



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS  
CIENCIAS AGRARIAS

## Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Agrónomo

**Título: Zonificación edafoclimática de *Phaseolus vulgaris* L en la  
provincia de Cienfuegos**

Diplomante: Mariangel Medina Agüero

Tutores: MsC. Dianelly Gómez Díaz  
Dr.C. Yhosvanni Pérez Rodríguez

Consultante: Lic. Miguel Ángel Porres García

2023

“Año 65 de la Revolución”

## PENSAMIENTO

Solo la ciencia, la técnica y la productividad por hectárea podrán enfrentar el grandioso desafío que tiene por delante un planeta que se empobrece y cuya tierra agrícola y agua potable disminuyen año por año”

Fidel Castro Ruz

## DEDICATORIA

A mis amados padres, mi querida hermana, y esposo,

Este logro no sería posible sin la inquebrantable red de amor y apoyo que ustedes han tejido a mi alrededor. A cada uno de ustedes, les dedico este éxito como un testimonio de la fuerza que me han brindado a lo largo de los años.

A mamá y papá, cuyos valores y sacrificios han sido mi brújula en este viaje, les agradezco por ser mis modelos a seguir. Su amor incondicional ha sido la fuerza motriz detrás de cada paso que he dado.

A mi hermana, compañera de alegrías y confidente en momentos de desafíos, gracias por tu constante apoyo y complicidad. Juntas hemos enfrentado cada tormenta y celebrado cada rayo de sol.

Agradezco también al valioso colectivo de especialistas del Centro Meteorológico Provincial Cienfuegos, cuyo conocimiento y colaboración han enriquecido mi investigación. Su dedicación a la ciencia y su contribución al conocimiento han sido una inspiración constante.

Este logro es el resultado de la amalgama de amor, apoyo y conocimiento que cada uno de ustedes ha aportado a mi vida. Les dedico este logro con profundo agradecimiento y cariño.

Con amor y gratitud,

Mariangel

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios, fuente de sabiduría y guía, por iluminar mi camino y darme la fortaleza para completar este viaje académico.

A mi querida tutora M. Sc. Dianelly Gómez Díaz, agradezco su paciencia, sabiduría y dedicación. Su orientación y apoyo constante han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

A mi amada familia, quienes han sido mi pilar en todo momento. Su amor incondicional y constante aliento han hecho posible que alcance este logro. Cada sacrificio y palabra de aliento han sido el impulso que necesitaba. A los especialistas y colaboradores cuyos conocimientos y aportes enriquecieron esta investigación, les estoy profundamente agradecida. Sus valiosas contribuciones han sido clave para el éxito de este trabajo. Este logro no solo es mío, sino de todos aquellos que han sido parte de mi camino. A cada persona que ha influido positivamente en mi vida durante este proceso, mi más sincero agradecimiento.

## Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN .....	8
CAPITULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	13
1.1 El frijol común. Origen e importancia. ....	13
1.2 Influencia del clima en la agricultura .....	15
1.2.1 Eventos climáticos que afectan al cultivo del frijol en Cuba .....	16
1.3 Zonificación edafoclimática de los cultivos .....	17
1.3.1 Variables climáticas y edafológicas importantes en la zonificación edafoclimática del cultivo del frijol en Cuba.....	20
1.3.2 Herramientas y tecnologías aplicadas a la ZEC .....	22
1.4 Los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la ZEC .....	23
1.5 Desafíos y limitaciones en la ZEC .....	24
1.6 Aplicaciones prácticas de la ZEC: .....	26
1.7 Estudios sobre ZEC.....	27
CAPITULO 2. MATERIALES Y METODOS.....	32
2.1 Caracterización de la zona de estudio .....	32
2.1.1 Ubicación geográfica de la provincia de Cienfuegos.....	32
2.1.2 Suelos .....	32
2.3 Actividad agrícola .....	33
2.2 Base de datos.....	34
2.3 Procedimiento metodológico.....	37
CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSION.....	42
3.1 Caracterización edafoclimática de la provincia Cienfuegos en función del cultivo del frijol común <i>Phaseolus vulgaris</i> L. ....	42
3.2 Zonificación edafoclimática para el cultivo del frijol .....	55
CONCLUSIONES .....	64

## Figuras

<i>Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia</i> .....	32
<i>Figura 2. Rejilla empleada para la interpolación de la temperatura y estaciones meteorológicas utilizadas en la modelación espacial y validación.</i> .....	35
<b>Figura 3.</b> <i>Mapa de localización de las estaciones pluviométricas y meteorológicas utilizadas en el estudio espacial (Izquierda) y Rejilla empleada para la interpolación de la precipitación (derecha). Fuente de datos: INSMET, Centella et al., 2007</i> .....	36
<i>Figura 4. Mapa de localización de los pluviómetros seleccionados para el análisis decadal. Fuente: elaboración propia</i> .....	36
<i>Figura 5. Distribución espacial de la temperatura media para el periodo agrícola del cultivo del frijol en la provincia Cienfuegos. Período 1991-2020. Fuente: Elaboración propia</i> .....	46
<i>Figura 6. Distribución espacial de la temperatura mínima (izquierda) y temperatura máxima (derecha) para el periodo agrícola del cultivo del frijol en la provincia Cienfuegos. Período 1991-2020. Fuente: Elaboración propia</i> .....	47
<i>Figura 7. Distribución espacial de la precipitación acumulada para el periodo agrícola del cultivo del frijol en la provincia de Cienfuegos. Período 1991-2020. Fuente: Elaboración propia</i> .....	49
<i>Figura 8. Precipitaciones de la provincia Cienfuegos para el periodo agrícola del cultivo del frijol. Periodo 1991 – 2020. Fuente: Elaboración propia</i> .....	50
<i>Figura 9. Mapa de zonificación térmica (izquierda) y zonificación hídrica (derecha) para el periodo agrícola del cultivo del frijol en la provincia Cienfuegos. Período 1991-2020</i> .	56
<i>Figura 10. Mapa que representa las zonas climáticas para el establecimiento del frijol en la provincia Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia</i> .....	57
<b>Figura 11.</b> <i>Mapa de zonificación por drenaje del suelo. Fuente: Elaboración propia.</i> ....	58
<b>Figura 12.</b> <i>Mapa de zonificación por textura del suelo. Fuente: Elaboración propia</i> .....	58
<b>Figura 13.</b> <i>Mapa de zonificación por profundidad efectiva. Fuente: Elaboración propia.</i> .....	59
<i>Figura 14. Mapa que representa las zonas edáficas para el cultivo de frijol en la provincia Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia</i> .....	60

*Figura 15. Mapa de zonificación por pendiente (Izquierda) y zonificación por altitud (derecha). Fuente: Elaboración propia. ....61*

*Figura 16. Mapa que representa las zonas topográficas para el cultivo de frijol en la provincia Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia .....62*

*Figura 17. Mapa de zonificación edafoclimática para el cultivo de frijol en la provincia Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia .....63*

## Tablas

<i>Tabla 1. Distribución del uso de la tierra en la provincia Cienfuegos.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 2. Superficie cosechada y en producción, la producción y el rendimiento agrícola del cultivo del frijol de la agricultura no cañera.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 3. Factor ponderativo de variables. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 4. Factor ponderativo de las variables para la zonificación edafoclimática. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>41</i>
<b>Tabla 5. Requerimientos climáticos y edafológicos del cultivo del frijol. Fuente: Elaboración propia. ....</b>	<b>44</b>
<i>Tabla 6. Etapas de desarrollo del frijol común. Fuente: Faure et al. (2015).....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 7. Comportamiento de las temperaturas promedio decadal durante la campaña agrícola para las 7 estaciones meteorológicas seleccionadas. Periodo 1991 – 2020.....</i>	<i>48</i>

## RESUMEN

El frijol constituye uno de los granos fundamentales en la alimentación en Cuba junto al arroz y las viandas; es un alimento de preferencia en la dieta diaria. La investigación se realizó con el objetivo de identificar zonas edafoclimáticas, con el apoyo del sistema de información geográfica, que respondan a los requerimientos óptimos del frijol común *Phaseolus vulgaris* L., en función de alcanzar un mayor rendimiento en la provincia Cienfuegos. La metodología utilizada se fundamentó en la desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (1997) para la zonificación agroecológica, adecuada a las condiciones concretas de la especie y el territorio estudiado. La información cartográfica fue obtenida en formato shapefile y se aplicó la metodología de la superposición ponderada y la superposición de mapas temáticos en conformidad a las variables edafológicas y meteorológicas locales. Se determinaron las zonas climáticas, edáficas y topográficas de la provincia por medio de la caracterización de variables climáticas (temperatura y precipitación), edáficas (drenaje, textura del suelo y profundidad efectiva) y topográficas (pendiente y altitud), las que fueron clasificadas en aptas, moderadamente aptas y no aptas. Los resultados permitieron obtener una superficie total de 142 605,42 ha en condiciones edafoclimáticas adecuadas para el desarrollo del frijol.

Palabras clave: zonificación edafoclimática, sistemas de información geográfica, frijol

## **Abstract**

The bean is one of the fundamental grains in the Cuban diet, along with rice and tubers; it is a preferred food in daily consumption. The research was carried out with the aim of identifying edaphoclimatic zones, supported by the geographic information system, that meet the optimal requirements of the common bean *Phaseolus vulgaris* L., in order to achieve higher yields in the Cienfuegos province. The methodology used was based on that developed by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (1997) for agroecological zoning, adapted to the specific conditions of the species and the studied territory. Cartographic information was obtained in shapefile format, and the methodology of weighted overlay and overlay of thematic maps was applied in accordance with local edaphological and meteorological variables. Climatic, edaphic, and topographic zones of the province were determined through the characterization of climatic variables (temperature and precipitation), edaphic variables (drainage, soil texture, and effective depth), and topographic variables (slope and altitude), which were classified as suitable, moderately suitable, and not suitable. The results allowed obtaining a total area of 142,605.42 ha under suitable edaphoclimatic conditions for bean development.

Keywords: edaphoclimatic zoning, geographic information systems, bean.

## INTRODUCCIÓN

El frijol común *Phaseolus vulgaris* L. constituye un cultivo de gran importancia entre las leguminosas de granos (Escalante et al. 2016; Calero et al. 2018). Su producción y consumo ocupan un lugar cimero, a escala mundial y nacional, entre las especies dedicadas a la alimentación humana (Santana et al., 2020).

La producción mundial de este cultivo alcanza los 30,4 millones de toneladas y entre los países mayores productores se encuentran la India, Myanmar, Brasil, Estados Unidos, China, Tanzania, México y Uganda (FAO, 2018). En Cuba se cosecharon unas 73 mil hectáreas de frijoles en 2020 con una producción total de 65 mil toneladas y rendimiento agrícola promedio de 0,89 t. ha<sup>-1</sup> (ONEI, 2021), que no satisfacen las demandas debido a la elevación del nivel de consumidores y el cambio climático (Martínez et al., 2017; Hernández et al., 2018; Domínguez et al., 2019).

El frijol común en Cuba se consume en forma de granos secos y se dedica exclusivamente al consumo humano, Morales et al. (2020). En nuestro país la producción se garantiza fundamentalmente por el sector no estatal, cobrando importancia en los últimos años. La producción de este grano enfrenta problemas de bajos rendimientos relacionados además con la baja fertilidad de los suelos, la sequía y las afectaciones por plagas (Hernández et al., 2018).

La amenaza del cambio climático global ha causado preocupación entre los científicos ya que los factores climáticos indispensables para el crecimiento de los cultivos, como son la precipitación y la temperatura, se verán severamente afectados e impactarán sobre la producción agrícola. Aunque los efectos de los cambios en el clima sobre la producción de cultivos varían de una región a otra, se espera que los cambios pronosticados tengan efectos de gran alcance principalmente en los países con zonas tropicales que, por su régimen de precipitación, se clasifican entre semiáridas y húmeda (Altieri y Nicholls, 2009).

Junto con el agua, la calidad de suelo y la sanidad vegetal y animal, el clima es un aspecto fundamental a considerar para el desarrollo de la agricultura en una zona geográfica delimitada. En la medida que se tiene mayor información sobre el clima, mayor certeza

se tendrá para tomar decisiones de planificación agrícola y aptitud de cultivos en diferentes territorios (Cruz et al., 2020).

El suelo es uno de los factores determinantes en el éxito del cultivo del frijol, ya que esta leguminosa requiere un sustrato bien drenado, con buen contenido de materia orgánica y un pH ligeramente ácido. Además, se deben considerar características como la textura, profundidad y capacidad de retención de agua del suelo para asegurar un óptimo desarrollo radicular (Ruiz et al., 2013).

Por otro lado, el clima es otro factor esencial que debe considerarse en la zonificación del cultivo de frijol. Esta planta es adaptada a climas cálidos y templados, con una temperatura óptima de crecimiento entre 18 - 27 °C. Asimismo, requiere una exposición adecuada a la luz solar para llevar a cabo la fotosíntesis y un rango de precipitación adecuado, preferiblemente cerca de los 600 mm anuales (Morales et al., 2019).

La combinación de condiciones edáficas y climáticas influye en la fenología del cultivo del frijol, es decir, en los diferentes estadios de desarrollo que atraviesa desde la germinación hasta la formación de los granos. Un buen conocimiento de estos elementos facilita la elección de las variedades más adecuadas para cada región y permite establecer recomendaciones de manejo agronómico específicas (Ruiz et al., 2013).

La zonificación edafoclimática (ZEC) es un enfoque que considera tanto las características del suelo como del clima en determinada región para determinar los mejores sitios y condiciones para el cultivo de una especie específica. En el caso del frijol, un adecuado análisis edafoclimático puede influir en el rendimiento y la calidad de los granos, así como en la eficiencia del uso de agua y nutrientes (Doorenbos y Kassam, 1979; Schwartz y Gálvez, 1980; Benacchio, 1982; Duke, 1983; Thung et al., 1985; Danilo, 2011).

Diferentes trabajos de ZEC para una variedad de cultivos se han realizado en varios países del mundo, destacándose México, Perú, Ecuador, el Salvador y Nicaragua. Entre los más significativos se encuentran: (Inzunza et al., 2006; Andrade, 2019; Goyzueta 2019; Ramírez, 2019; Zavaleta, 2019; SIAP, 2019; Díaz et al., 2020; Guerrero y Samamé, 2020; Fernández y Huamani, 2021; Del Rosario et al., 2022).

Inzunza et al. (2006) presentan un estudio de zonificación agroecológica (ZAE) del cultivo del frijol *Phaseolus vulgaris* L. Los resultados indican que existen superficies con condiciones de clima y suelo para otras leguminosas excepto para el cultivo del frijol, donde el clima fue el factor limitante.

En Perú, se realizan varios estudios de zonificación, uno de ellos es el desarrollado por Díaz et al. (2020) donde se realiza un análisis del estado promedio de los principales elementos del clima (temperatura del aire y precipitación) e índices agroclimáticos relacionados a estas variables durante la campaña agrícola de los principales cultivos. También, contempla las zonas con mayor o menor aptitud agroclimática para la producción del cultivo de café en las provincias de Jaén y San Ignacio.

También se encuentra el estudio de ZAE para los principales cultivos del distrito de Quishuar- Huancavelica cebada (*Hordeum vulgare*), maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticumaestivum*) y papa (*Solanum tuberosum*). Este estudio muestra cuatro zonas de aptitud agroecológica para los cultivos en el distrito clasificados de menor a mayor de baja adaptación a muy buena adaptación. Se encontró en mayor proporción áreas con regular a buena adaptación debido a limitaciones edafológicas (Fernández y Huamani, 2021).

Los estudios edafoclimáticos son de vital importancia para el desarrollo de los cultivos. Estos estudios permiten comprender las características del suelo y las condiciones climáticas de una determinada región, lo que proporciona información clave para la selección de cultivos adecuados. Conocer las propiedades del suelo, como su textura, estructura y composición, ayuda a determinar la capacidad de retención de agua, la disponibilidad de nutrientes y la resistencia a la erosión, lo que a su vez influye en el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Además, analizar las condiciones climáticas, como la temperatura, precipitación, la humedad y la radiación solar, permite adaptar las prácticas agrícolas, como la siembra, el riego y la protección de cultivos, para optimizar el desarrollo de las plantas y maximizar la producción (Morales et al., 2019).

El estudio del comportamiento de las variables edafoclimáticas que tienen mayor influencia en el desarrollo de los cultivos, aporta información relevante para elaborar la zonificación por aptitud edafoclimática, la cual será una guía espacial y temporal en las

zonas de estudio que cumplen con las demandas climáticas y edafológicas de cada una de las etapas del cultivo para un óptimo desarrollo (Doorenbos y Kassam, 1979; Schwartz y Gálvez, 1980; Benacchio, 1982; Duke, 1983; Thung et al., 1985; Danilo, 2011).

En Cuba se han desarrollado estudios de ZEC, entre los más significativos se encuentran: Soto et al. (2002), Soto et al. (2007), Suárez (2013), Suárez (2014), Pérez e Hidalgo (2016) y Hernández et al. (2019).

Soto et al. (2007) expone que la ZAE es una de las principales herramientas para disminuir los riesgos a los que está sometida la agricultura. Teniendo en cuenta estos elementos, procedió a realizar la ZAE de la cordillera de Guaniguanico. Obtuvo información de ocho estaciones meteorológicas y 62 pluviómetros de la red del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, con lo cual se llevó a cabo la zonificación climática.

Hernández et al. (2019) por su parte llevó a cabo un estudio sobre la integración de la variable temperatura media, el suelo y la disponibilidad de agua mediante la elaboración de mapas temáticos durante el período 2016-2018, se confeccionaron mapas mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) ArcGIS. Además, se desarrolló un análisis documental para fundamentar las exigencias edafoclimáticas de los cultivos. Se estableció un umbral óptimo de desarrollo, basado en la temperatura media, el suelo y la disponibilidad de agua subterránea. Se confeccionó un conjunto de mapas de idoneidad para 11 cultivos de importancia económica, de gran peso en la seguridad alimentaria local y nacional.

En la provincia Cienfuegos Rodríguez et al. (2015), realizan la ZAE para el cultivo del mango *Mangifera indica* L. en la Unidad especial de frutales de Cienfuegos, donde se utilizaron tres variedades (Chino, Haden y Super Haden) replicadas en los ambientes que formaron la combinación de tres unidades con los cinco años, donde las lluvias tuvieron mayor poder discriminante de las zonas agroecológicas que las variables de suelo. Sin embargo, la provincia de Cienfuegos no cuenta con una caracterización edafoclimática actualizada de las zonas idóneas para el desarrollo del cultivo del frijol.

De ahí que se justifique el siguiente **problema científico**: ¿Cuál será la influencia de las variables edafoclimáticas en el desarrollo y el rendimiento del cultivo del frijol *Phaseolus vulgaris* L. en la provincia de Cienfuegos?

## **Hipótesis**

Si se realiza la zonificación edafoclimática para el cultivo del frijol *Phaseolus vulgaris* L. con el apoyo del Sistema de Información Geográfica, entonces se podrán proponer las zonas óptimas para el desarrollo del cultivo en la provincia de Cienfuegos.

## **Objetivo general:**

Determinar la zonificación edafoclimática de la provincia de Cienfuegos para el cultivo del frijol *Phaseolus vulgaris* L. con el apoyo del Sistema de Información Geográfica.

## **Objetivos específicos:**

- ❖ Caracterizar edafoclimáticamente de la provincia Cienfuegos en función del cultivo del frijol común *Phaseolus vulgaris* L.
- ❖ Proponer las zonas de aptitud edafoclimática óptimas para el cultivo del frijol común *Phaseolus vulgaris* L en la provincia de Cienfuegos.

## **Novedad de la investigación**

La novedad científica radica en que se aplicará una metodología para establecer las bases de la ZEC del cultivo del frijol en la provincia de Cienfuegos. Se caracterizarán los suelos, las variables temperaturas y precipitaciones en la provincia y por primera vez se obtendrán los resultados de la ZEC para el cultivo del frijol en la provincia.

