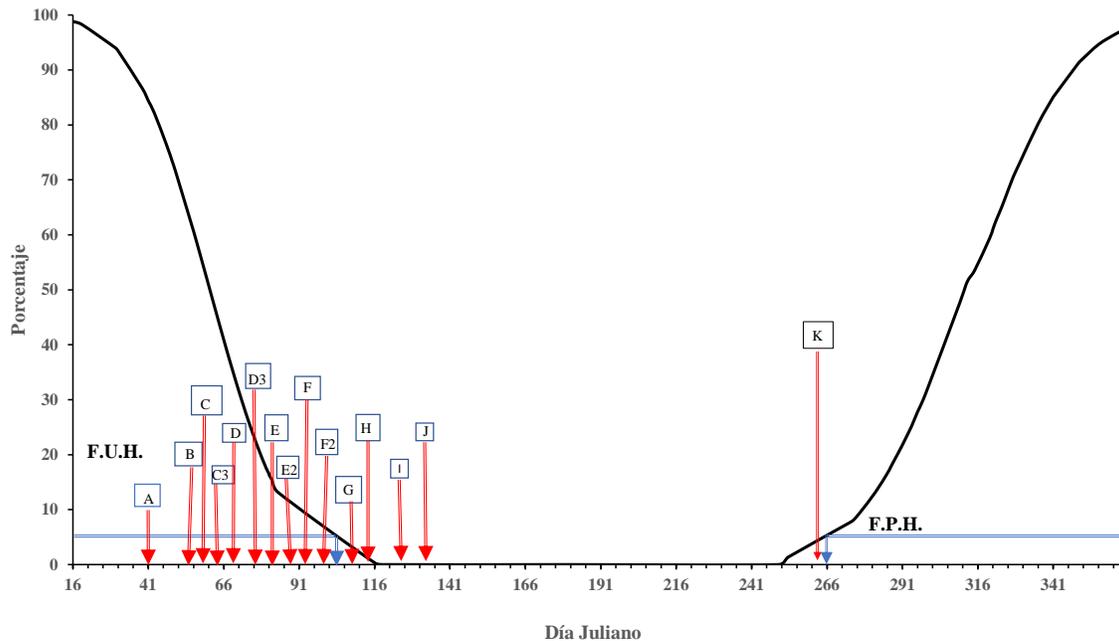


Figura 13. Desarrollo fenológico del peral. Estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM.

Donde: A= botón de invierno. B= botón empiezan a hincharse. C= botón hinchado. C3= botón hinchado. D= aparecen yemas florales. D3= aparecen yemas florales. E= sépalos que dejan ver pétalos. E2= sépalos que dejan ver pétalos. F= primer flor. F2= plena floración. G= caída de primeros pétalos. H= caída de últimos pétalos. I= cuajado de frutos. J= crecimiento de frutos. K= cosecha.

Se debe tener en cuenta que la planta cuenta con mecanismos de defensa que le ayudan a la resistencia de bajas temperaturas, sin embargo, esto depende de numerosos factores tales como la fase fenológica en la que se encuentre, la duración de la helada y la velocidad del descenso térmico.

Para poder llevar a cabo una defensa eficaz y económica contra las heladas, es preciso conocer hasta qué punto la planta puede en sus diferentes fases fenológicas, resistir las bajas temperaturas, y con ello implementar acciones como la elección del sitio de cultivo, variedades más resistentes a heladas, implementación de prácticas de manejo como el uso de riego por aspersión o uso de calefactores; que permitirán combatir estos fenómenos meteorológicos que pueden dañar significativamente al cultivo.