## **Valor práctico**

Se pone a disposición de los productores y decisores, una herramienta útil para la toma de decisiones, sobre la ubicación del frijol en zonas edafoclimáticas para incrementar los rendimientos actuales.

La presente investigación forma parte de los resultados del Proyecto Nacional: Fortalecimiento de las capacidades del sector agropecuario de la provincia de Cienfuegos en la mitigación y adaptación al Cambio Climático (AGROFORT\_100).

## **CAPITULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1 El frijol común. Origen e importancia.**

El origen del *Phaseolus Vulgaris* L. (frijol común) ha sido un tema muy debatido, es un ejemplo de importantes plantas alimenticias y tiene su origen en el viejo mundo, siendo llevada al nuevo mundo como planta ornamental. Es considerado uno de los cultivos más antiguos; hallazgos arqueológicos en su posible centro de origen datan de 7000 años, y en Suramérica indican que era conocido por lo menos 5000 años (Ávila et al., 1990).

Los frijoles pertenecen a la familia de las leguminosas. En el mundo se conocen alrededor de 150 especies de frijoles. Hallazgos confirman que el frijol era cultivado en Mesoamérica hace ya 8,000 años y que fue una de las principales especies que se integró a la dieta básica de las culturas indígenas (EFE, 2022).

Es una de las principales leguminosas que se siembran en el mundo, solamente es superado por la soya, y le siguen la lenteja y el garbanzo. Considerado como una de las primeras plantas domesticadas del nuevo mundo al igual que el maíz y sobre la cual se basó la alimentación de los primeros asentamientos de Meso América y Sur América. Uno de sus principales atributos es su alto valor nutritivo y medicinal, por su contenido de proteína y carbohidratos, siendo su semilla lo bastante adecuada para el consumo (Rodríguez, 2022).

En los cotiledones se encuentra la mayoría de sus componentes químicos, tales como carbohidratos, proteínas, grasas, y además un adecuado contenido de vitaminas y minerales. El contenido proteico de las semillas, así como el de los aminoácidos esenciales es de gran interés ya que se pueden encontrar la isoleucina, leucina, lisina, fenilalanina, metionina, triptófano en cantidades moderadas. Además, el valor energético de dichas semillas es elevado (Socorro y Martín, 1989).

En la mayoría de los países latinoamericanos y caribeños, entre ellos Cuba, Haití, y la República Dominicana constituye un componente básico para la dieta (Morales, 2000), aunque sus rendimientos suelen ser bajos a causa de enfermedades y plagas (FAO, 2008). En esta región se cultivan unas 212 mil hectáreas (ha.año<sup>-1</sup>) (Beaver y Molina, 1996; Morales, 2000).

El frijol posee un amplio rango de adaptación ya que se siembra en una extensa variedad de climas y suelos. Es sin duda uno de los alimentos básicos en la dieta de la mayoría de los países en desarrollo, pues su cultivo se lleva a cabo alrededor de 120 países dentro de los cinco continentes, resaltando países de Asia, América, y África. Anualmente se siembran alrededor de 27 millones de ha con una producción de 20 millones de toneladas y se consumen 17 millones de toneladas (FIRA, 2016).

Los 10 países que mayor superficie destinaron a este cultivo en el ciclo 2020 fueron: India, Myanmar, Brasil, México, Kenia, Tanzania, Angola, Mozambique, Burundi y China, ya que en forma conjunta sembraron un total de 25,98 millones de ha de los 34,801 millones de ha que se sembraron en el ciclo 2020, correspondiendo al 74 % de la superficie total. Siendo a su vez los países que más contribuyeron en la producción de grano con un total de 21,155 millones de toneladas (62 %) de los 27,545 millones de toneladas que se produjeron en total en el mismo ciclo. Sin embargo, dentro de los primeros seis países exportadores de frijol en el ciclo 2020 se encuentran: Myanmar, USA, Argentina, Canadá, China, y Etiopía (SAGARPA, 2017; FAO, 2022).

En Cuba, esta leguminosa tiene gran importancia, se cultiva a lo largo y ancho del país, incluyendo el sector estatal y no estatal ONEI, (2009). La producción nacional alcanza solo el 3% de las necesidades del consumo, según estadísticas de venta al estado, por lo que es necesario importar alrededor de 110,000 toneladas por año según Faure (2003). Su alto contenido en proteínas lo sitúan como un cultivo estratégico del país, ya que permite atenuar el déficit de otras proteínas en la dieta alimentaria.

Urge entonces aumentar los rendimientos del cultivo, que según Chailloux et al. (1996), en América Latina se obtiene solo un 20 % de su rendimiento potencial. En nuestro país, el rendimiento oscila entre 0,63 y 0,7 t/ha<sup>-1</sup>, motivada esta diferencia por las deficiencias nutricionales, conjuntamente con el ataque de plagas y enfermedades (Rodríguez, 2022).

Las principales regiones productoras de frijol en el país son Villa Clara, Cienfuegos, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Camagüey y Granma. Estas regiones tienen condiciones climáticas y de suelo favorables para el cultivo del frijol y cuentan con una larga tradición en la producción de este cultivo. Sin embargo, el frijol también se cultiva en otras

provincias de Cuba, como Holguín, Santiago de Cuba, Guantánamo, Pinar del Río y La Habana, entre otras (López, 2021).

## **1.2 Influencia del clima en la agricultura**

El clima es la agrupación de estados de tiempo atmosféricos (temperatura, precipitación, humedad, relación con el viento, etc.) considerados en un periodo y producidos en un lugar determinado (FECYT, 2004). Este juega un papel crucial en la agricultura, ya que afecta directamente el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. Los agricultores dependen en gran medida de las condiciones climáticas para planificar sus actividades agrícolas y tomar decisiones informadas sobre qué y cuándo cultivar.

Por otro lado, el exceso de lluvia, especialmente durante la temporada de siembra o cosecha, puede causar inundaciones y dañar los cultivos, así como dificultar el acceso a los campos para las actividades agrícolas (SensorGo, 2022).

La duración de la temporada de crecimiento también está determinada por el clima. Algunas plantas requieren un período de tiempo mínimo para completar su ciclo de vida, y si el clima de una región no cumple con esta duración requerida, los cultivos pueden no alcanzar su pleno potencial. Por ejemplo, los cultivos de maíz y arroz necesitan una temporada de crecimiento más larga y cálida, mientras que los cultivos de trigo y cebada prefieren climas más frescos y una temporada de crecimiento más corta (Ruíz et al., 2013).

La radiación solar es esencial para la fotosíntesis, el proceso mediante el cual las plantas convierten la luz solar en energía para su crecimiento. La falta de radiación solar puede limitar la producción de cultivos, especialmente en áreas con nubosidad persistente. Por último, el viento puede tener efectos tanto positivos como negativos en la agricultura. Por un lado, el viento puede ayudar a disipar el exceso de humedad y prevenir enfermedades fúngicas en los cultivos. Por otro lado, el viento fuerte puede causar daños físicos a las plantas y erosionar el suelo (González et al. 2020)

Los agricultores deben comprender y adaptarse a las condiciones climáticas de su región para maximizar la producción de cultivos y garantizar la seguridad alimentaria. El clima afecta la temperatura, la precipitación, la duración de la temporada de crecimiento, la humedad, la radiación solar y el viento, y todos estos factores influyen en el crecimiento,

desarrollo y rendimiento de los cultivos. La gestión adecuada de estos elementos climáticos es esencial para una agricultura sostenible y productiva (SensorGO, 2022).

La amenaza del cambio climático global ha causado preocupación entre los científicos ya que los factores climáticos indispensables para el crecimiento de los cultivos, como son la precipitación y la temperatura, se verán severamente afectados e impactarán sobre la producción agrícola (Betanco et al., 2016).

Aunque los efectos de los cambios en el clima sobre la producción de cultivos varían de una región a otra, se espera que los cambios pronosticados tengan efectos de gran alcance principalmente en los países con zonas tropicales que, por su régimen de precipitación, se clasifican entre semiáridas y húmedas. Estos impactos ya se sienten en los países del Sur, donde también se espera un aumento en las precipitaciones que producirán daños en los cultivos por erosión de los suelos o, en algunos casos por inundaciones (Nicholls y Altieri, 2015).

El incremento en la intensidad de los ciclones tropicales causa importantes daños en los cultivos de ecosistemas costeros, mientras que al subir el nivel del mar los acuíferos costeros se salinizarán. En zonas semiáridas se espera una mayor frecuencia y severidad de sequías y calor excesivo, condiciones que pueden limitar significativamente el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Nicholls y Altieri, 2015).

### **1.2.1 Eventos climáticos que afectan al cultivo del frijol en Cuba**

Según Medina et al. (2016) los efectos del cambio climático son cada día más visibles en todos los sectores, pero sin duda alguna en el sector de la agricultura son mucho más evidentes. A continuación, se mencionan algunos de ellos:

- **Variaciones en las precipitaciones:** Las fluctuaciones en los patrones de lluvia pueden tener un impacto significativo en el cultivo del frijol. La falta de lluvia adecuada puede afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas, mientras que las lluvias excesivas pueden provocar inundaciones y dañar los cultivos.
- **Temperaturas extremas:** Las altas temperaturas pueden afectar negativamente el rendimiento del frijol. El estrés por calor puede reducir la producción y la calidad de

los granos. Por otro lado, las bajas temperaturas también pueden ser perjudiciales, especialmente durante las etapas de germinación y floración.

- **Sequías:** La falta de agua debido a sequías prolongadas puede ser especialmente perjudicial para el cultivo del frijol. La escasez de agua puede afectar el crecimiento de las plantas y reducir la producción de frijoles.
- **Eventos climáticos extremos:** Fenómenos como huracanes y tormentas tropicales pueden causar daños significativos en los cultivos de frijol. Los fuertes vientos y las lluvias intensas pueden arrancar las plantas y destruir los cultivos.

Todos estos efectos son causados por la variación en los patrones climáticos de la tierra a lo largo del tiempo que han sido alterados de manera antrópica por el incremento de los gases de efecto invernadero emitidos a la atmosfera. En el Anexo 1 se muestran los daños que provocan en el cultivo del frijol en Cuba los efectos del cambio climático.

Las condiciones atmosféricas afectan diversos aspectos del desarrollo y crecimiento de las plantas y pueden producir reducciones drásticas en la producción agrícola. El propósito fundamental de estudiar las relaciones entre el clima y la producción agrícola, es determinar los factores necesarios para una producción óptima y los factores climáticos limitantes de un área (Medina et al., 2016).

### **1.3 Zonificación edafoclimática de los cultivos**

La ZEC de un cultivo es una herramienta utilizada en la agricultura para delimitar áreas con características específicas de suelo y clima que influyen en el desarrollo de los cultivos. Esta técnica se basa en el análisis de las propiedades del suelo, como la textura, profundidad efectiva, drenaje, contenido de materia orgánica, potencial de Hidrogeno (PH), salinidad, capacidad de retención de agua y nutrientes, y las variables climáticas, como la temperatura, precipitación, humedad relativa, evapotranspiración y radiación solar (González et al., 2014).

La ZEC tiene como objetivo identificar las condiciones edafoclimáticas más favorables para el crecimiento y desarrollo de diferentes cultivos. Al delimitar las áreas con características similares, los agricultores pueden tomar decisiones más informadas sobre

qué cultivos son más adecuados para cada zona, maximizando así el rendimiento y la calidad de los productos agrícolas (González et al., 2014).

El proceso de ZEC comienza con la recopilación y análisis de datos sobre las propiedades del suelo y las variables climáticas en diferentes puntos de una región. Estos datos se utilizan para elaborar mapas temáticos que representan la distribución de las características del suelo y el clima en el área de estudio. Una vez que se han elaborado los mapas temáticos, se procede a la delimitación de las zonas edafoclimáticas. Esto se realiza mediante la superposición de las capas de información del suelo y el clima, identificando las áreas que presentan combinaciones específicas de propiedades edáficas y climáticas (Suárez, 2013).

La ZEC tiene múltiples beneficios y aplicaciones prácticas:

***Beneficios de la ZEC:***

Según Morales et al. (2006) y Suárez (2014) los beneficios de la ZEC son:

- ✓ Permite a los agricultores seleccionar los cultivos más adecuados para cada zona, teniendo en cuenta las características del suelo y el clima maximizando así el rendimiento y la calidad de los productos agrícolas. Por ejemplo, los cultivos que requieren suelos con buena capacidad de retención de agua y nutrientes pueden ser recomendados para áreas con suelos arcillosos y clima húmedo. Por otro lado, los cultivos que toleran suelos más pobres en nutrientes y requieren menos agua pueden ser recomendados para áreas con suelos arenosos y clima seco.
- ✓ Puede ser utilizada para la planificación del uso de la tierra. Por ejemplo, las áreas con suelos más fértiles y climas favorables pueden destinarse a la producción de cultivos intensivos, mientras que las áreas con suelos menos productivos pueden utilizarse para la ganadería o la silvicultura.

La ZEC es una herramienta dinámica que puede ser actualizada periódicamente a medida que se recopilan nuevos datos y se realizan estudios más detallados. Además, también puede ser utilizada en combinación con otras técnicas, como la zonificación agroclimática (ZAC), para obtener una visión más completa de las condiciones favorables para la agricultura en una región determinada (Suárez, 2014).

## ***Diferencias entre ZAC y ZEC***

La ZAC y la ZEC son dos enfoques diferentes utilizados en la agricultura para delimitar áreas con características específicas que influyen en el desarrollo de los cultivos. Aunque ambos enfoques tienen como objetivo identificar las condiciones más favorables para la agricultura, existen diferencias importantes entre ellos.

La ZAC se basa principalmente en el análisis de variables climáticas, como temperatura, precipitación, humedad y radiación solar. Este enfoque busca identificar las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de diferentes cultivos. Esta zonificación considera factores como la temperatura media anual, la distribución de la precipitación a lo largo del año y la cantidad de horas de sol, entre otros. Con base en estos parámetros, se dividen las áreas en diferentes zonas agroclimáticas, cada una con características climáticas similares. Esto permite a los agricultores seleccionar los cultivos más adecuados para cada zona, maximizando así el rendimiento y la calidad de los productos agrícolas (Morales et al., 2006).

Por otro lado, la ZEC se centra en las características del suelo, además de las variables climáticas. El suelo es un factor fundamental en la agricultura, ya que influye en la disponibilidad de nutrientes, la retención de agua y la capacidad de enraizamiento de los cultivos. La ZEC busca identificar las características del suelo, como su textura, profundidad, pH y contenido de materia orgánica, y relacionarlas con las condiciones climáticas de la zona. Con base en estos parámetros, se delimitan áreas con características edafoclimáticas similares, lo que permite determinar qué cultivos son más adecuados para cada tipo de suelo y clima (Zambrano, 2020).

En resumen, mientras que la ZAC se centra principalmente en las variables climáticas para delimitar áreas con condiciones favorables para la agricultura, la ZEC considera tanto las variables climáticas como las características del suelo. Ambos enfoques son complementarios y pueden utilizarse de manera conjunta para una planificación agrícola más precisa y eficiente. La combinación de ambas zonificaciones ayuda a los agricultores a seleccionar los cultivos más adecuados para cada zona, teniendo en cuenta tanto las condiciones climáticas como las características del suelo (Morales et al., 2006).

### **1.3.1 Variables climáticas y edafológicas importantes en la zonificación edafoclimática del cultivo del frijol en Cuba.**

En el caso del cultivo del frijol en Cuba, es importante tener en cuenta las variables edafoclimáticas que influyen en su desarrollo y rendimiento. Estas variables incluyen en las características del suelo, como su textura, profundidad y contenido de nutrientes, drenaje, pendiente y altitud, así como factores climáticos, como la temperatura, la precipitación, la radiación solar, entre otras. A continuación, se exploran estas variables y su importancia en la zonificación edafoclimática del cultivo del frijol en Cuba (Andrade et al., 2019).

En primer lugar, la textura del suelo es un factor crucial a considerar, se refiere a la proporción relativa de partículas de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. El frijol prefiere suelos con una textura media, es decir, ni demasiado arenosos ni demasiado arcillosos. Los suelos arenosos tienen una capacidad de retención de agua más baja, lo que puede afectar la disponibilidad de agua para las plantas durante períodos de sequía. Por otro lado, los suelos arcillosos pueden retener demasiada agua, lo que puede conducir a problemas de drenaje y falta de oxígeno para las raíces. Por lo tanto, los suelos con una textura media son ideales para el cultivo del frijol (Maqueira et al., 2021).

Otra variable importante es la profundidad del suelo. La profundidad efectiva es aquella donde las raíces de las plantas pueden alcanzar y explorar libremente para obtener los recursos necesarios para su desarrollo y puede variar en función de diversos factores como el tipo de suelo, la presencia de capas compactas o rocosas y la disponibilidad de agua. El frijol tiene raíces relativamente profundas, por lo que necesita suelos con una buena profundidad para permitir el desarrollo adecuado de las raíces y la absorción de nutrientes. Los suelos poco profundos pueden limitar el crecimiento de las raíces y, por lo tanto, el rendimiento del cultivo. Además, los suelos profundos también tienen una mayor capacidad de retención de agua, lo que es beneficioso durante períodos de sequía (Maqueira et al., 2021).

El contenido de nutrientes en el suelo también es esencial para el cultivo del frijol. El frijol es un cultivo que requiere una cantidad adecuada de nutrientes para su crecimiento y desarrollo. Los nutrientes más importantes para el frijol son el nitrógeno, el fósforo y el

potasio. Un suelo con un contenido adecuado de estos nutrientes es fundamental para obtener buenos rendimientos en el cultivo. Además, otros nutrientes como el calcio, el magnesio y el azufre también son importantes para el desarrollo saludable de las plantas (Doorenbos y Kassam, 1979; Benacchio, 1982).

El drenaje del suelo es otra variable clave a considerar en la zonificación del cultivo del frijol. El frijol es una planta que requiere un equilibrio adecuado de agua en el suelo: no puede tolerar suelos con un drenaje deficiente, ya que esto puede causar problemas de encharcamiento y asfixia de las raíces, lo que afecta negativamente el crecimiento y el rendimiento de las plantas. Por otro lado, un exceso de drenaje puede llevar a una falta de agua disponible para las plantas durante períodos de sequía. Por lo tanto, es importante identificar áreas con un drenaje adecuado para el cultivo del frijol, evitando áreas con suelos con problemas de encharcamiento o de excesivo drenaje (Doorenbos y Kassam, 1979; Benacchio, 1982).

La pendiente del suelo también es una variable importante en la zonificación edafoclimática del cultivo del frijol. La pendiente del terreno influye en la erosión del suelo y en la retención de agua. En terrenos con pendientes pronunciadas, existe un mayor riesgo de erosión del suelo, lo que puede afectar negativamente la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Además, las pendientes pronunciadas pueden dificultar el manejo del agua de riego y la infiltración del agua en el suelo. Por lo tanto, es importante considerar la pendiente del terreno al zonificar las áreas de cultivo del frijol, evitando áreas con pendientes pronunciadas que puedan ser propensas a la erosión y dificulten la retención de agua (Ruíz, 2014).

La altitud es otra variable del suelo importante ya que influye en la temperatura y la radiación solar que reciben las plantas. A medida que aumenta la altitud, las temperaturas tienden a ser más bajas, lo que puede afectar el crecimiento y el desarrollo del frijol. Además, la radiación solar disminuye a medida que aumenta la altitud, lo que puede influir en la fotosíntesis y la producción de las plantas. Por lo tanto, es necesario considerar la altitud al zonificar las áreas de cultivo del frijol, eligiendo áreas con altitudes adecuadas que permitan un crecimiento óptimo de las plantas (Maqueira et al., 2017).

En cuanto a los factores climáticos, la temperatura es un factor clave en el cultivo del frijol. El frijol es una planta de clima cálido, por lo que requiere temperaturas óptimas para su crecimiento y desarrollo. Las temperaturas ideales para el cultivo del frijol oscilan entre los 20 y 30 grados centígrados. Temperaturas más bajas pueden retrasar el crecimiento de las plantas y afectar negativamente la producción de vainas. Por otro lado, temperaturas muy altas pueden provocar estrés térmico y afectar la formación de flores y vainas (Ruiz, 2014).

La precipitación es otro factor climático importante a considerar en la zonificación edafoclimática del cultivo del frijol en Cuba. El frijol requiere una cantidad adecuada de agua para su crecimiento y desarrollo. En general, se recomienda una precipitación anual de alrededor de 800-1200 mm para obtener buenos rendimientos en el cultivo del frijol. Sin embargo, es importante tener en cuenta la distribución de la precipitación a lo largo del año, ya que el frijol es sensible a períodos de sequía durante etapas críticas de su ciclo de crecimiento (Salcedo, 2008).

Por último, la radiación solar también juega un papel importante en el cultivo del frijol. El frijol requiere una cantidad adecuada de radiación solar para realizar la fotosíntesis y producir energía para su crecimiento. Una exposición adecuada a la radiación solar garantiza un buen desarrollo de las plantas y una producción óptima de vainas (Salcedo, 2008).

### **1.3.2 Herramientas y tecnologías aplicadas a la ZEC**

Según, Suárez (2014) la ZEC es una técnica que requiere el uso de diversas herramientas para recopilar, analizar y visualizar la información necesaria para delimitar áreas con características específicas de suelo y clima. Estas herramientas son fundamentales para llevar a cabo una zonificación precisa y eficiente. A continuación, se mencionan las herramientas más comúnmente utilizadas:

1. Aplicación de SIG,
2. Uso de la Teledetección,
3. Estaciones meteorológicas,
4. Muestreo de suelos,
5. Modelos de simulación y pronóstico climático,

## 6. Herramientas de análisis estadístico.

En el Anexo 2 se describen cada una de las herramientas utilizadas para apoyar la ZEC.

### **1.4 Los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la ZEC**

Según Jiménez et al. (2016) los SIG son herramientas tecnológicas que permiten recopilar, almacenar, analizar y visualizar datos geoespaciales. Estos sistemas han demostrado ser de gran utilidad en diversos campos, incluyendo la agricultura y la ZEC

La ZEC es un proceso que consiste en delimitar y clasificar las áreas geográficas en función de las características del suelo y del clima. Esta información es fundamental para la toma de decisiones en la planificación agrícola, ya que permite identificar las áreas más adecuadas para el cultivo de diferentes especies y variedades. En este sentido, los SIG se han convertido en una herramienta indispensable para llevar a cabo la ZEC de manera eficiente y precisa. Estos sistemas permiten integrar diferentes capas de información, como mapas de suelos, datos climáticos y topografía, y realizar análisis espaciales para identificar las áreas con las condiciones más favorables para el cultivo (Jiménez et al., 2016).

Uno de los principales beneficios de utilizar SIG en la ZEC es la capacidad de visualización y análisis de los datos geoespaciales. Estos sistemas permiten representar gráficamente la información en forma de mapas, lo que facilita la interpretación y la comunicación de los resultados. Además, los SIG permiten realizar análisis espaciales avanzados, como la superposición de diferentes capas de información y la generación de modelos predictivos (Jiménez et al., 2016).

En el contexto de la ZEC, los SIG pueden ayudar a identificar las áreas con características edafoclimáticas similares, lo que facilita la delimitación de unidades homogéneas. Por ejemplo, se pueden utilizar técnicas de análisis de clusters para agrupar las áreas con características de suelo y clima similares. Estos grupos pueden servir como base para la definición de zonas de manejo agrícola diferenciado, donde se implementan prácticas específicas adaptadas a las condiciones de cada zona (Jiménez et al., 2016).

Además, los SIG permiten la integración de datos provenientes de diferentes fuentes, como sensores remotos, estaciones meteorológicas y estudios de suelos. Esto proporciona una visión más completa y actualizada de las características edafoclimáticas

de una región. Por ejemplo, se pueden utilizar imágenes satelitales para obtener información sobre la distribución espacial de los suelos y su vegetación asociada, lo que puede ayudar a identificar patrones y tendencias (Lao, 2018).

Otro aspecto importante es la capacidad de los SIG para gestionar grandes volúmenes de datos. La ZEC implica el procesamiento y análisis de una gran cantidad de información, que puede provenir de diferentes fuentes y tener diferentes formatos. Los SIG permiten organizar y almacenar estos datos de manera eficiente, lo que facilita su acceso y uso posterior (Jiménez et al., 2016).

Además, los SIG ofrecen herramientas de modelización y simulación que permiten realizar análisis prospectivos. Por ejemplo, se pueden utilizar modelos climáticos para evaluar el impacto del cambio climático en las condiciones edafoclimáticas y anticipar posibles cambios en la distribución de las zonas agrícolas. Esto es especialmente relevante en un contexto de cambio climático, donde es necesario adaptar las prácticas agrícolas a las nuevas condiciones (Lao, 2018).

### **1.5 Desafíos y limitaciones en la ZEC**

Según Ávila et al. (2021) y NU-CEPAL, (2011) la ZEC enfrenta una serie de desafíos y limitaciones que deben ser abordados para garantizar su efectividad y utilidad en la planificación y gestión del territorio. Entre los principales desafíos se encuentran:

1. **Disponibilidad y calidad de datos:** Uno de los principales desafíos en la ZEC es la falta de datos adecuados y confiables. La recopilación de datos climáticos y de suelos puede ser costosa y requiere de un muestreo exhaustivo. Además, la calidad y la disponibilidad de estos datos puede variar significativamente según la región y el país. Para superar este desafío, es necesario promover la colaboración entre instituciones y organismos encargados de la recopilación y gestión de datos, así como mejorar los sistemas de monitoreo y la tecnología utilizada en la recolección de datos.
2. **Complejidad y variabilidad de los sistemas edafoclimáticos:** Los sistemas edafoclimáticos son altamente complejos y presentan una gran variabilidad espacial y temporal. Los suelos y el clima pueden cambiar significativamente en distancias cortas, lo que dificulta la delimitación precisa de las zonas. Además, los sistemas

edafoclimáticos son dinámicos y están sujetos a cambios debido a factores naturales y antropogénicos. Para abordar este desafío, es necesario desarrollar modelos y técnicas de análisis más sofisticados que tengan en cuenta la variabilidad y la dinámica de los sistemas edafoclimáticos.

3. ***Incertidumbre en los modelos y técnicas utilizadas***: La ZEC implica el uso de modelos y técnicas de análisis para interpretar los datos y generar los mapas de zonificación. Sin embargo, estos modelos y técnicas pueden estar sujetos a cierto grado de incertidumbre. Los resultados de la zonificación pueden variar dependiendo de los parámetros y supuestos utilizados en los modelos, lo que puede afectar la precisión y confiabilidad de los resultados. Para abordar este desafío, es necesario mejorar la calibración y validación de los modelos, así como utilizar técnicas de análisis de sensibilidad para evaluar la robustez de los resultados.
4. ***Necesidad de capacitación y experiencia***: La interpretación de los resultados de la ZEC requiere de una sólida capacitación y experiencia en el campo de la edafología y la climatología. Los profesionales encargados de realizar la zonificación deben tener un conocimiento profundo de los suelos, el clima y las interacciones entre ambos. Además, deben estar familiarizados con las técnicas y metodologías utilizadas en la zonificación. La falta de capacitación y experiencia puede limitar la efectividad de la zonificación y llevar a interpretaciones erróneas de los resultados. Para superar este desafío, es necesario promover la formación y capacitación de profesionales en el campo de la zonificación edafoclimática, así como fomentar la colaboración entre expertos de diferentes disciplinas.
5. ***Integración de datos y modelos a diferentes escalas***: La ZEC debe ser capaz de integrar datos y modelos a diferentes escalas espaciales y temporales. Esto implica considerar la variabilidad y la heterogeneidad de los sistemas edafoclimáticos a diferentes niveles, desde el nivel regional hasta el nivel local. Además, la zonificación debe ser capaz de capturar los cambios temporales en los suelos y el clima, así como las interacciones entre ellos. Para abordar este desafío, es necesario desarrollar enfoques y técnicas que permitan la integración de datos y modelos a diferentes escalas, así como la generación de mapas de zonificación a nivel local y regional

Sin embargo, a medida que avanza la tecnología y se desarrollan enfoques más sofisticados, es posible superar estos desafíos y mejorar la ZEC.

### ***Limitaciones en la aplicación de la ZEC:***

A pesar de sus beneficios y aplicaciones potenciales, la ZEC puede enfrentar limitaciones en su aplicación práctica. Algunas de estas limitaciones incluyen la falta de recursos financieros y humanos para llevar a cabo la zonificación, la falta de voluntad política para implementar las recomendaciones derivadas de la zonificación, y la resistencia por parte de los actores involucrados en la planificación y gestión del territorio. Para superar estas limitaciones, es necesario promover la conciencia y la comprensión de los beneficios de la ZEC, así como establecer mecanismos de financiamiento y políticas que promuevan su implementación (Suárez, 2014).

### **1.6 Aplicaciones prácticas de la ZEC:**

Según Suárez (2013) y Sánchez et al. (2021) las aplicaciones prácticas de la ZEC son múltiples y abarcan desde la selección de cultivos hasta la planificación de la conservación del suelo y la gestión de los recursos hídricos. A continuación, se presentan algunas de las aplicaciones más relevantes:

- ✓ *Conservación del suelo:* La ZEC ayuda a identificar las áreas más susceptibles a la erosión y otros procesos degradativos del suelo. Con esta información, se pueden implementar medidas de conservación del suelo, como la construcción de terrazas, la siembra de coberturas vegetales o la aplicación de prácticas de manejo adecuadas, para reducir la erosión y mantener la salud del suelo a largo plazo.
- ✓ *Selección de cultivos:* La ZEC permite identificar las condiciones óptimas para el desarrollo de diferentes cultivos, teniendo en cuenta aspectos como la temperatura, la humedad, la disponibilidad de agua y los requerimientos nutricionales. Esto ayuda a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre qué cultivos son más rentables y sostenibles en cada zona.
- ✓ *Planificación de sistemas de riego:* La ZEC también es útil en la planificación de sistemas de riego. Al conocer las características del suelo y el clima de cada zona, es posible determinar la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos. Esto permite optimizar el uso del agua y evitar el desperdicio.

- ✓ *Gestión de fertilizantes y agroquímicos:* Conocer las características del suelo y el clima de cada zona permite determinar las necesidades nutricionales de los cultivos de manera más precisa. Esto ayuda a optimizar la aplicación de fertilizantes y agroquímicos, evitando la sobreutilización o la contaminación del suelo y el agua.
- ✓ *Estimación de rendimientos:* La ZEC también se utiliza para estimar los rendimientos potenciales de los cultivos en cada zona. Esto brinda información valiosa para la planificación de la producción agrícola, la toma de decisiones sobre la comercialización de los productos y la evaluación de la viabilidad económica de los proyectos agrícolas.
- ✓ *Planificación del uso de la tierra:* La ZEC es esencial en la planificación del uso de la tierra. Permite identificar las áreas más adecuadas para la agricultura, la ganadería, la silvicultura u otras actividades, teniendo en cuenta las limitaciones y potencialidades del suelo y el clima. Esto contribuye a un uso más eficiente y sostenible de los recursos naturales.
- ✓ *Adaptación al cambio climático:* En un contexto de cambio climático, la ZEC adquiere aún más relevancia. Permite identificar las zonas más vulnerables a los efectos del cambio climático, como sequías, inundaciones o cambios en los patrones de temperatura, y desarrollar estrategias de adaptación adecuadas.

## **1.7 Estudios sobre ZEC**

Importantes estudios sobre ZEC se han desarrollado a nivel internacional no solo para cultivos permanentes sino también en cultivos de ciclo corto. A continuación, se relacionan algunos de ellos:

Varios trabajos se desarrollan en México relacionados con la zonificación, uno de ellos Del Rosario et al. (2022) realizan la ZEC de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) para la producción sostenible de bioproducto, donde se utiliza la metodología de zonificación a través de variables edafoclimáticas, sometidas al SIG ArcMap para identificar zonas óptimas edafoclimáticas en el estado de Veracruz, México. Este estudio demuestra que la metodología de zonificación propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), es útil para determinar áreas con potencial edafoclimático.

En otro trabajo se presentan los resultados de la espacialización de la aptitud agroclimática del frijol (alta y media) elaborada por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) para el ciclo agrícola otoño-invierno estimado a partir de los requerimientos del frijol en sus diferentes etapas fenológicas, asimilando la climatología con los diferentes tipos de suelo aptos para su completo desarrollo de siembra a cosecha. El análisis climatológico corresponde al periodo 1981 a 2010 (SIAP, 2019).

Goyzueta (2019), realiza la ZEC para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro, con el objetivo de identificar las variables edafoclimáticas influyentes y dependientes en la fisiología del cultivo de quinua, zonificar las potencialidades y limitaciones edáficas y climáticas, y modelar las unidades integrales de tierras óptimas para el cultivo de quinua. De los resultados se establece que: la materia orgánica es una variable edafológica de alta dependencia e influencia en los rendimientos de quinua, el cultivo se adapta en la microzona de vida Suni Alta, que abarca altitudes entre 3875 a 4000 msnm. Define la aptitud edafoclimática óptima en función de las variables: pendiente, materia orgánica, textura, pH, temperatura y precipitación.

Andrade (2019) por su parte, identifica áreas aptas para la agricultura de temporal con maíz y frijol en la Cuenca de Autlán, Jalisco. Para delimitar superficies idóneas en la zona de estudio, emplea la metodología multicriterio (Proceso Analítico Jerárquico) y los SIG utilizando como fuente principal la información procedente de las encuestas semi-estructuradas. Los parámetros obtenidos reúnen las condiciones ideales de suelo y clima para el desarrollo del maíz y frijol en superficies con actividad agrícola de temporal; identificando áreas aptas en el 38.08% de la superficie total de la cuenca. Para el 14.23% se sugiere implementar una agricultura efectuando prácticas de conservación de suelo y agua tomando en cuenta la existencia en el incremento de la pendiente del terreno y presencia de suelos poco profundos.

En Perú, se realizan varios estudios de zonificación, uno de ellos es el estudio de ZAE para los principales cultivos del distrito de Quishuar- Huancavelica cebada (*Hordeum vulgare*), maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticumaestivum*) y papa (*Solanum tuberosum*) a través de su caracterización ambiental. Los resultados evidencian cuatro zonas de aptitud

agroecológica para los cultivos en el distrito clasificados de menor a mayor de baja adaptación a muy buena adaptación. Se encontró en mayor proporción áreas con regular a buena adaptación debido a limitaciones edafológicas (Fernández y Huamani, 2021)

Otro trabajo desarrollado en Perú es el propuesto por Díaz et al. (2020) donde se realiza un análisis del estado promedio de los principales elementos del clima (temperatura del aire y precipitación) e índices agroclimáticos relacionados a estas variables durante la campaña agrícola de los principales cultivos. También, contempla las zonas con mayor o menor aptitud agroclimática para la producción del cultivo de café en las provincias de Jaén y San Ignacio.

Ramírez (2019) realiza la ZEC del cultivo de alfalfa en la subcuenca del río Cachi, región Ayacucho donde fundamenta la determinación de la ZEC del cultivo de alfalfa, empleando como base el SIG e imagen satelital, donde se consideran los requerimientos de la alfalfa, con el propósito de obtener zonas óptimas. La metodología evalúa la aptitud de la subcuenca, basadas en las disponibilidades climáticas y edáficas; en los requerimientos del cultivo de la alfalfa. Se emplea los datos de 16 estaciones meteorológicas para analizar la precipitación media anual y mensual, y la temperatura media anual y mensual, máxima y mínima mensual, así como los parámetros del suelo: textura, profundidad efectiva, materia orgánica, obteniendo como resultado zonas óptimas para el cultivo de Alfalfa.

En Ecuador, Guerrero (2020) desarrolla en su tesis de grado un geoportal para realizar una zonificación agrícola utilizando un SIG en el Cantón Latacunga estableciendo los sectores priorizados de los principales cultivos del cantón, determinando su localización, los cultivos que producen, las condiciones edafoclimáticas que poseen. La información para realizar el trabajo se la obtuvo mediante metadatos del instituto MAGAP-SIGTIERRAS.

En el Salvador, se realiza la ZAC de los cultivos de fresa (*fragaria chiloensis* L.), lechuga (*lactuca sativa* L.) y repollo (*brassica oleracea var. capitata* L.) en el departamento de Chalatenango para delimitar zonas aptas potenciales o favorables para dichos cultivos. Las variables analizadas son: la precipitación, temperatura, brillo solar, pendiente, altitud y textura, se aplica el método de evaluación MultiCriterio, utilizando tres criterios: no

aceptable, aceptable y favorable. Utilizando los SIG se logra elaborar mapas de zonificación agroclimática por cultivo, permitiendo definir las áreas favorables para el establecimiento y desarrollo de los cultivos, de todo el departamento de Chalatenango, siendo 607 ha las áreas favorables de lechuga, 829 ha de fresa y 1,319 ha de repollo (Zavaleta, 2019).

Inzunza et al. (2006), presentan un estudio de ZAE del cultivo del frijol *Phaseolus vulgaris* L. Los resultados indican que existen superficies con condiciones de clima y suelo para otras leguminosas excepto para el cultivo del frijol, donde el clima fue el factor limitante.

Particularmente en Cuba, los trabajos más cercanos a la zonificación agroecológica del frijol, fueron los desarrollados por Hernández et al. (2019); Pérez e Hidalgo (2016); Suarez (2014); Suárez (2013); Soto *et al.* (2002 y 2007)

Hernández et al. (2019) lleva a cabo un estudio sobre la integración de la variable temperatura media, el suelo y la disponibilidad de agua mediante la elaboración de mapas temáticos durante el período 2016-2018, se confeccionan mapas mediante SIG ArcGIS. Además, se desarrolla un análisis documental para fundamentar las exigencias edafoclimáticas de los cultivos, se establece un umbral óptimo de desarrollo, basado en la temperatura media, el suelo y la disponibilidad de agua subterránea y se confeccionan un conjunto de mapas de idoneidad para 11 cultivos de importancia económica, de gran peso en la seguridad alimentaria local y nacional.

Pérez e Hidalgo (2016), realizan la regionalización climática de la provincia de Holguín sobre la base de la Norma climática 1981-2010. Se utilizan las variables temperatura y precipitación correspondientes a las estaciones meteorológicas y pluviométricas seleccionadas. El estudio permite identificar tres zonas climáticas en la provincia: Zona costera, zona montañosa y zona interior.

Por su parte, Suarez (2014) realiza apuntes sobre la ZAE de los cultivos con el objetivo de reseñar los principales aspectos de la ZAE de los cultivos y sus particularidades en Cuba. Este trabajo constituye una herramienta de consulta para técnicos, decisores y productores como fuente de información para garantizar una planificación y uso más racional de sus tierras. Se exponen las principales definiciones sobre la zonificación agroecológica. Se sintetiza la historia y el origen del tema a nivel internacional, con las

principales motivaciones que hicieron posible el surgimiento y aplicación de estos estudios.

Suarez (2013), realiza ZEC de *Theobroma cacao* L. en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa, con el objetivo de identificar zonas edafoclimáticas que respondan a los requerimientos del cacao, en función de alcanzar un mayor rendimiento en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa.