V. CONCLUSIONES

1. Los objetivos del proyecto se cumplieron, lo cual permite dejar evidencia del comportamiento de los dos tipos de estación que se han calculado en este trabajo, con los datos obtenidos en la estación meteorológica Almaraz de la FES-Cuautitlán.
2. Por disponibilidad de humedad, la estación de crecimiento es de tipo normal y comprende del mes de mayo al mes de octubre, lo cual permite el desarrollo de cultivos de temporal, como son frijol, maíz, girasol, haba, calabacita, entre otros; sin embargo, hay que tener presente los periodos de sequía intraestival que ocurre en la mitad caliente del año, situación que pone en riesgo el buen desarrollo de los cultivos y con ello pérdidas económicas en los sistemas de producción agrícola de la zona de influencia de la estación meteorológica.
3. Por disponibilidad de temperatura, la estación tiene una duración de 155 y 212 días, al 5 y 20% de probabilidad de ocurrencia, respectivamente; la presencia de heladas tardías durante la brotación y estados fenológicos iniciales del cultivo de peral pueden poner en riesgo el desarrollo de este frutal, por lo que es muy importante establecer frutales con el requerimiento de frío acorde a las condiciones meteorológicas de la zona de estudio y asimismo, planificar las actividades de poda, riego y fertilización, las cuales pueden promover la brotación de yemas y ponerlas en riesgo de sufrir daños por alguna helada tardía.
4. Para los cultivos de temporal, por ejemplo, que se han trabajado en la parcela fenológica de la estación meteorológica, se encuentran el frijol, la calabacita, el maíz, girasol, haba, entre otros, la probabilidad de que se presente una helada en su ciclo de vida es baja, sin embargo, hay que realizar la planificación de los cultivos con base a la duración del periodo de bajo riesgo de helada obtenido en este trabajo, asimismo, la duración de la estación de crecimiento por disponibilidad de humedad.
5. Los métodos utilizados en este trabajo permitieron definir la duración de la estación de crecimiento, asimismo, el contar con suficientes datos climáticos ayudó a obtener resultados más precisos y confiables.
6. En general se puede concluir que las estaciones de crecimiento por disponibilidad de temperatura y humedad de la zona de estudio obtenidas en este estudio, permiten el desarrollo de diversos cultivos pero se hace énfasis en la necesidad de planear de la mejor manera las actividades de campo, así como, seleccionar el cultivar que se adapte mejor a estas condiciones y evitar en la

medida de lo posible daños que repercutan en la economía del productor, puesto que, el cambio climático que se vive actualmente, genera que las condiciones meteorológicas en general varíen de forma y con ello el comportamiento de los ciclos agrícolas.

7. Se recomienda continuar evaluando el comportamiento fenológico de los cultivos en función de la duración de la estación de crecimiento obtenida en este trabajo, y analizar los cambios que pueden originarse por efecto del cambio climático.

VI. LITERATURA CITADA

1. Arroyo, L.I.R. 2022. Estudio de la probabilidad de ocurrencia de helada en Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Tesis licenciatura. FES-Cuautitlán, UNAM. México. 51 pp.
2. Arteaga, R.R., Vázquez, P.M.A., Coras, M.P.M., Ángeles, M.V. 2006. Componentes de la estación de crecimiento, variación temporal y espacial en Chapingo, México. Ingeniería hidráulica en México, XXI(2): 57-68.
3. Caballero, J. 2012. México, en el umbral de una sequía histórica. En: <https://www.eleconomista.com.mx/politica/Mexico-en-el-umbral-de-una-sequia-historica-20120122-0074.html>. Fecha de consulta el 15 de mayo de 2022.
4. Casierra, P.F., Poveda, J. 2005. La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la cantidad de fruto en fresa (*Fragaria sp. cv. Camarosa*). Agronomía Colombiana, 23(2): 283-289.
5. Cabrera, G. 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. Pastos y Forrajes, 35(4): 346-363.
6. De Paz, Q.V. 2020. Acumulación de frío invernal en la zona de Cuautitlán Izcalli, México. Tesis licenciatura. FES-Cuautitlán, UNAM. México. 51 pp.
7. Endicott, S., Brueland, B., Keith, R., Schon, R., Bremer, C., Farnham, D., De Bruin, J., Clausen, C., Strachan, S., Carter, P. 2015. Maíz. Crecimiento y desarrollo. En: https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf. Fecha de consulta el 25 de febrero 2022.
8. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1997. Zonificación agro-ecológica. Guía general. Boletín de suelos de la FAO 73. Servicio de Recursos, Manejo y Conservación de Suelos. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. En: <http://www.fao.org/docrep/w2962s/w2962s00.htm>. Fecha de consulta el 25 de enero de 2022.
9. FAO. 2001. Trigo regado. Manejo de cultivo. En: <https://www.fao.org/3/x8234s/x8234s00.htm>. Fecha de consulta el 11 de febrero de 2022.
10. FAO. 2022. Propiedades químicas. Portal de suelos de la FAO. En: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>. Fecha de consulta el 23 de febrero de 2022.
11. Fischer, G., Pérez, C.P. 2012. Efecto de la radiación solar en la calidad de los productos hortícolas. Memorias Congreso Internacional de Hortalizas en el Trópico: La olericultura

colombiana. Nuevos Retos para Enfrentar los Tratados de Libre Comercio. En: <https://hopelchen.tecnm.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r116893.PDF>. Fecha de consulta el 28 de febrero de 2022.