Soto et al. (2007) realizan la ZAE de la cordillera de Guaniguanico. Se utiliza la información de ocho estaciones meteorológicas y 62 pluviómetros de la red del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos para llevar a cabo la zonificación climática. Este trabajo demuestra que la metodología utilizada, donde se consideran como elementos discriminantes la lluvia unida a la temperatura, los agrupamientos de suelos y su profundidad efectiva resultan adecuados para la zonificación agroecológica de los diferentes cultivos analizados.

Soto et al. (2002), al aplicar la metodología para la ZAE para el *Coffea arabica* L. en Cuba permite determinar aquellos factores ecológicos que tienen mayor incidencia en el cultivo para alcanzar los mayores rendimientos. Los factores que se consideran son: las precipitaciones, la temperatura y los suelos, considerándose también la altura sobre el nivel del mar. Mediante la utilización de SIG se clasifica el macizo en cuatro zonas: óptima, medianamente óptima, aceptable y no apta.

En la provincia Cienfuegos se presenta el estudio realizado por Rodríguez et al., (2015) muestra los resultados de un estudio conducido durante cinco años (2006-2010) con el objetivo de determinar zonas agroecológicas del mango *Manguifera indica* L. en la Unidad de Frutales de Cienfuegos, en aras de optimizar el proceso productivo del cultivo y hacer un uso más eficiente con la interacción genotipo-ambiente.

## CAPITULO 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1 Caracterización de la zona de estudio

#### 2.1.1 Ubicación geográfica de la provincia de Cienfuegos

Esta provincia se ubica en el centro sur de Cuba, entre las coordenadas 21°50´ y los 22°30´ de latitud norte y los 80°06´ y los 80° 55´ de longitud oeste (Figura 1). Está dividida en ocho municipios y cuenta con una extensión territorial de 4 188,61km<sup>2</sup>, que representa aproximadamente el 4.0% de la superficie total del país (ONEI, 2020).



**Figura 1.** Mapa de ubicación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia

#### 2.1.2 Suelos

Los *tipos de suelos* más representativos de la provincia son los Pardos con Carbonatos con 91 460,6 ha (21.2%), Pardos sin Carbonatos abarcando 64 245,5 ha (14.9%), Ferralítico Rojo Lixiviado que ocupan 49 689,13 ha (11.5%) y Fersialítico Pardo Rojizo con 48 596,5 ha (11.3%). Los demás tipos de suelos representan el 55.7 % del territorio. Las *clases texturales del suelo* predominantes en la provincia son: Arcilla, con un área de 89 841,7 ha, seguida de Loam Arenoso con 69 141,73 ha y Arcilla Loamosa con 68 377,24 ha.

En cuanto a la *profundidad efectiva* la mayor cantidad de hectáreas corresponden a suelos poco profundos con 192 560,54 ha y muy poco profundos con 153 359,83 ha. La mayor cantidad de hectáreas de los suelos de la provincia poseen un drenaje bueno (306 418,46 ha) y moderado (66 887,49 ha). Los suelos con buen drenaje se encuentran en mayor proporción en los municipios de Cumanayagua, Cruces, Cienfuegos, Rodas.

Las *pendientes* que más abundan en la provincia se encuentran en el rango de 1.1 - 2.0% (casi llano) con un área total de 132 357,17 ha y 0,5 – 1,0% (llano) con un área total de 81 811,95 ha, mientras que las áreas más pequeñas son de 45,1- 60% (muy fuertemente alomado) con 10 301,9 ha. En el Anexo 3 se muestra las características de los suelos de la provincia de Cienfuegos, así como los mapas de cada una de las variables analizadas.

### 2.3 Actividad agrícola

En la actividad agrícola de la provincia se destacan la caña de azúcar, los cultivos varios (papa, arroz, café, tabaco, frijol y maíz), los frutales y el ganado los cuales en conjunto ocupan en buena medida la mayor parte del área de la provincia (Tabla 1). El frijol constituye uno de los cinco cultivos priorizados en la provincia. Su cultivo se potencia y protege en los polos productivos del territorio por parte de la Delegación provincial del Ministerio de la Agricultura.

**Tabla 1.** Distribución del uso de la tierra en la provincia Cienfuegos.

<b>Superficie</b>	<b>Mha</b>	<b>%</b>
<b>Agrícola</b>	<b>290,4</b>	69,3
Cultivos Temporales	44,2	10,6
Cultivos Permanentes	90,2	21,5
Ganadería	156,0	37,2
<b>No Agrícola</b>	<b>128,5</b>	30,7
Forestal	88,3	21,1
No apta	40,2	9,6
<b>Total</b>	<b>418,9</b>	

*Fuente: ONEI, 2021*

La Tabla 2 refiere la superficie cosechada y en producción, la producción y el rendimiento agrícola del cultivo del frijol de la agricultura no cañera.

**Tabla 2.** Superficie cosechada y en producción, la producción y el rendimiento agrícola del cultivo del frijol de la agricultura no cañera.

<b>Años</b>	<b>Superficie cosechada y en producción para el cultivo del frijol de</b>	<b>Producción agrícola para el cultivo del frijol de</b>	<b>Rendimiento agrícola para el cultivo del frijol de la</b>

	la agricultura no cañera (ha)	la agricultura no cañera (T)	agricultura no cañera (kg/ha)
2010	2 743	1 700,9	620,18
2011	3 700	3 163,1	854,96
2012	3 375	3 776,7	1 118,92
2013	4 351	4 325,6	994,19
2014	4 980	5 817,4	1 168,11
2015	9 001	21 076,4	2 341,59
2016	5 939	8 713,3	1 467,05
2017	6 029	7 396,6	1 226,85
2018	5 120	18 261	3 566,70
2019	5 861	6 739,1	1 149,77
2020	4 556	606,6	133,15

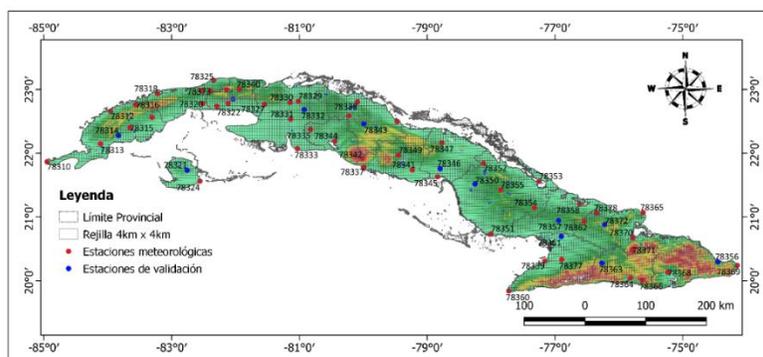
Fuente: ONEI, 2016 y 2021.

## 2.2 Base de datos

### Clima:

Se trabajó con información climática histórica de la Red Nacional del Instituto de Meteorología que cubre a todo el país para la temperatura y con la Red Nacional de Recursos Hidráulicos para la precipitación. Ambas variables fueron analizadas en el periodo 1991-2020 (30 años) como establece la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

**Temperatura del aire:** debido a que en la provincia solamente existen dos estaciones meteorológicas (Cienfuegos y Aguada de Pasajeros) esto dificulta el análisis espacial y temporal de dicha variable, por lo que para el análisis del comportamiento espacial de las temperaturas en la provincia se emplearon 62 estaciones meteorológicas pertenecientes a la red de estaciones del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET). Se empleó para los mapas de temperatura del aire (media, máxima y mínima) en el periodo agrícola la rejilla de 4 x 4 km empleada en el Sistema Nacional de Vigilancia de la Sequía Meteorológica (Centella et al., 2007) que divide en 7 626 puntos de rejillas a todo el país (Figura 2). En el Anexo 4 se muestra los datos generales de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.



**Figura 2.** *Rejilla empleada para la interpolación de la temperatura y estaciones meteorológicas utilizadas en la modelación espacial y validación.*

*Fuente de datos: INSMET, Centella et al., 2007 y ASTER Global DEM (ASTER GDEM).*

La base de datos estaciones meteorológicas se creó procesando la información de cada estación, obteniéndose la temperatura media, mínima y máxima mensual y el promedio para el periodo agrícola del cultivo.

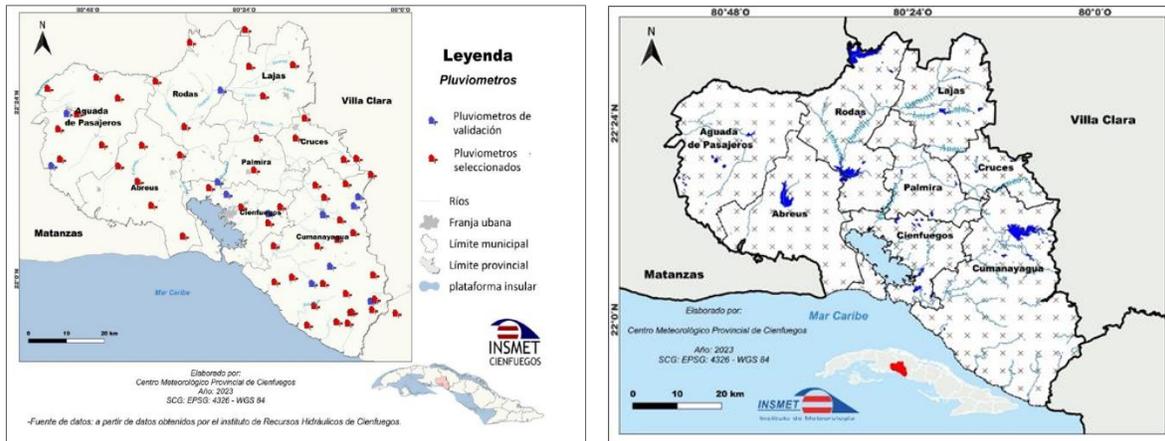
Para el análisis temporal de la temperatura del aire se utilizó la información de 7 estaciones meteorológicas situadas dentro y cercanas al territorio de estudio (78326 -- Santo Domingo, 78333 -- Girón, 78335 -- Aguada de Pasajeros, 78337 -- Trinidad, 78342 -- Tope de Collante, 78343 -- Yabú, y 78344 -- Cienfuegos) y se emplearon los siguientes datos climáticos:

- temperatura seca trihoraria (°C)
- temperatura mínima diaria (°C)
- temperatura máxima diaria (°C)

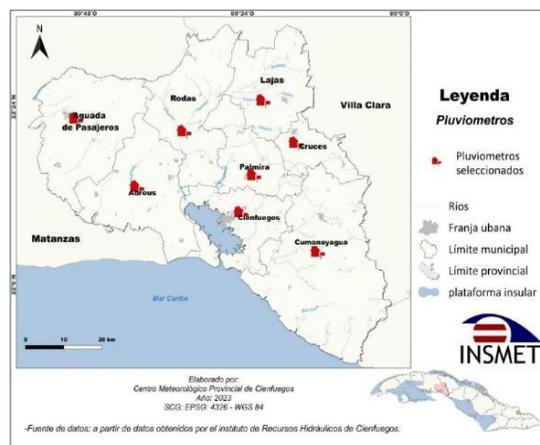
**Precipitaciones:** Para el análisis del comportamiento espacial de las precipitaciones acumuladas en la provincia se emplearon los datos de 62 pluviómetros y de 4 estaciones meteorológicas del país (Figura 3 - izquierda). Se empleó para el mapa de precipitación acumulada del período agrícola la rejilla de 4x4 km la provincia de Cienfuegos que la divide en 280 puntos (Figura 3 – derecha). En el Anexo 5 se muestra los datos generales de las estaciones pluviométricas y meteorológicas utilizadas en el estudio. Esta información fue validada según la metodología establecida por el INSMET.

La base de datos pluviométricos se creó procesando la información de cada equipo, obteniéndose la lluvia media mensual y el acumulado para el periodo agrícola del cultivo. Para confeccionar los gráficos decadales se seleccionaron 8 pluviómetros que fueran representativos en cada municipio de forma que cubrieran la provincia (P<sub>1</sub> 78335 –

Aguada de Pasajeros, P<sub>2</sub> 89 – Cienfuegos, P<sub>3</sub> 669 Cumanayagua, P<sub>4</sub> 105 – Palmira, P<sub>5</sub> 183 – Cruces, P<sub>6</sub> 935 – Lajas, P<sub>7</sub> 653 – Rodas y P<sub>8</sub> 562 – Abreus), con los cuales se calcularon los valores decadales de la precipitación para el histórico 1991 al 2020 para el periodo agrícola del frijol (Figura 4).



**Figura 3.** Mapa de localización de las estaciones pluviométricas y meteorológicas utilizadas en el estudio espacial (Izquierda) y Rejilla empleada para la interpolación de la precipitación (derecha). Fuente de datos: INSMET, Centella et al., 2007



**Figura 4.** Mapa de localización de los pluviómetros seleccionados para el análisis decadal. Fuente: elaboración propia.

## Suelos

Para el levantamiento cartográfico del recurso suelo en la provincia de Cienfuegos se utilizó la información aportada por el Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Delegación Provincial de la Agricultura. Esta información se encontraba soportada sobre Mapinfo en formato TAB a escala 1:25 000 por lo que fue necesario convertirla a formato

shape para ser utilizada en el SIG Quantum GIS 3.28.1.

Se reelaboraron los mapas de textura, profundidad efectiva, drenaje, pendiente y altitud. Estos mapas delimitan las características predominantes del suelo en la provincia Cienfuegos.

### **Cultivo**

Mediante la recopilación, consolidación bibliográfica (publicaciones, trabajos de investigación, instructivos y manuales técnicos) y entrevistas con técnicos y especialistas (del Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal, del Departamento de Suelo y Fertilizantes de la Delegación Provincial del Ministerio de la Agricultura y la Empresa Nacional de Proyectos Agropecuarios (ENPA)) se determinaron los requerimientos edafoclimáticos y fisiográficos del cultivo del frijol, así como las fases fenológicas y el calendario agrícola del cultivo del frijol.

#### **Softwares utilizados:**

- Microsoft Excel 2013                    - SIG Quantum GIS 3.28.1    - Rstudio

### **2.3 Procedimiento metodológico**

Se tomó como referencia la metodología de la ZAE propuesta por la FAO (1977), para ubicar zonas con aptitud óptima para el cultivo del frijol en Cienfuegos, acorde con el clima actual y las características de los suelos, y modificaciones con base a la información disponible. Esta metodología ha sido utilizada por Fernández y Huamani (2021), Suárez (2014), Suárez (2013), Inzunza et al. (2006), Soto et al. (2007), Soto et al. (2001) y consta de dos etapas, teniendo como variables limitantes el suelo, el clima y el territorio.

#### **Etapas 1: Caracterización edafoclimática de la provincia Cienfuegos en función del cultivo del frijol.**

Esta fase se dividió en tres fases:

##### ***Fase 1: Determinación de los requerimientos edafoclimáticos del cultivo.***

Se describieron los requerimientos climáticos (temperatura y precipitación) y los parámetros edafológicos: textura, profundidad efectiva, drenaje, pendiente y altitud necesarios para su crecimiento óptimo.

**Fenología:** Se describieron las etapas fenológicas de desarrollo del frijol.

**Calendario agrícola:** Se describieron las fechas tempranas, óptimas y tardías para la siembra del frijol. Así como el período de duración del cultivo. Esta información fue vital para la elaboración de los gráficos decadales de las variables climáticas.

***Fase 2: Caracterización climática.***

Se realizó el estudio de las características del clima (temperatura y precipitación) para el período agrícola.

***Confección de las series climáticas mensuales:*** Se utilizó el Microsoft Office Excel 2013 para procesar la base de datos del Centro Nacional del Clima del Instituto de Meteorología de Cuba (CNC) a través de las tablas dinámicas para determinar: promedio mensual, anual y media para el periodo seco y lluvioso de la temperatura, así como promedio mensual y acumulado anual, acumulado para el periodo seco y lluvioso de la precipitación.

***Generación de mapas:*** La cartografía de la temperatura del aire (media, mínima y máxima) se realizó con los valores medios del periodo agrícola del período normal 1991-2020, por cada estación meteorológica. Se aplicó una combinación de técnicas estadísticas de regresión lineal entre la variable meteorológica (temperatura del aire) y variables geográficas (longitud, latitud, altitud y distancia a la costa); y técnicas geoestadísticas para la interpolación de los resultados. Con esta metodología se calculó el valor de la temperatura del aire en los 7 626 puntos de rejilla del país para el periodo agrícola del frijol, basándose en las principales variables geográficas susceptibles de influir en su comportamiento y de los cuales se contaba con información en formato de SIG.

La cartografía de la precipitación se realizó con los valores acumulados para el periodo agrícola del período normal 1991-2020, por cada estación pluviométrica y meteorológica empleada. Se procedió de la misma forma que con la temperatura, calculando así el valor de la precipitación en los 280 puntos de rejilla de la provincia de Cienfuegos, basándose en las principales variables geográficas susceptibles de influir en su comportamiento y de los cuales se contaba con información en formato de SIG.

La metodología de modelización espacial aplicada en esta investigación ha sido utilizada por Ninyerola et al. (2005), Fernández (2008), Castillo y Barcia (2015), Millán y Lallana

(2017) y Barcia et al. (2023) y constó de los siguientes pasos:

- 1) Cálculo de las ecuaciones de regresión lineal múltiple entre las variables (temperatura y precipitación) y las variables geográficas.
- 2) Obtención de residuos y corrección de errores.
- 3) Validación cruzada y estimación del error de interpolación.

Tanto para la temperatura como la precipitación se utilizó el software estadístico Rstudio que permitió realizar la interpolación en todos los puntos de rejilla y confeccionar los mapas raster. Este software facilitó el trabajo con las bases de datos.

**Confección de las series climáticas decadales:** Para la temperatura promedio decadal del aire (media, máxima y mínima) se utilizaron los datos diarios de las 7 estaciones meteorológicas seleccionadas con los cuales se le calcularon los valores decadales para el período agrícola.

Para el caso de la precipitación se trabajó con los 8 pluviómetros seleccionados con los cuales se le calcularon los valores decadales para el período agrícola.

**Generación de gráficos:** Se confeccionaron gráficos de temperatura del aire y precipitación media por cada estación seleccionada. Estos gráficos obtenidos representaron el comportamiento temporal de los parámetros climáticos para el periodo agrícola del frijol.

Se analizaron como las condiciones climáticas promedio por decenas, temperatura del aire (máxima, mínima y media) y precipitación mensual influyen sobre el desarrollo y crecimiento del cultivo del frijol durante el período agrícola.

### **Fase 3: Caracterización edafológica.**

Se analizaron los tipos de suelos, así como cada uno de los requerimientos edafológicos: textura, drenaje, profundidad efectiva, pendiente y altitud que cumplieran la condición de aptos, moderadamente aptos y no aptos para el cultivo del frijol.

### **Etapas 2: Zonificación edafoclimática de la provincia para el cultivo del frijol**

Para la zonificación edafoclimática para el cultivo se siguieron los siguientes pasos:

1. Determinación de los criterios para agrupar las variables climáticas y edafológicas.

Para la agrupación se utilizaron los criterios por número y el calificativo (Gómez y Barredo, 2005) los cuales fueron:

- Aptos (1): son aquellas zonas con características que cumplen con las exigencias para el buen desarrollo del cultivo seleccionado.
- Moderadamente aptos (2): son aquellas zonas con características que pueden, con limitaciones o restricciones ser adecuadas o apropiadas para el desarrollo del cultivo seleccionado.
- No aptos (3): son aquellas zonas con características que no cumplen con los requerimientos del cultivo seleccionado.

## 2. Elaboración de los mapas de zonificación climática, edáfica y topográfica.

Utilizando los mapas raster de las variables climáticas (temperatura y precipitación) y edafológicas (textura, drenaje, profundidad efectiva, pendiente y altitud) en estudio para el periodo de cultivo y los criterios utilizados de agrupamiento de dichas variables se confeccionaron los mapas siguientes: mapa de zonificación climática; mapa de zonificación edáfica y mapa de zonificación topográfica.