12. Granados, M.A.K., Vizcarra, H.I.F. 2018. Respuesta del cultivo de girasol bajo diferentes fuentes nutrimentales y fechas de siembra, en el Estado de México. Tesis licenciatura. FES-Cuautitlán, UNAM. México. 119 pp.

13. Hernández, N.M. 1993. La agroclimatología, instrumento de planificación agrícola. Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio. Colegio Universitario de Huesca. *Geographicalia*. 30: 213-228.

14. Hernández, S.E. 2019. Manejo orgánico de la fertilización del cultivo de frijol. Tesis licenciatura. FES-Cuautitlán, UNAM. México. 73 pp.

15. Jarma, O.A., Degiovani, B.V., Montoya, R.A. 2010. Índices fisiotécnicos, fases de crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. Producción eco eficiente del arroz en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Tomo 1: 60-82.

16. Jarma, O.A., Cardona, A.C., Araméndiz, T.H. 2012. Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: Una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 15(1): 63-76.

17. Kasten, D.R., Douglass, F.J., Kim, M.W. 2012. Fases de cultivo: Establecimiento y crecimiento rápido. Producción de plantas en viveros forestales. Colección nexos. En: https://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_2012_dumroese_k004.pdf. Fecha de consulta el 25 de febrero 2022.

18. Marín, J. 1977. Factores que afectan al crecimiento de las plantas. Repositorio Institucional Agrosavia. Corporación colombiana de investigación agropecuaria. En: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/22033>. Fecha de consulta el 23 de febrero 2022.

19. Martínez, B.O. 2014. Estación de crecimiento disponible para los cultivos en la región sureste del estado de Coahuila.

20. Martínez, B.O., Ruíz, C.M. 2005. Riesgo de heladas para la agricultura en la región sureste del estado de Coahuila. INIFAP-CIRNE. Campo experimental Saltillo. Publicación Especial Núm. 5. Coahuila, México. 66 pp.

21. Medina, G.G., Grageda, G.J., Ruíz, C.J., Báez, G.A. 2008. Uso de estaciones meteorológicas en la agricultura. Centro de investigaciones regional norte centro. Campo experimental Zacatecas.

22. Morales, R.A., Díaz, L.E. 2018. Influencia de la temperatura, precipitación y radiación solar en el rendimiento de maíz en el valle de Toluca, México. *Agrociencia*, 54(3): 377-385.

23. Navarro, H.M.L. 1993. La agroclimatología, instrumento de la clasificación agrícola. *Geographicalia*, 30: 213-228.

24. Ortiz, S.C.A. 1987. Elementos de Agrometeorología Cuantitativa. Universidad Autónoma Chapingo, México. 327 pp.
25. Osuna, C.E., Figueroa, S.B., Oleschko, K., Flores, D.M., Martínez, M.M., González, C.F. 2006. Efecto de la estructura del suelo sobre el desarrollo radical del maíz con dos sistemas de labranza. *Agrociencia*, 40(1): 27-38.
26. Pájaro, H.D., Ortiz, S.C.A. 1992. Estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la República Mexicana. Memorias de la II Reunión Nacional de Agroclimatología. UACh. Chapingo, México. 145-163 pp.
27. Ruíz, C.J.A., Medina, G.G., Flores, L.H.E., Ramírez, D.J., De la Cruz, L.L., Villalpando, I.F.J., De la Mora, O.C., Durán, P.N., García, R.G.E., Ruíz, A.O. 2016. Impacto del cambio climático sobre la estación de crecimiento del estado de Jalisco, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13: 2627-2638.
28. Ruíz, A.O., Arteaga, R.R., Vázquez, P.A., Ontiveros, C.R., López, L.R. 2012. Inicio de la estación de crecimiento y periodos secos en Tabasco, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(2): 85-102.
29. Santibáñez, F.Q. 2001. El modelado del crecimiento, desarrollo y producción del maíz sobre las bases ecofisiológicas mediante el modelo simproc. *Revista Argentina de Agrometeorología*, 1(1): 7-16.
30. Suárez, V., Gicli, M. 2014. Apuntes sobre la zonificación agroecológica de los cultivos. Particularidades en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 35(4): 36-44.

ANEXOS

Anexo 1. Calendario juliano.

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29	****	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30	****	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31	****	90	****	151	****	212	243	****	304	****	365

INTSORMIL - UNIVERSIDAD DE NEBRASKA-LINCOLN