La integración de los mapas fue realizada mediante la herramienta unión utilizando el SIG QGIS 3.28.1. Esta herramienta crea nuevas coberturas mediante la superposición de dos coberturas de polígonos.

La primera combinación (temperatura y precipitación) generó el mapa de zonificación climática. La segunda combinación (textura, drenaje y profundidad efectiva) generó el mapa edáfico. La tercera combinación (pendiente y altitud) generó el mapa topográfico. En todos los casos se realizó un ajuste ponderativo de variables tomando en cuenta el grado de incidencia de cada variable. Se generan los valores según porcentajes de importancia (Zambrano, 2018) desde el valor mínimo hasta el valor máximo (Tabla 3).

**Tabla 3.** Factor ponderativo de variables. Fuente: Elaboración propia

Zonificación climática		Zonificación edáfica		Zonificación topográficas	
Variable	Peso específico	Variable	Peso específico	Variable	Peso específico
Temperatura	40	Profundidad efectiva	40	Pendiente	50
Precipitación	60	Drenaje	30	Altitud	50

		Textura	30		
--	--	---------	----	--	--

### 3. Elaboración del mapa de zonificación edafoclimática

El mapa de zonificación edafoclimática permite la identificación de áreas potenciales donde los cultivos satisfacen sus requerimientos climáticos, edáficos y aspectos relacionados a las características del territorio. Para elaborar este mapa se combinan los mapas de zonificación climática, edáfica y topográfica. Se utilizaron los pesos específicos que se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Factor ponderativo de las variables para la zonificación edafoclimática. Fuente: *Elaboración propia*

<b>Zonificación edafoclimática</b>	
<b>Variable</b>	<b>Peso específico</b>
Climáticas	40
Edáficas	30
Topográficas	30

En el Anexo 6 se muestra el flujo del proceso de zonificación edafoclimática del frijol por componentes independientes en la zona de estudio.

## CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSION

### 3.1 Caracterización edafoclimática de la provincia Cienfuegos en función del cultivo del frijol común *Phaseolus vulgaris* L.

#### Caracterización del cultivo:

##### - **Requerimientos climáticos:**

**Temperatura:** los umbrales térmicos del frijol se encuentran entre 10 °C y 35 °C. Según Icaza (1971); Ávila et al. (2014) y Aceves et al. (2008) el rango óptimo para el desarrollo del cultivo se encuentra entre los 18 - 25 °C. Temperaturas por debajo de 10 °C o por encima de 35 °C podrían considerarse no aptas para el cultivo del frijol común. Según Hernández, (2009) temperaturas extremas provocan el vaneo del frijol, al afectar la viabilidad del polen, aborto de las flores y vainas, reducción del tamaño de la semilla. En Cuba se considera a las temperaturas altas como una causa limitante de la producción en verano (Aquino, 1988).

**Precipitación:** tiene un rango de precipitación que va desde los 600 hasta 1200 mm anuales, sin embargo, un rango óptimo de precipitación para el cultivo del frijol común podría situarse entre 800 mm y 1000 mm anuales. Estas cifras proporcionan un suministro adecuado de agua para satisfacer las necesidades del cultivo durante su ciclo de crecimiento. Precipitaciones anuales por debajo de 600 mm el cultivo puede enfrentar estrés hídrico significativo, lo que podría afectar negativamente el rendimiento del frijol común, de forma contraria más de 1200 mm anuales podría provocar grandes pérdidas por exceso de humedad. Esta es una especie que presenta susceptibilidad al exceso de humedad en el suelo. Hernández (2009) refiere que este cultivo requiere entre 300 y 400 mm de agua según la duración de su ciclo vegetativo. Las plantas de frijol consumen la mayor cantidad de agua en las etapas de floración y llenado de vainas, siendo en estas etapas más sensibles al déficit de agua, afectándose seriamente los rendimientos.

##### - **Requerimientos edafológicos:**

El suelo es esencial para el café porque le facilita el anclaje y le proporciona el agua y los nutrimentos necesarios para su crecimiento, desarrollo y producción. La textura del suelo, la profundidad efectiva y el drenaje son las propiedades físicas más determinantes para el cultivo del frijol (Faure et al., 2015).

**Textura:** La textura ideal para el cultivo del frijol es una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla, conocida como suelo franco, los que poseen una textura media. En suelos arcillosos (suelos con textura ligera) la preparación del suelo es más difícil además que son suelos que retienen mucha humedad lo que limitaría de oxígeno al sistema radicular, además que hay que recordar que el frijol no posee un buen sistema radicular en contraparte los suelos gravosos o arenosos (suelos gruesos) son suelos poco fértiles con baja retención de humedad lo que produciría una planta con bajo potencia (Ávila et al., 2014; Jara, 2021).

**Profundidad efectiva:** el frijol tiene raíces relativamente profundas, por lo que necesita suelos con buena profundidad para permitir el desarrollo adecuado de sus raíces y la absorción de nutrientes. Requiere de un mínimo de 60 cm de profundidad del suelo (Ruíz et al. 1994), y suelos profundos (Benacchio, 1982 y Guerra et al. 2021). La absorción de agua se produce en los primeros 50 o 70 cm de profundidad (Doorenbos y Kassam, 1979).

**Drenaje:** Según Faure et al. (2015) el frijol requiere suelos aireados y con buen drenaje ya que estos permiten un adecuado drenaje del agua evitando el encharcamiento y la acumulación excesiva de humedad que podría afectar el desarrollo de las raíces del cultivo. Los suelos con drenaje moderado no poseen un drenaje óptimo, pero aun permiten el flujo adecuado de agua, lo cual puede ser manejado con prácticas de manejo del agua.

**Pendiente:** el cultivo del frijol requiere suelos con pendiente suave entre 0 - 2%. Suelos con pendiente mayor de 4% son considerados no aptos, lo cual concuerda con lo planteado por (Faure et al. 2015), dado que son propensos a la erosión y a la pérdida de nutrientes, lo que dificulta el desarrollo y crecimiento de la planta de frijol, además los rendimientos son bajos debido al lavado de los nutrientes por escorrentía causada por el agua de lluvia, y las labores de campo se dificultan por lo que son considerados no aptos (García et al., 2009).

**Altitud:** el frijol se cultiva con buenos resultados en una altura de 0-700 metros, por lo que se recomienda su siembra en las zonas costeras (Escoto, 2004).

La Tabla 5 resume los requerimientos climáticos y edafológicos para el cultivo del frijol.

**Tabla 5.** Requerimientos climáticos y edafológicos del cultivo del frijol. Fuente: Elaboración propia

Requerimientos Agroclimáticos			
	Óptima	Moderado	No apto
Temperatura (°C)	18 – 25	11-17; 26-35	<10; >35
Precipitación (mm)	800 – 1000	600-799; 1001-1500	<600; >1500
Requerimientos edáficos			
Textura	Arcilla loamosa, Loam arcilloso	Arcilla montmorillonítica, Arcilla coalinítica, Arcilla	Loam arcilloso arenoso, Loam arenoso, Arcilla arenoso, Arena Arcillosa, Arena
Profundidad efectiva (cm)	profundos (91-120 cm) muy profundos (>120 cm)	Medianamente profundos (51 – 90 cm)	Poco profundos (25-50 cm) Muy poco profundos (<25 cm)
Drenaje	Bueno	Moderado	Moderadamente lento y deficiente
Requerimientos fisiográficos			
Pendiente (%)	Muy llano (0 – 0.4%), Llano (0.5 – 1.0%), Casi llano (1.1 – 2.0%)	Ligeramente ondulado (2.1 – 4.0%),	Ondulado (4.1 – 8.0%), Fuertemente ondulado (8.1 – 16%), Alomado (16.1 – 30.0%), Fuertemente alomado (30.1 - 45.0%) Muy fuertemente alomado (45.1 – 60.0%). Extremadamente alomado (>60%)
Altitud (msnm)	0 – 700		> 700

Según Faure et al. (2015) las etapas de desarrollo de la planta de frijol común están basadas en su morfología y los cambios fisiológicos que se suceden durante su desarrollo, esta escala permite referir las observaciones y prácticas de manejo de sitios diferentes y compararlos entre sí (Tabla 6).

**Tabla 6.** Etapas de desarrollo del frijol común. Fuente: Faure et al. (2015)

Fase	Etapa		Identificación del inicio de cada etapa
	Código	Nombre	
Vegetativa	V0	Germinación	La semilla está en condiciones favorables para iniciar la germinación.

	V1	Emergencia	Los cotiledones del 50% de las plantas aparecen al nivel del suelos
	V2	Hojas primarias	Las hojas primarias del 50% de las plantas están desplegadas.
	V3	Primera hoja trifoliada	La primera hoja trifoliada del 50% de las plantas está desplegada.
	V4	Tercera hoja trifoliada	La tercera hoja trifoliada del 50% de las plantas está desplegada.
<b>Reproductiva</b>	R5	Prefloración	Los primeros botones o racimos han aparecido en el 50% de las plantas.
	R6	Floración	Se ha abierto la primera flor en el 50% de las plantas.
	R7	Formación de vainas	Al marchitarse la corola, en el 50% de las plantas aparece por lo menos una vaina.
	R8	Llenado de vainas	Llenado de semillas en la primera vaina en el 50% de las plantas.
	R9	Maduración	Cambio de color en por lo menos una vaina en el 50% de las plantas (del verde al amarillo uniforme o pigmentado).

### **Calendario agrícola**

#### **Época de siembra:**

Según Faure et al. (2015) la época de siembra más adecuada del frijol es aquella en que además de ofrecer las condiciones climáticas para un buen desarrollo del cultivo permite que la cosecha coincida con el periodo de baja o ninguna precipitación para evitar daños en el grano por excesiva humedad.

El periodo de siembra del frijol en Cuba es desde 1 de septiembre al 30 de enero, considerándose como siembra temprana desde el 1 de septiembre al 15 de octubre para áreas sin riego, fecha óptima entre el 15 de octubre al 30 de noviembre y tardía a partir del 1 de diciembre hasta el 30 de enero para aquellos que disponen de regadíos (Anexo 7).

El ciclo de vida del frijol común considerado fue de 120 días de siembra a cosecha en dependencia de la variedad que se siembre. Para el análisis se consideraron los meses de septiembre a mayo.

## Caracterización climática:

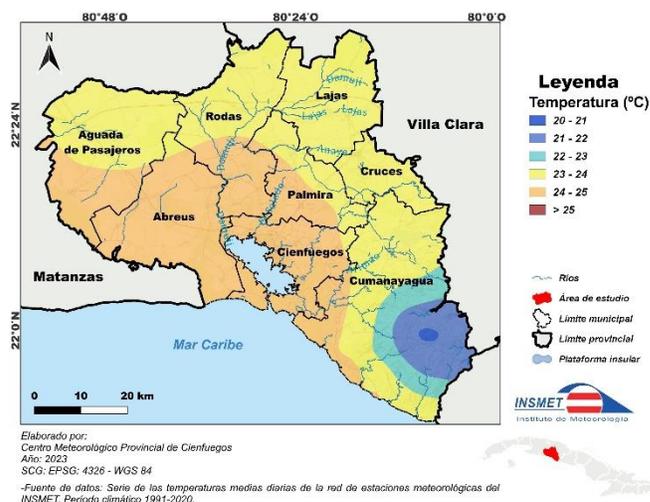
### *Efecto de la Temperatura del aire sobre el cultivo del frijol*

En Cuba aún no se ha realizado una caracterización climática atendiendo a los requerimientos del frijol, en función de evaluar las zonas con potencialidades para su desarrollo. Sin embargo, Ravelo y Planchuelo (2003), alertaron sobre la importancia del tema; ya que permite encontrar el nicho ecológico más apropiado para el cultivo, y una utilización más racional de los recursos naturales.

### *Distribución espacial:*

La provincia presentó una temperatura media para el periodo agrícola del cultivo del frijol en el período 1991-2020 entre 18 - 25 °C, con un promedio mensual de 24.2 °C. Las variaciones espaciales más notables en el campo térmico en la provincia están asociadas a la zonalidad altitudinal y la distancia a la costa (Figura 5). Los mayores valores (24-25 °C) se observaron hacia el sur de la provincia, mientras que en las zonas premontañosas y montañosas la temperatura media se registró por debajo de los 23 °C. Por tanto, el comportamiento de esta variable climática, suple las exigencias del cultivo, pues el mismo requiere de una temperatura promedio mensual óptima entre 18 - 25 °C.

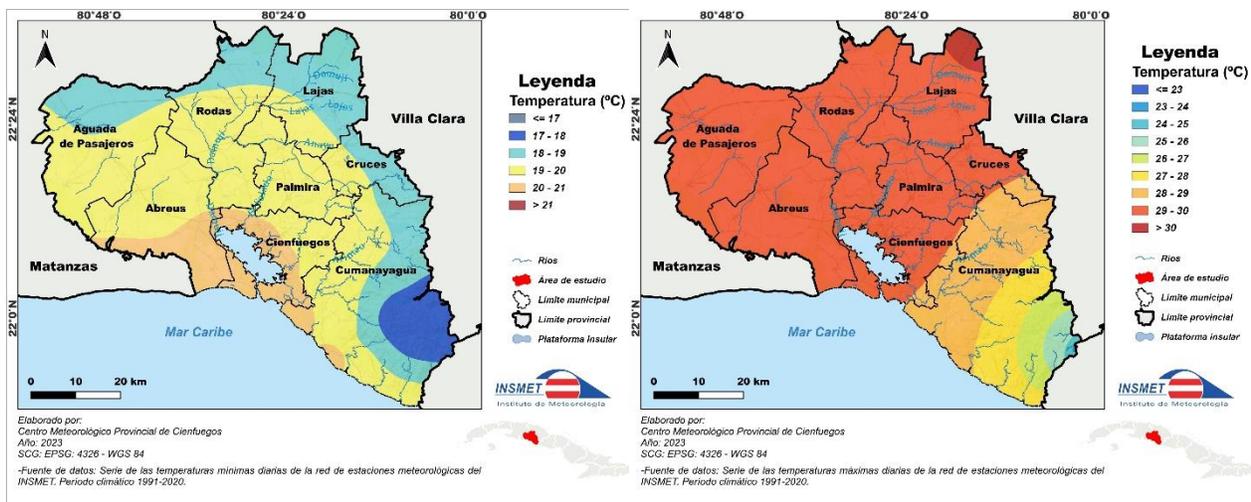
Al respecto, Icaza (1971); Ávila et al. (2014) y Aceves et al. (2008) informan que el rango general de temperatura promedio mensual para el cultivo oscila entre 18 - 25 °C, lo que coincide con el comportamiento de esta variable en la región objeto de estudio.



**Figura 5.** Distribución espacial de la temperatura media para el periodo agrícola del cultivo del frijol en la provincia Cienfuegos. Período 1991-2020. Fuente: Elaboración propia

Las temperaturas mínimas medias promedios para el periodo agrícola, muestran las áreas de valores mínimos más representativas asociadas a la zona montañosa con valores entre 17 - 18 °C y hacia el interior de la provincia los valores oscilaron entre 19 - 20 °C (Figura 6 - izquierda).

Por su parte, las temperaturas máximas medias para el período agrícola del cultivo del frijol tiene sus principales áreas de máximos hacia la llanura interior y costera (29 - 30 °C ), mientras que las áreas de mínimos valores de esta variable se ubican en las zonas más elevadas de la zona montañosa del territorio donde son inferiores a los 26 °C (Figura 6 - derecha).



**Figura 6. Distribución espacial de la temperatura mínima (izquierda) y temperatura máxima (derecha) para el periodo agrícola del cultivo del frijol en la provincia Cienfuegos. Período 1991-2020. Fuente: Elaboración propia**

En sentido general, las temperaturas en la provincia se mantienen dentro del rango óptimo para el cultivo del frijol y facilitan los procesos fisiológicos del cultivo tales como, la floración, fructificación y crecimiento del tallo. Sobre este aspecto, Icaza (1971) y Ávila et al. (2014) coinciden en informar que estos valores de temperatura son óptimos para asegurar un crecimiento regular del cultivo, con abundante formación de vainas, así como una maduración adecuada de las mismas, lo que permite obtener buenos rendimientos.

#### Distribución temporal:

La Tabla 7 muestra el comportamiento de las temperaturas promedio decadal durante la campaña agrícola del frijol para las estaciones seleccionadas.

**Tabla 7.** Comportamiento de las temperaturas promedio decadal durante la campaña agrícola para las 7 estaciones meteorológicas seleccionadas. Periodo 1991 – 2020.

ESTACION	Tmax med (°C)		T med (°C)		Cumplimiento rango óptimo de Tmed (18-25 C)		T min med (°C)	
	Min	Max	Min	Max	Dec inic/mes	Dec fin/mes	Min	Max
78326	27.4	33.2	21.0	26.7	III/octubre	III/abril	14.9	22.2
78333	27.1	31.7	21.8	27.1	I/noviembre	II/abril	16.7	22.9
78335	28.1	33.0	21.1	26.6	III/octubre	II/abril	15.3	22.4
78337	27.0	31.3	21.1	25.1	III/septiembre	III/mayo	17.9	22.2
78342	22.0	27.6	20.2	25.8	II/octubre	III/mayo	14.5	20.1
78343	26.8	32.3	21.0	26.3	III/octubre	I/mayo	16.2	22.3
78344	27.9	32.6	21.8	26.8	II/noviembre	II/abril	17.1	23.1

**Fuente:** Elaboración propia.

En el anexo 8 se muestran los valores promedio de las temperaturas (máxima, media y mínima) decadal durante la campaña agrícola para las estaciones seleccionadas.

En las estaciones evaluadas, las décadas más cálidas se presentan entre la primera y segunda década de septiembre, y las décadas más frías entre la primera y segunda década de enero.

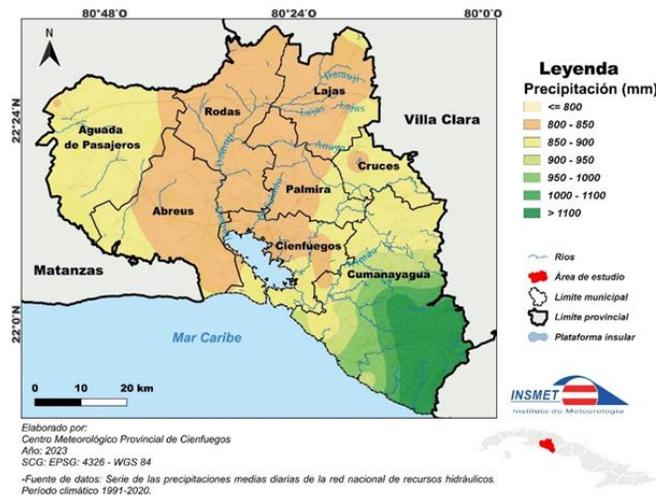
Por lo general, las temperaturas del aire máximas presentan dos valores máximos durante el período agrícola, el primero en la primera decena de septiembre y el otro en la segunda decena de mayo, asociado al inicio del período lluvioso. Estos valores oscilan entre 27.4 °C y 32.9 °C. En el caso de las temperaturas mínimas los valores mínimos se presentan en la tercera decena de enero y están asociados a los frentes fríos que transitan por la provincia. Estos valores oscilan entre 14.5 °C y 18.1 °C. Las temperaturas medias promedio estimadas en todas las estaciones se registran dentro del rango óptimo (18 - 25 °C) y moderadamente apto (10 - 11 °C y 26 - 34 °C) para el crecimiento y desarrollo del cultivo del frijol.

En el Anexo 9 se presenta el comportamiento de las temperaturas promedio decadal durante la campaña agrícola para las 7 estaciones seleccionadas.

## Efecto de la precipitación sobre el cultivo del frijol

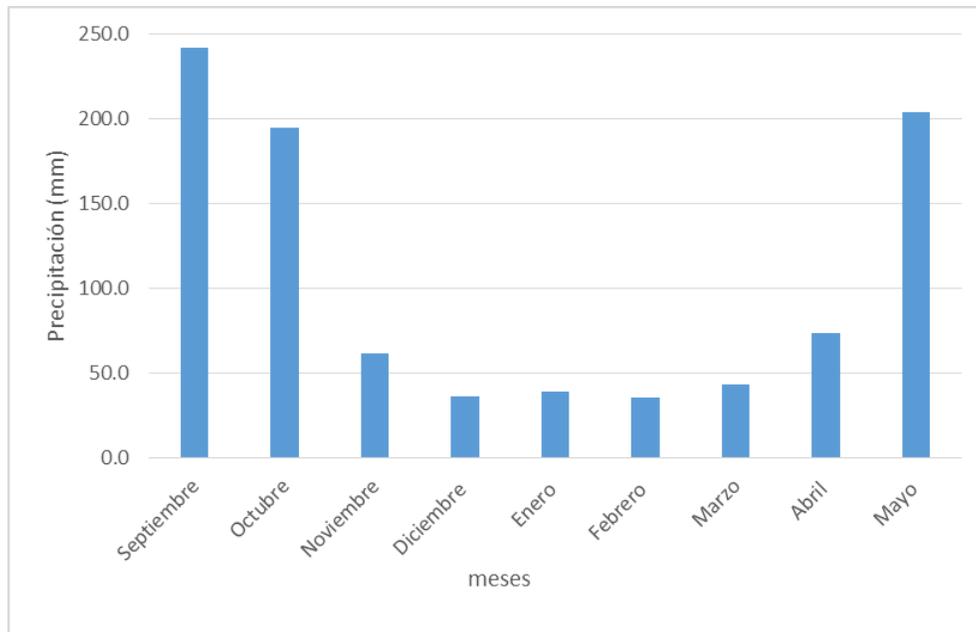
### Distribución espacial:

En la Figura 7 se presentan las precipitaciones medias para el período agrícola calculadas para el período 1991 – 2020 (30 años), con el propósito de caracterizar su comportamiento en la zona de estudio.



**Figura 7.** Distribución espacial de la precipitación acumulada para el periodo agrícola del cultivo del frijol en la provincia de Cienfuegos. Período 1991-2020. Fuente: Elaboración propia.

En la provincia las precipitaciones medias del periodo agrícola oscilaron entre 786 y 1452 mm. En la mayor parte del territorio ocurrieron precipitaciones que oscilaron entre 800 y 900 mm, con un promedio para el periodo de 873 mm. Este comportamiento se encuentra dentro de los límites considerados para el desarrollo del cultivo, pues el mismo requiere de precipitaciones entre 800 y 1000 mm en el periodo. Los máximos acumulados se sitúan en las zonas más altas del municipio de Cumanayagua que sobrepasa los 1400 mm, este comportamiento de las precipitaciones en esta parte del territorio, está asociado con las condiciones del relieve (gradiente vertical), por lo que se denota un aumento gradual de las lluvias a medida que aumenta la altura (Barcia y Castillo, 2015). Hacia los municipios Abreus, Rodas, Lajas, Palmira y Cienfuegos, aparecen los mínimos valores de precipitación (< 850 mm). El mes más lluvioso del periodo agrícola fue septiembre con un acumulado de 242 mm y el menos lluvioso fue febrero con 35 mm (Ver Figura 8).



*Figura 8. Precipitaciones de la provincia Cienfuegos para el periodo agrícola del cultivo del frijol. Periodo 1991 – 2020. Fuente: Elaboración propia*

*Distribución temporal:*

Por lo general las lluvias presentan un comportamiento estacional, con mayor precipitación en el verano y menor en el invierno; concentrándose la mayor cantidad de lluvias durante los meses de mayor requerimiento hídrico del cultivo del frijol (septiembre - octubre). La mayor variabilidad de lluvias se registra principalmente en la estación húmeda.

En el Anexo 10 se muestran el mes y la decena donde se alcanzaron los valores mínimos y máximos de la precipitación por cada pluviómetro seleccionado para el periodo agrícola del cultivo del frijol.

En el Anexo 11 se muestra el comportamiento temporal de la precipitación a nivel decenal durante la campaña agrícola para los ocho municipios de la provincia Cienfuegos. Para las ocho estaciones las precipitaciones empiezan en el mes de septiembre con valores entre 70 y 95 mm/década, los que van disminuyendo hasta alcanzar valores mínimos que oscilan entre 6.2 – 7.6 mm/década desde la segunda decena de diciembre hasta la primera decena de marzo.

Posteriormente los valores de precipitaciones comienzan a incrementarse hasta alcanzar su máximo en la tercera decena del mes de mayo entre 70 y 115 mm/década. De las ocho estaciones seleccionadas para el análisis, la que presentó valores de precipitación acumulada para el periodo agrícola más altos fue la del municipio de Cumanayagua con 1088.1 mm (valor que se encuentra en el rango óptimo de precipitaciones del cultivo del frijol), proporcionando agua suficiente para un desarrollo óptimo del cultivo del frijol. El resto de las estaciones registraron valores de precipitación acumulada para el periodo agrícola de 775 y 920 mm, lo cual se encuentran dentro del rango de moderadamente apto para el desarrollo del cultivo del frijol (Ver Anexo 12). En todas las estaciones analizadas en la tercera decena de mayo la precipitación alcanza valores por encima de los 90 mm. Coincidiendo con Reyes et al. (2014) este factor se debe considerar para establecer las mejores prácticas agrícolas durante la producción de frijol, ya que este producto es extremadamente sensible al estrés hídrico, que se refleja en las etapas fenológicas más sensitivas de la planta. Ávila et al. (2014) refieren que en etapas avanzadas el exceso de precipitaciones puede favorecer la aparición de moho blanco, así como una disminución considerable en el rendimiento.

### **Caracterización edáfica:**

Para realizar la caracterización edáfica para la provincia en función de la zonificación edafoclimática del frijol, es importante reconocer los requerimientos edáficos del cultivo. En el frijol, por ser un cultivo temporal, el conocimiento de las características del suelo es muy importante para obtener alta productividad.

### **Textura del suelo:**

Las clases texturales aptas para el cultivo del frijol en la provincia de Cienfuegos son:

- ✓ *Arcilla loamosa*
- ✓ *Loam arcilloso*

Estos suelos ocupan 163,377.36 ha de la provincia y proporcionan las condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas de frijol debido a que tienen una textura equilibrada, con una buena capacidad de retención de agua y nutrientes, así como una buena aireación, drenaje adecuado y estructura de suelo favorable para el desarrollo de las raíces y el crecimiento saludable de las plantas de frijol.

Las clases texturales moderadamente aptas en la provincia de Cienfuegos son:

- ✓ *Arcilla montmorillonítica*
- ✓ *Arcilla coalinítica*
- ✓ *Arcilla*

Estos suelos representan 195,254.36 ha de la provincia y aunque tienen propiedades beneficiosas para el cultivo, pueden retener demasiada agua lo que puede conducir a problemas de drenaje y falta de oxígeno para las raíces por lo que requieren prácticas adicionales de manejo del agua para mejorar el drenaje y la aireación. Ávila et al. (2014) refiere que en suelos arcillosos la preparación del suelo es más difícil, además que retienen mucha humedad lo que limitaría de oxígeno al sistema radicular.

Los suelos *no aptos* para el cultivo del frijol son:

- ✓ *Loam arcilloso arenoso*
- ✓ *Arena arcillosa*
- ✓ *Arcilla arenoso*
- ✓ *Loam arenoso*
- ✓ *Arena*

Estos suelos ocupan 105,380.90 ha de la provincia. Coincidiendo con Ávila et al. (2014) estos suelos no proporcionar condiciones adecuadas para el crecimiento y desarrollo del frijol debido a que son poco fértiles, con baja capacidad de retención de agua y nutrientes, lo que puede resultar en condiciones desfavorables para el crecimiento del cultivo.

### **Profundidad efectiva:**

Los suelos *aptos* para el cultivo del frijol son:

- ✓ Muy profundos (>120 cm)
- ✓ Profundos (91 – 120 cm)

Estos suelos ocupan 44,962.91 ha de la provincia y proporcionan las condiciones adecuadas para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas de frijol debido a que proporcionan suficiente espacio para el desarrollo de las raíces y permiten una buena penetración y extracción de agua y nutrientes, lo que es beneficioso para el crecimiento de las plantas. Autores como Benacchio, (1982); Guerra et al. (2021); resaltan que el cultivo de frijol requiere suelos profundos y fértiles.

Los suelos *moderadamente aptos* para el cultivo del frijol son:

- ✓ Medianamente profundos (51 – 90 cm)

Estos suelos ocupan 73,129.34 ha de la provincia, aún pueden permitir un desarrollo adecuado de las raíces y una buena penetración de las raíces en el suelo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que es posible que se requieran prácticas de manejo más intensivas, como la conservación de agua y nutrientes, para compensar la menor capacidad de almacenamiento y extracción de agua y nutrientes.

Los suelos *no aptos* para el cultivo del frijol son:

- ✓ Poco profundos (25 – 50 cm)
- ✓ Muy poco profundos (< 25 cm)

Estos suelos ocupan 345,920.37 ha de la provincia y no proporcionan las condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas de frijol debido a que limitan el desarrollo de las raíces y pueden tener una capacidad reducida para retener agua y nutrientes, lo que afecta negativamente el crecimiento de las plantas.

### **Drenaje:**

Los suelos *aptos* para el cultivo del frijol son:

- ✓ *Bueno*

Estos suelos ocupan 306,418.46 ha de la provincia y proporcionan las condiciones adecuadas para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas de frijol debido a que permiten que el agua se filtre eficientemente, evitando el encharcamiento y garantizan un entorno favorable para el desarrollo de las raíces. Coincidiendo con lo planteado por Doorenbos y Kassam, (1979); Schwartz y Gálvez, (1980) y Duke, (1983).

Los suelos *moderadamente aptos* para el cultivo del frijol son:

- ✓ *Moderado*

Estos suelos ocupan 66,887.49 ha de la provincia y proporcionan las condiciones medianamente necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas de frijol pero necesitan implementar prácticas de manejo adecuadas, como la nivelación del terreno y la implementación de sistemas de drenaje para evitar problemas de encharcamiento.

- ✓ *Moderadamente lento*
- ✓ *Deficiente*

Estos suelos ocupan 90,706.67 ha de la provincia y no son adecuados para el cultivo del frijol porque tienen dificultades para drenar el exceso de agua, lo que puede provocar encharcamiento y condiciones adversas para el desarrollo de las raíces del frijol común.

### **Pendiente:**

Los suelos *aptos* para el cultivo del frijol son:

- ✓ Muy llano (0-0.4%)
- ✓ Llano (0.5-1.0%)
- ✓ Casi llano (1.1-2.0%)

Estos suelos ocupan 214,169.12 ha de la provincia y son suelos que presentan una pendiente suave, generalmente inferior a 2%. Son terrenos relativamente planos que facilitan la gestión del agua y permiten una distribución uniforme de nutrientes, permitiendo un adecuado desarrollo de las raíces y un buen crecimiento de las plantas de frijol.

Los suelos *moderadamente aptos* para el cultivo del frijol son:

- ✓ Ligeramente ondulado (2.1- 4.0%)

Estos suelos ocupan 81,749.66 ha de la provincia y son suelos con pendiente moderada, generalmente menor de 4.0%. Aunque pueden presentar cierta ondulación, no son tan pronunciadas como para causar problemas significativos en la retención del agua y los nutrientes, por lo que requieren prácticas de manejo adicionales.

Los suelos *no aptos* para el cultivo del frijol son:

- ✓ Ondulado (4.1 - 8.0%)
- ✓ Fuertemente alomado (30.1 - 45.0%)
- ✓ Fuertemente ondulado (8.1 - 16.0%)
- ✓ Muy fuertemente alomado (45.1 - 60.0%)
- ✓ Alomado (16.1 - 30.0%)
- ✓ Extremadamente ondulado (> 60%)

Estos suelos ocupan 168,093.84 ha de la provincia y son los suelos con pendiente pronunciada, generalmente superior a 15%. Debido a su inclinación estos suelos son propensos a la erosión y a la pérdida de nutrientes, lo que dificulta el crecimiento y desarrollo de las plantas de frijol. Además, la excesiva escorrentía del agua puede llevar a la formación de encharcamiento, lo que afecta negativamente el cultivo.

**Altitud:**

Los suelos *aptos* para el cultivo del frijol son:

- ✓ Poco montañoso (<200 m)
- ✓ Medianamente montañoso (200-400 m)
- ✓ Montañoso (400-800 m)

Estos suelos ocupan 443,333.42 ha de la provincia y son suelos donde la pendiente cumple los requerimientos del cultivo, las precipitaciones se encuentran en el rango óptimo y moderado.

Los suelos *no aptos* para el cultivo del frijol son:

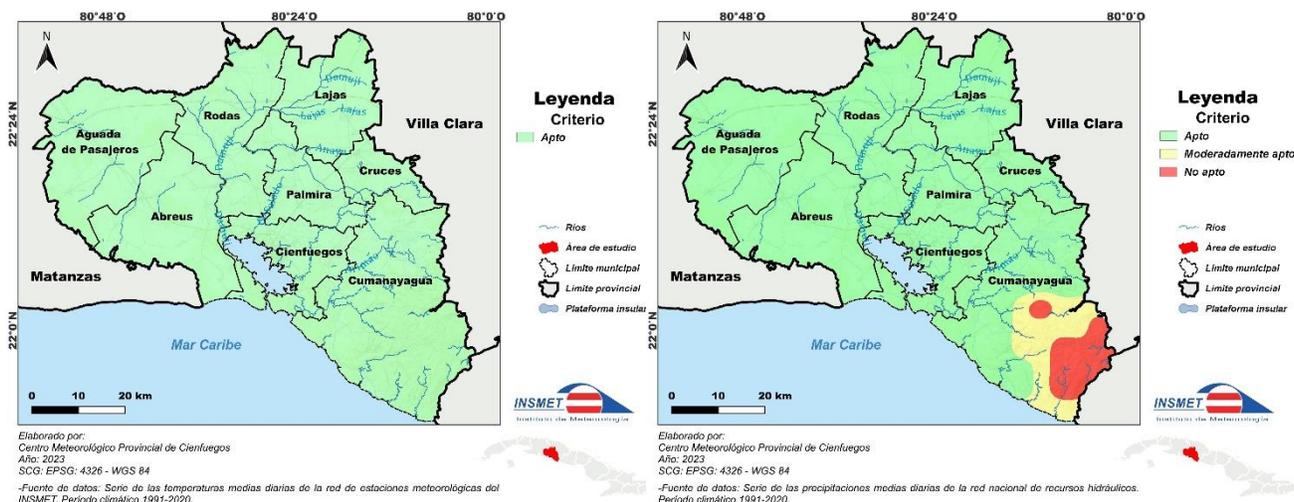
- ✓ Muy montañoso (800 - 1200 m)

Estos suelos ocupan 20,679.20 ha de la provincia y son suelos que pueden presentar menor disponibilidad de nutrientes provocada por la erosión del suelo, altos acumulados de precipitaciones que pueden provocar excesiva humedad.

**3.2 Zonificación edafoclimática para el cultivo del frijol****Zonificación climática:**

Para la confección del mapa de zonificación climática fue necesario confeccionar los mapas de zonificación térmica e hídrica en el periodo agrícola para el cultivo del frijol para luego superponerlos.

De acuerdo a los criterios de clasificación utilizados por Icaza (1971); Ávila et al. (2014) y Aceves et al. (2008) se puede observar en la Figura 9 (izquierda) que en toda la provincia no se presentaron limitaciones para el establecimiento del cultivo en cuanto a la variable temperatura. El análisis de la temperatura promedio para el periodo agrícola demuestra que la provincia es apta en su totalidad para la siembra del cultivo teniendo en cuenta la temperatura, dado que presenta temperaturas entre 18 - 25 °C.



**Figura 9.** Mapa de zonificación térmica (izquierda) y zonificación hídrica (derecha) para el periodo agrícola del cultivo del frijol en la provincia Cienfuegos. Período 1991-2020.

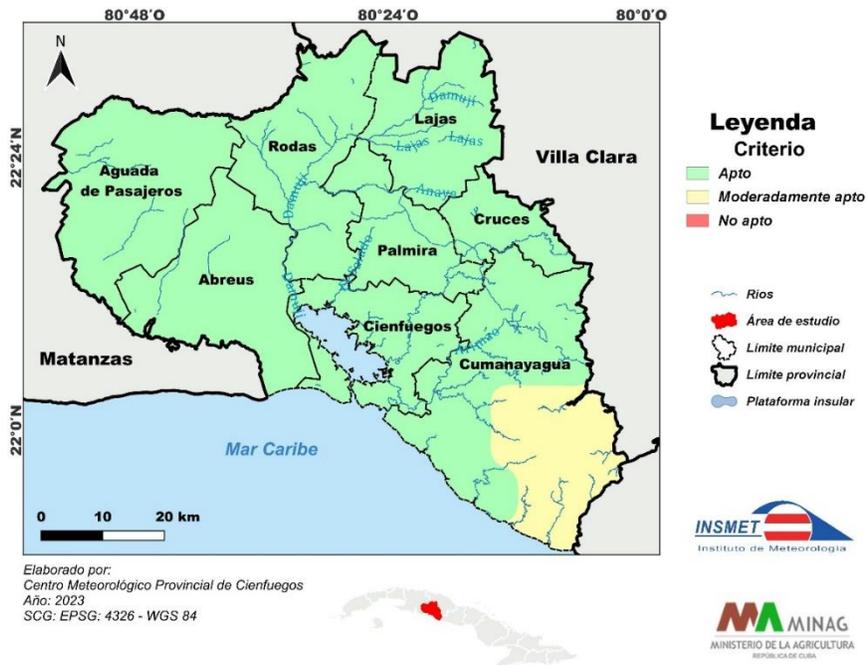
*Fuente: Elaboración propia*

Según la distribución espacial de las precipitaciones y en correspondencia con las exigencias pluviométricas del frijol (Figura 9- derecha), existen áreas que ocupan 399,090.26 ha (86.0 % de la superficie total), que suplen las necesidades hídricas del cultivo (800 - 1000 mm.año<sup>-1</sup>).

Sin embargo, también existen superficies con restricciones (moderadamente aptas) donde las precipitaciones se encuentran entre (1000 – 1200 mm.año<sup>-1</sup>) en una superficie de 46,826.59 ha, y otras superficies con abundantes precipitaciones (no aptas) que conllevan a un exceso de humedad (> 1200 mm.año<sup>-1</sup>) en una superficie de 18,115.77 ha, que equivalente a un 10.1 % y 3.9 % de la superficie total, respectivamente. Ambas zonas se concentran en el municipio de Cumanayagua. Estas restricciones pueden incidir en diferentes procesos fisiológicos del cultivo como son: prefloración, floración, formación de vainas, llenado de vainas y maduración (Venero, 2015). Cruz et al. (2005), refieren que la cantidad y distribución de las precipitaciones, son características a tener en cuenta en la agricultura. La primera permite conocer el grado de satisfacción de las necesidades hídricas de los cultivos, mientras que la segunda permite conocer su comportamiento en función de las fenofases del cultivo y durante el año.

Considerando los criterios establecidos en las bases para la ZEC del frijol y combinando los mapas de precipitaciones y temperaturas, dieron lugar a dos zonas climáticas en la

provincia Cienfuegos (Figura 10). Las mismas fueron:



**Figura 10.** Mapa que representa las zonas climáticas para el establecimiento del frijol en la provincia Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia

**Zona climática apta:** superficie con un comportamiento climático óptimo para el crecimiento y desarrollo del frijol. Ocupa un área de 399,090.26 ha, cuyas precipitaciones anuales varían desde 800 hasta 1000 mm y temperatura media entre 18 - 25 °C.

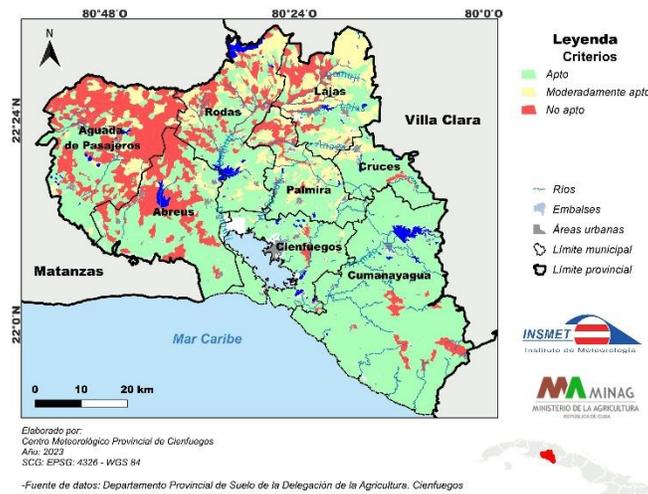
**Zona climática medianamente apta:** superficie con un comportamiento climático medianamente óptimo para el crecimiento y desarrollo del frijol. Ocupa un área de 64,942.36 ha, cuyas precipitaciones para el periodo agrícola se encuentran por encima de los 1000 mm y temperatura media entre 18 - 25 °C.

La mayor parte de la provincia (86.0%), presenta condiciones climáticas adecuadas para el establecimiento del cultivo, en una u otra categoría según las bases definidas para la zonificación, y en función de lograr el rendimiento estimado del cultivo.

**Zonificación edáfica:**

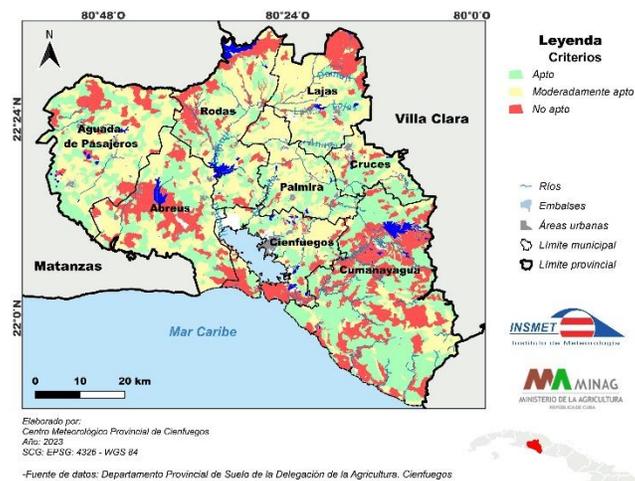
Como se aprecia en la Figura 11 existen zonas que no presentan limitaciones en cuanto al drenaje y ocupan un área de 306,418.46 ha donde el drenaje del suelo es bueno. De igual forma, existen áreas consideradas moderadamente aptas con un área de 66,887.49 ha donde el drenaje es moderado. Por último, las zonas no aptas ocupan 90,706.67 ha y

poseen drenaje moderadamente lento y deficiente encontrándose mayoritariamente en el municipio de Aguada de Pasajeros.



**Figura 11.** Mapa de zonificación por drenaje del suelo. Fuente: Elaboración propia.

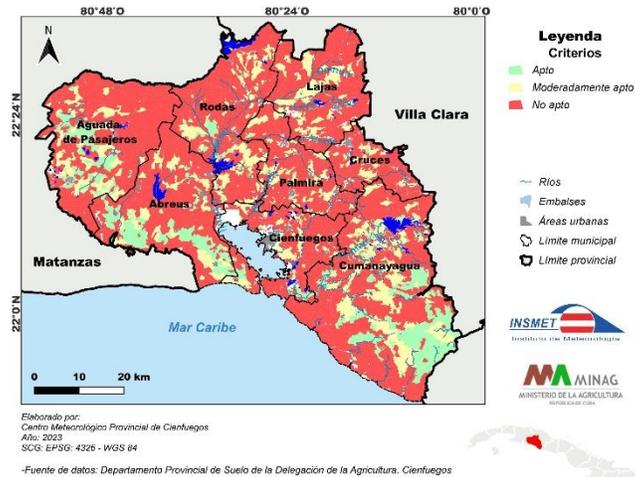
La zonificación por textura del suelo reveló zonas aptas para el cultivo del frijol con un área de 163377.36 ha donde la textura es media y favorecen el desarrollo del cultivo del frijol. De igual forma existen áreas medianamente aptas que ocupan un área de 195,245.36 ha. Por último, las zonas no aptas ocupan 105, 380.90 ha y se encuentran en mayor proporción en el municipio de Cumanayagua (Figura 12).



**Figura 12.** Mapa de zonificación por textura del suelo. Fuente: Elaboración propia.

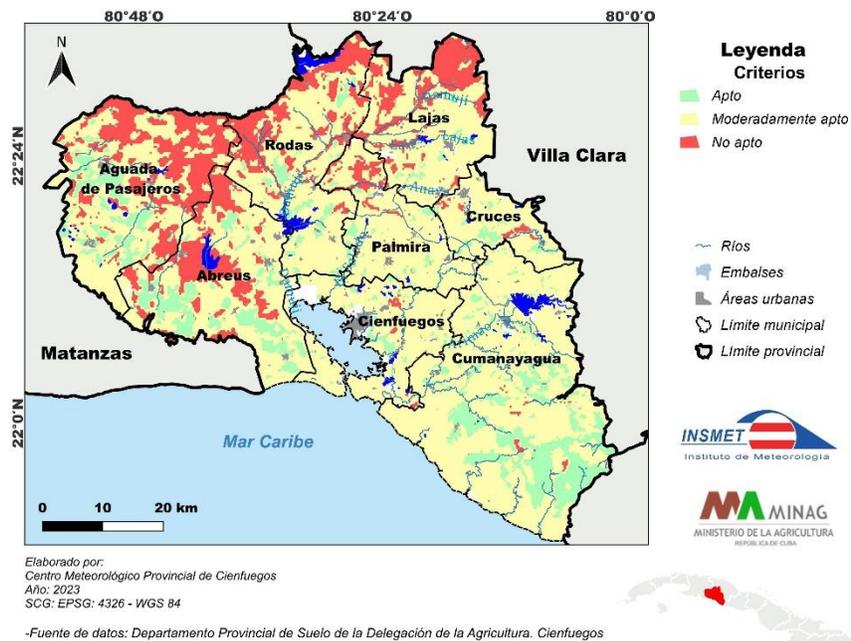
En cuanto a la profundidad efectiva la Figura 13 muestra la zonificación por profundidad efectiva del suelo, esta reveló zonas aptas para el cultivo del frijol con un área de 44,962.91 ha donde la profundidad efectiva cumple los requerimientos que favorecen el

desarrollo del cultivo del frijol. De igual forma existen áreas medianamente aptas que ocupan un área de 73,129.34 ha. Por último, las zonas no aptas ocupan 345,920.37 ha y ocupan la mayor proporción de la provincia.



**Figura 13.** Mapa de zonificación por profundidad efectiva. Fuente: Elaboración propia.

Considerando los criterios establecidos en las bases para la ZEC del frijol y combinando los mapas de drenaje, textura del suelo y profundidad efectiva, se representaron tres zonas edáficas en la provincia Cienfuegos (Figura 14). Las zonas edáficas identificadas fueron: aptas, moderadamente aptas para las superficies en las que se puede desarrollar el cultivo, y no aptas para las superficies que no cumplen con dichos requerimientos idóneos para el desarrollo del frijol.



*Figura 14. Mapa que representa las zonas edáficas para el cultivo de frijol en la provincia Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia*

**Zonas edáficas aptas:** superficie con un comportamiento edáfico apto para el crecimiento y desarrollo del frijol. Ocupa un área de 59567.5 ha, (12.8 % de la superficie total) donde el drenaje es bueno, las texturas del suelo son medias y la profundidad efectiva es profunda y muy profunda.

**Zonas edáficas moderadamente aptas:** estas zonas ocupan un área de 330,167.65 ha, (71.2 % de la superficie total) donde los suelos poseen menos profundidad efectiva, el drenaje es moderado, las texturas del suelo son arcillosas.

**Zonas edáficas no aptas:** estas zonas ocupan 74277.47 ha (16 % de la superficie total) donde los suelos poseen condiciones no aptas para el cultivo del frijol, profundidad efectiva inferior a los 50 cm, drenaje es deficiente y texturas del suelo arenosos.

**Zonificación topográfica:**

Relacionado con la pendiente, en la provincia existe una superficie total de 214,169.12 ha con características fisiográficas favorables para el crecimiento y desarrollo del cultivo, que representa el 46.2 % del área total. Las zonas moderadamente aptas ocupan 81,749.66 ha. Así mismo, existen superficies no apta para el cultivo, que se extiende en un área de 168,093.84 ha (36.2 % de la superficie total) sobre suelos que no responden

a los requerimientos del cultivo y se encuentran en casi su totalidad en el municipio de Cumanayagua (Figura 15 – izquierda).

En cuanto a la altitud se observó que 443,333.42 ha que representaron el 95,5% de la superficie total de la provincia cumplen los requerimientos óptimos para el cultivo del frijol y solamente 20,679.20 ha que representan el 4.5% no cumplen dichos requerimientos. Estas áreas se encuentran en su totalidad en el municipio de Cumanayagua (Figura 15 – derecha).

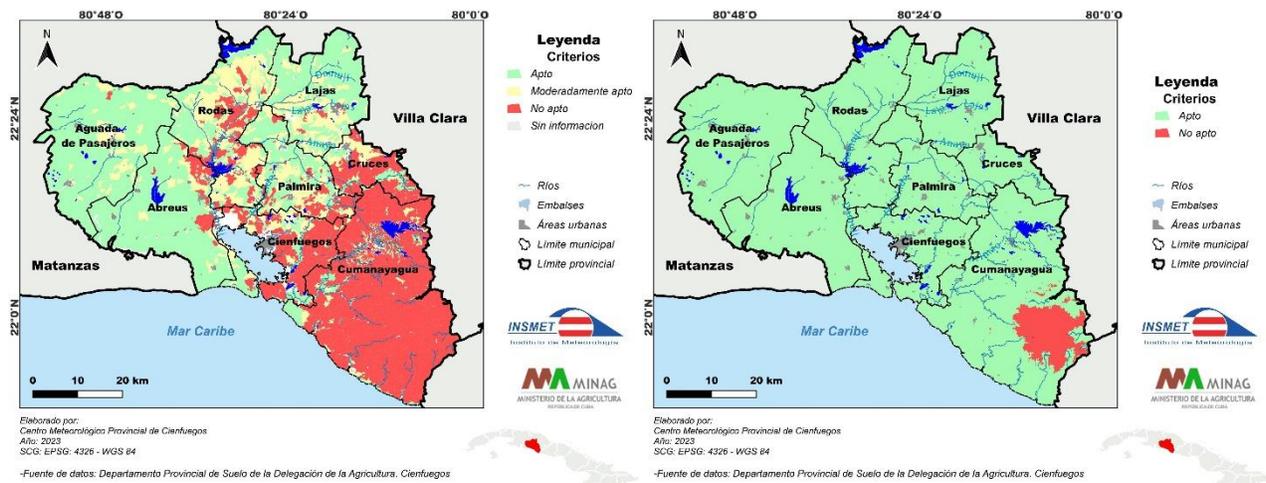


Figura 15. Mapa de zonificación por pendiente (Izquierda) y zonificación por altitud (derecha).

Fuente: Elaboración propia.

Considerando los criterios establecidos en las bases para la zonificación edafoclimática del frijol y combinando los mapas de pendiente y altitud, se representaron tres zonas en la provincia Cienfuegos (Figura 16). Las zonas topográficas identificadas fueron: aptas y moderadamente aptas para las superficies en las que se puede desarrollar el cultivo, y no aptas para las superficies que no cumplen con dichos requerimientos idóneos para el desarrollo del frijol.

**Zonas topográficas aptas:** superficie con un comportamiento topográfico óptimo para el crecimiento y desarrollo del frijol. Ocupa un área de 214,169.12 ha, donde tanto la pendiente como la altitud son aptas para el cultivo.

**Zonas topográficas moderadamente aptas:** superficie con un comportamiento topográfico moderadamente apto para el crecimiento y desarrollo del frijol. Ocupa un área de 229,164.30 ha, donde tanto la pendiente como la altitud son aptas para el cultivo.

Estas zonas se encuentran en mayor proporción en los municipios de Cumanayagua, Cruces y Cienfuegos.

**Zonas topográficas no aptas:** superficie con un comportamiento topográfico no apto para el crecimiento y desarrollo del frijol. Ocupa un área de 20679.20 ha, donde ambos requerimientos no son aptos para el cultivo del frijol. Estas zonas se encuentran en su totalidad en el municipio de Cumanayagua.

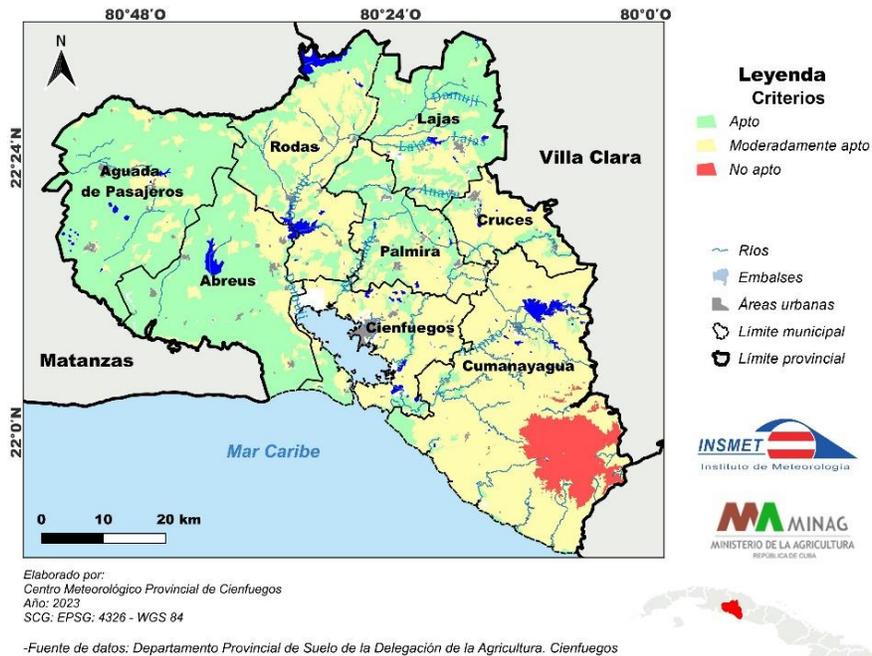


Figura 16. Mapa que representa las zonas topográficas para el cultivo de frijol en la provincia Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia

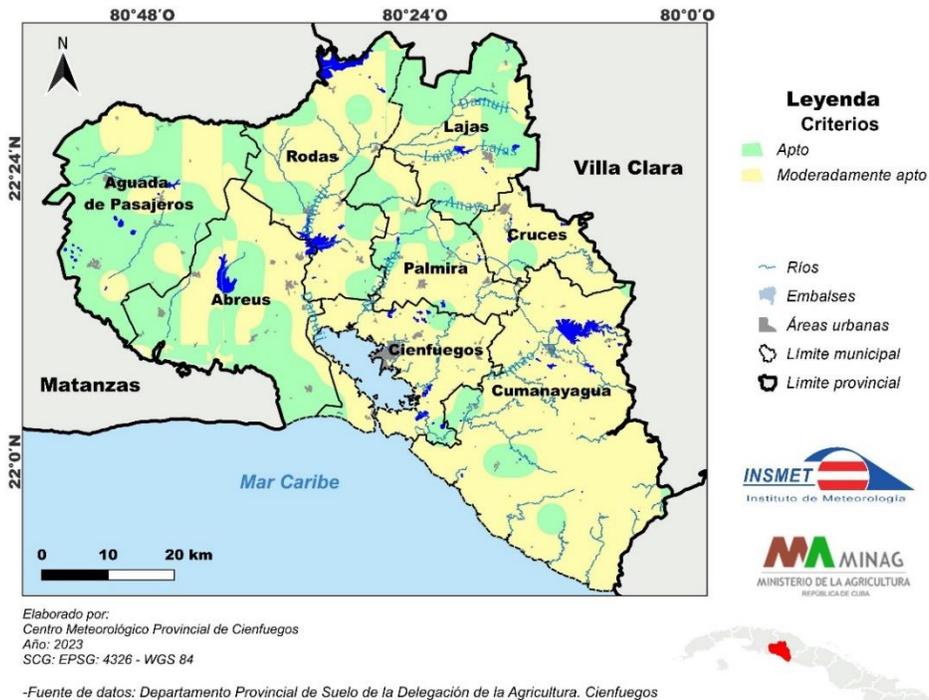
### Zonificación edafoclimática

Los resultados de la combinación entre las zonas climáticas, edáficas y topográficas apropiadas a las exigencias del cultivo, considerando las bases de la zonificación definida para el frijol, originaron dos zonas edafoclimáticas representadas en la Figura 17. Las mismas fueron:

**Zona apta:** abarca 142,605.42 ha para un 30.7 % de la superficie total de la provincia. En estas áreas se encuentran las mejores condiciones de suelos, para un óptimo crecimiento y desarrollo del cultivo, y es donde se deberán manifestar los mayores rendimientos en dependencia de las condiciones climáticas. Esta zona no posee

limitaciones agroproductivas para el cultivo, por tanto se deberá alcanzar el mayor rendimiento estimado.

**Zonas moderadamente aptas:** esta zona se extiende en un área de 321,407.20 ha (69.3 % de la superficie total de la provincia). Los factores limitantes que se presentan en estas zonas son: drenaje, profundidad efectiva, textura, precipitación, pendiente y altitud. La mayor superficie encontrada en esta zona fue en el municipio Cumanayagua.



*Figura 17. Mapa de zonificación edafoclimática para el cultivo de frijol en la provincia Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia*

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Franklin y Escandón (2019), quienes lograron determinar zonas con aptitud agroclimática “Alta y Media” para el cultivo del frijol, a los 110 días de su desarrollo fenológico de acuerdo con los datos climatológicos de 1981 a 2010 a partir de los mapas de precipitación, temperatura media, los coeficientes de cultivo y los suelos aptos. El estimar las zonas agrícolas para el cultivo del frijol, permitirá una mejor planeación sobre la superficie a sembrarse, y mejorar el rendimiento por hectárea, optimizar los recursos productivos, reducción de costos, entre otros; servirá también como herramienta para la toma de decisión sobre sembrar este u otro cultivo que se adapte a las condiciones de un lugar determinado.

## CONCLUSIONES

- ✦ La caracterización edafoclimática de la provincia Cienfuegos en función del cultivo del frijol común *Phaseolus vulgaris* L, demuestra que existen superficies con condiciones adecuadas de clima, suelos y topografía, que satisfacen los requerimientos óptimos del cultivo del frijol para su desarrollo.
- ✦ La zonificación edafoclimática para el cultivo del frijol *Phaseolus vulgaris* L en la provincia de Cienfuegos logran establecer dos zonas de aptitud para el desarrollo de del cultivo del frijol. Las áreas con alto potencial para el establecimiento del cultivo de frijol se encuentran al sudeste de la provincia en los municipios de Abreus y Aguada de Pasajeros y al norte en el municipio de Lajas donde imperan condiciones óptimas necesarias para obtener buenos rendimientos.

## RECOMENDACIONES

- ✚ Utilizar los resultados de la zonificación edafoclimática del frijol, como herramienta para que los productores, decisores e investigadores, diseñen, elaboren y apliquen el programa de desarrollo en la provincia Cienfuegos, en correspondencia con las necesidades y potencialidades de los agroecosistemas.
- ✚ Incorporar otros factores importantes que tienen incidencia para la siembra, el crecimiento y el desarrollo del cultivo de frijón, como son la humedad relativa, la evapotranspiración, así como las propiedades químicas: pH y salinidad del suelo que pueden tener incidencia en el rendimiento del frijón.
- ✚ Aplicar la metodología para determinar la zonificación edafoclimática para el resto de los cultivos priorizados de la provincia.

## BIBLIOGRAFIA

- Aceves, L.A.; Arrieta y Barbosa, J.L. (2000). *Manual de AGROCLIM 1.0*. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas Tabasco.
- Altieri, M.A. y Nicholls, C.E. (2009). Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *Leisa Revista de Agroecología*. <http://agropecuaria.org/2015/12/cambio-climatico-y-agricultura-campesina-impactos-y-respuestas-adaptativas/>
- Andrade, E., De Niz, E.M., Benítez, M.A., Olgúin, J.L., Guevara, R.D., Meza, D. y Villalvazo, V.M. (2019). Identificación de áreas aptas para la agricultura de temporal con maíz y frijol en la Cuenca de Autlán, Jalisco, México. *Revista Geográfica*, 62. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/11261/14848>
- Aquino, P. T. (1988). *Ecofisiología. En Cultura do feijoeiro. Fatores que afetam a produtividade. Associação Brasileira para Pesquisa da potassa e do Fosfato*. Piracicaba – SP.
- Argentel, L., Garatuza, J., Armendáriz, M.M., Yépez, E.A., Arredondo, J.T. y Gozáñez, J. (2017). Estrés térmico en el cultivo del trigo. Implicaciones fisiológicas, bioquímicas y agronómicas. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 57-67. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext)
- Ávila, J. M., Ávila, J., Rivas, F. J. y Martínez, D. (2014). *El cultivo del frijol sistemas de producción en el noroeste de México*. Universidad de Sonora. División de ciencias biológicas y de la salud. Departamento de agricultura y ganadería. <http://agricultura.unison.mx/memorias%20de%20maestros/EL%20CULTIVO%20DEL%20FRIJOL.pdf>
- Barcia, S. y Castillo, C. (2015). *Atlas climático de la provincia de Cienfuegos*.
- Barcia, S., Viera, E.Y., Gómez, D., Fuentes, L.B., Porres, M.A., Mejías, L. y Angulo, R.A., (2023). Distribución espacial de la temperatura del aire en la provincia de Cienfuegos. *Revista Cubana de Meteorología*, 29(3), 1-20. <https://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/797/1477>

- Beaver, J. S. y Molina, A. (1997). *Mejoramiento de frijol para el Caribe*. In Singh. Shree P; Voysest V., Oswaldo (1996). Taller de Mejoramiento de Frijol para el Siglo XXI: Bases para una Estrategia para América Latina. *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, 353-376. <https://hdl.handle.net/10568/81953>
- Benacchio, S.S. (1982). *Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano*. In FONAIAP-Centro Nacional de Investigación Agropecuaria, Ministerio de Agricultura y Cría, Maracay, 35-39. - References - Scientific Research Publishing. Scirp.org.<https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1574298>
- Betanco, C. A. y Zúniga, C. A. (2016). Cambio Climático y sus consecuencias en Nicaragua. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 2(1), 180–192. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v2i1.5693>
- Calero, A. (2018). Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común *Phaseolus vulgaris* L. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 7(1), 88–100. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cien.c.v7n1.67773>
- Castillo, C. S. y Barcia, S. (2015). Sensaciones térmicas en la provincia Cienfuegos (Cuba). *Investigaciones Geográficas*, (64), 25-35. <https://doi.org/10.14198/INGEO2015.64.02>
- Centella, A. B. Lapinel, O. Solano, R. Vázquez, C. Fonseca, V. Cutié, R. Baéz, S. González, J. Sille, P. Rosario, & L. Duarte. (2007). *La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana*. Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD). [https://www.undp.org/content/dam/cuba/docs/libro\\_sequia.pdf](https://www.undp.org/content/dam/cuba/docs/libro_sequia.pdf)
- Chailloux, M., Hernández, G., Faure, B. y Caballero, R. (1996). Producción de frijol en Cuba: situación actual y perspectiva inmediata. *Agronomía mesoamericana*, 7(2), 98-107.
- Cruz, O.; Marrero, P.; Herrera, M. y García, L. (2005). *Selección de textos sobre ecología*. Félix Varela.

- Cruz, S., Torres, G. A., Cruz, A., Salcedo, I. y Victorino, L. (2020). Saberes tradicionales locales y el cambio climático global. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(8), 1917-1928. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2748>
- Danilo, N.E. (2011). *El cultivo del frijol*. SAG. DICTA. Centro América.
- Del Rosario, J. L., Aguilar, N., Leyva, O. R., Andrés, P., Meneses, I. y Bolio, G. I. (2022). Zonificación edafoclimática de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) para la producción sostenible de bioproductos. *Revista de Geografía Norte Grande*, 81, 361–383. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022022000100361>
- Díaz, O., Pastor, F., Ortega, M., Cruzado, L. y Quevedo, K. (2020). *Caracterización y zonificación por aptitud agroclimática del cultivo de Café (Coffea arabica) en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca*. [http://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1918/Caracterización-y-zonificación-por-aptitud-agroclimática-del-cultivo-de-Café-Coffea-arabica-en-las-provincias-de-Jaén-y-San-Ignacio-Cajamarca\\_2020.pdf?sequence=6](http://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1918/Caracterización-y-zonificación-por-aptitud-agroclimática-del-cultivo-de-Café-Coffea-arabica-en-las-provincias-de-Jaén-y-San-Ignacio-Cajamarca_2020.pdf?sequence=6)
- Domínguez, A., Darías, R., Martínez, Y. y Alfonso, E. (2019). Tolerancia de variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) a condiciones de sequía en campo. *Centro agrícola*, 46(3), 22–29. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-57852019000300022](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000300022)
- Doorenbos, J. y Kassam, A. H. (1979). Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. *Estudio FAO: Riego y Drenaje*, (33), 212 p [https://www.researchgate.net/publication/230888005\\_Efectos\\_del\\_agua\\_sobre\\_el\\_rendimiento\\_de\\_los\\_cultivos/link/5f53a95b458515e96d2f8439/download](https://www.researchgate.net/publication/230888005_Efectos_del_agua_sobre_el_rendimiento_de_los_cultivos/link/5f53a95b458515e96d2f8439/download)
- Duke, J.A. (1983). *Phaseolus vulgaris L. handbook of energy crops. Horticulture and Landscape Architecture*. Purdue University. Unpublished. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/dukeenergy/phaseolusvulgaris>.
- EFE. (2022). *Frijoles, un mundo de sabores en la cocina mexicana*. Diario Libre. <https://www.diariolibre.com/revista/buena-vida/2022/01/09/los-frijolescontienen-un-mundo-de-sabores/1573231>

- Escalante, J. A., Escalante, L. E. y Rodríguez, M. T. (2001). Producción de frijol, en dos épocas de siembra: su relación con la evapotranspiración, unidades calor y radiación solar en clima cálido. *Terra Latinoamericana: órgano científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C*, 19(4), 309–315. <https://biblat.unam.mx/es/revista/terra-latinoamericana-edo-de-mex/articulo/produccion-de-frijol-en-dos-epocas-de-siembra-su-relacion-con-la-evapotranspiracion-unidades-calor-y-radiacion-solar-en-clima-calido>
- Escoto, N. (2004). *El cultivo de frijol. Manual técnico para uso de empresas privadas, consultores individuales y productores*. Tegucigalpa, M.D.C., Honduras C.A.
- FAO. (1977). Zonificación Agro-ecológica. Boletín de Suelos de la FAO 73. Roma. Italia. 96p.
- Faure, B. (2003). *Proyecto nacional mejoramiento genético de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) para los factores bióticos y abióticos que limitan su producción en Cuba*. Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova.
- Faure, B. (2015). *Manual para la producción sostenible del frijol común*.
- Faure, B., Benítez, R., León, N., Chaveco, O. & Rodríguez, O. (2013). *Guía técnica para el cultivo del frijol Phaseolus vulgaris L. Cuba: ACTAF. Agroecológica*.
- Fernández, D. M. y Huamani, M.E. (2021). *Zonificación agroecológica como un sistema de información geográfica para los cultivos de cebada (Hordeum vulgare.), maíz (Zea mays L.), trigo (Triticum aestivum) y papa (Solanum tuberosum) en el distrito de Quishuar-Huancavelica*. (Tesis de grado). Universidad de Lima. [http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29937/Fernandez Vergara%2c Debora Milagros-Huamani Moreno%2c Milagros Estefani.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29937/FernandezVergara%2c%20Debora%20Milagros-Huamani%20Moreno%2c%20Milagros%20Estefani.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Fideicomiso Instituido en Relación con la Agricultura (FIRA). (2016). *Frijol 2016. Panorama Agroalimentario*. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. México.
- Flores, C. A. (2020). *Desarrollo de un geoportal para realizar una zonificación agrícola utilizando un sistema de información geográfica en el cantón Latacunga*. (Tesis

- de grado). Universidad técnica de Cotopaxi.  
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7040>
- Franklin, B. y Escandón, M. H. (2019). *Aptitud agroclimática del frijol en México ciclo agrícola otoño invierno. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Dirección de Soluciones Geoespaciales.*  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/495087/Reporte\\_de\\_Aptitud\\_a\\_groclim\\_tica\\_de\\_M\\_xico\\_del\\_frijol\\_OI\\_2019-2020.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/495087/Reporte_de_Aptitud_a_groclim_tica_de_M_xico_del_frijol_OI_2019-2020.pdf) (www.gob.mx)
- Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), (2004). *Meteorología y Climatología.*  
<https://cab.intacsic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236.pdf>
- García, E., Bravo, J.C., Martínez, D.A., Álvarez, P., Valle, H.J., García, S.E., López, J.C. y Escobar, W.S. (2009). *Guía técnica para el cultivo de frijol en los municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo del Departamento de Boaco, Nicaragua.* <https://repositorio.iica.int/handle/11324/19856>
- Gómez Delgado, M. y Barredo Cano, J. I. (2005). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio.* Ra-Ma.  
[https://books.google.com.cu/books/about/Sistemas\\_de\\_informaci%C3%B3n\\_geogr%C3%A1fica\\_y\\_e.html?id=kwziAAAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.cu/books/about/Sistemas_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica_y_e.html?id=kwziAAAACAAJ&redir_esc=y)
- González, R. R., Gárciga, T. R. y Fernández, M. P. (2020). *Zonificación agroclimática del territorio de Cuba, aplicada a los rendimientos agrícolas del Tabaco negro con el uso de SIG*  
<https://www.semanticscholar.org/paper/e7dda4b00ca0211ba977d4de97cba518693d8317>
- Goyzueta, W. W. (2019). *Zonificación edafoclimática para el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en las microcuencas de San José y Tintiri del río Azángaro.* <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14882>
- Guerra, A., Mena, A. A., Burbano, M. E. Burbano, M.F. y Pardo, L.M. (2021). Estudio del manejo, clasificación y recolección de fitosanitarios en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*L.) en Sibundoy, Putumayo (Colombia)", *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12(1), 133-152.

<http://www.semanticscholar.org/reader/1e86ea2a764b240ee02679c521366b535288c8e4>

- Guerrero, D. y Samamé, F. E. (2020). *Zonificación de áreas potenciales para el desarrollo de Cultivos de coffea arábica en la provincia de Moyobamba, San Martín- 2020*. (Tesis de grado). Facultad de ingeniería y arquitectura. Escuela profesional de ingeniería ambiental. Universidad de Lima. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/55364/B\\_Guerrero\\_FD-Samamé\\_SFE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/55364/B_Guerrero_FD-Samamé_SFE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D. y Speck, N. C. (2019). La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. *Cultivos tropicales*, 40(1). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S025859362019000100015](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362019000100015)
- Hernández, D., Rodríguez, M.G., Miranda, I., Moreno, E., Castro, I. y Peteira, B. (2018). Reproducción y efecto nocivo de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood en *Phaseolus vulgaris* L. 'C-C-25-9.
- Hernández, J.C. (2009). *Manual de recomendaciones técnicas cultivo del frijol. Costa Rica*. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/download/45658/45701>
- Hernández, V. M., Vargas, M. L., Muruaga, J.S., Hernández, S. y Mayek, N. (2013). Origen, domesticación y diversificación del frijol común: Avances y perspectivas. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(2), 95-104. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018773802013000200002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018773802013000200002&lng=es&tlng=es).
- Icaza, J. (1971). *Zonificación ecológica del frijol en Nicaragua*. <http://repositorio.una.edu.ni/3107/1/tnf40i15.pdf>
- Inzunza, M. A., Castorena, M. M., Valencia, E. A. y Mendoza, F. y Moreno, S. (2006). Zonificación agroecológica del maíz, frijol, trigo y sorgo en la Región Lagunera. *Revista Agrofaz*, 6(2), 189–196. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2303582>
- Italia. FAO. (2018). *FAOSTAT*. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

- Jara, C. y Navarro, C. (2021). *Guía de manejo agronómico de frijol arbustivo para pequeños agricultores*. CCAFS Training material. Wageningen, Países Bajos: Programa de investigación del CGIAR sobre cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria (CCAFS). <https://hdl.handle.net/10568/116328>
- Lao, B. y Peláez, D. (2018). La teledetección y los Sistemas de Información Geográfica para el manejo de las tierras. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*, 27(1), 54–65.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S207100542018000100006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S207100542018000100006)
- López, G. (2021). *Estrategia competitiva*. <https://www.efficacy.com/es/estrategiacompetitiva/#:~:text=La%20estrategia%20competitiva%20se%20define,y%20generar%20un%20ROI%20superior.>
- Maqueira, L. A., Rojan, O., Mesa, S. A. P. y Noval, W. T. (2017). Crecimiento y rendimiento de cultivares de frijol negro *Phaseolus vulgaris* L. en la localidad de los palacios. *Cultivos tropicales*, 38(3), 58–63.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S025859362017000300008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362017000300008)
- Maqueira, L. A., Roján, O., Solano, J., Santana, I. M. y Fernández, D. (2021). Productividad del frijol *Phaseolus vulgaris* L. Parte I. Rendimiento en función de variables meteorológicas. *Cultivos tropicales*, 42(3).  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S025859362021000300007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362021000300007)
- Martínez, L., Maqueira, L.A., Nápoles, M.C. y Núñez, M. (2017). Efecto de bioestimulantes en el rendimiento de dos cultivares de frijol *Phaseolus vulgaris* L. biofertilizados. *Cultivos Tropicales*, 38(2), 113-118.
- Medina, G.; Ruiz, J. A.; Rodríguez, V. M.; Soria, J.; Díaz, G. y Zarazúa, P. (2016). Efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp.*, (13), 2465-2474.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263144472002>
- Millán, A. y Lallana, V. (2017). Modelización espacial del régimen bioclimático medio en la Comunidad Autónoma de Madrid mediante la aplicación de la temperatura

- fisiológica equivalente (PET). *Revista Mapping*, 26(183), 20-29.  
[http://revistamapping.com/wpcontent/uploads/2017/09/RevistaMAPPING183\\_A2.pdf](http://revistamapping.com/wpcontent/uploads/2017/09/RevistaMAPPING183_A2.pdf)
- Morales, A., y Lamz, A. (2020). Métodos de mejora genética en el cultivo del frijol común *Phaseolus vulgaris* L. frente al Virus del Mosaico Dorado Amarillo del Frijol (BGYMV). *Cultivos tropicales*, 41(4).  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S025859362020000400010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362020000400010)
- Morales, F. J. (2000). *El Mosaico Dorado y otras enfermedades del frijol común causadas por geminivirus transmitidos por mosca blanca en América Latina*.  
<https://hdl.handle.net/10669/79997>
- Morales, F. J. (2019). Cultivo del frijol común *Phaseolus vulgaris* L. *Cultivos Tropicales*, 40(3). <http://srv-new/scielo/www/htdocs/scielo.php> on line 52
- Morales, L., Canessa, F., Mattar, C., Orrego, R. y Matus, F. (2006). Caracterización y zonificación edáfica y climática de la región de Coquimbo, Chile. *Suelo y Nutrición*, 6(3). <https://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v6n3/art05.pdf>
- Nicholls, C.E. y Altieri, M.A. (2015). Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *LEISA, revista de Agroecología*.  
<http://agropecuaria.org/2015/12/cambio-climatico-y-agricultura-campesina-impactos-y-respuestas-adaptativas/>
- Ninyerola, M., Pons, X. y Roure, J. M. (2005). *Atlas climático digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica*. Universitat Autònoma de Barcelona. <http://opengis.uab.es/wms/iberia/pdf/acdpi.pdf>
- Oficina Nacional de Estadística e Información, (ONEI). (2016). *Anuario Estadístico de Cienfuegos 2015. Capítulo 9: Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca*.
- ONEI. (2021). *Anuario Estadístico de Cienfuegos 2020. Capítulo 9: Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca*.
- Pérez, G. y Hidalgo, A. (2016). Regionalización climática de la provincia de Holguín. *Revista Cubana de Meteorología*, 22(1), pp. 39-48  
<http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/download/207/138/>

- Ramírez, V. y Sayuri, M. (2019). *Zonificación edafoclimática del cultivo de alfalfa en la subcuenca del Rio Cachi, Región Ayacucho*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Federico Villarreal  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNF\\_826407941d13e8cce174108e168e55b2](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNF_826407941d13e8cce174108e168e55b2)
- Ravelo, A. C. y Planchuelo, M. (2003). Aptitud agroecológica de la pradera pampeana Argentina para el cultivo del lupino blanco (*Lupinus albus*, L). *Revista Agriscientia*, XX, p. 33 – 45.
- Rodríguez, E., García, H. y Castellanos, L. (2015). Agro-ecological zoning for mango cultivation (*Mangifera indica* L.) in the special unit fruit of Cienfuegos. *Edu.Cu*.  
<http://cagricola.uclv.edu.cu/index.php/en/volume-42-2015/issue-1-2015/553-agro-ecological-zoning-for-mango-cultivation-mangifera-indica-l-in-the-special-unit-fruit-of-cienfuegos>
- Ruiz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. y R.A. Martínez P. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos.  
[https://www.academia.edu/36576977/REQUERIMIENTOS\\_AGROECOL%C3%93GICOS\\_DE\\_CULTIVOS\\_2da\\_Edici%C3%B3n](https://www.academia.edu/36576977/REQUERIMIENTOS_AGROECOL%C3%93GICOS_DE_CULTIVOS_2da_Edici%C3%B3n)
- Salcedo, J. M. (2008). *Guías para la regeneración de germoplasma*. Cgiar.org.  
[https://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/other\\_crops/Beans\\_SP.pdf](https://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/other_crops/Beans_SP.pdf)
- Sálmon, Y.Z. (2020). Impactos y riesgos de los eventos climáticos extremos en el sector agrícola de la provincia Santiago de Cuba, Centro Meteorológico Provincial, Cuba, *Ciencia en su PC*, (1), 99-112.  
<https://www.redalyc.org/journal/1813/181363107008/html/>
- Santana, Y., del Busto, A., Carrodegua, S., Izquierdo, R. y Rodríguez, M.G. (2020). Efecto de *Meloidogyne* spp. sobre el desarrollo vegetativo de tres cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. *Revista Protección Vegetal*, 35(2).
- Schwartz, F. y Gálvez, S. (1980). *Problemas de producción del frijol: Enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de Phaseolus vulgaris*. CIAT.

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjXm7rNjeCCAxVBD1kFHWHtBAwQFnoECAoQAQ&url=http%3A%2F%2Fciatlibrary.ciat.cgiar.org%2FArticulos\\_Ciat%2FDigital%2FSB327.P76\\_Problemas\\_de\\_produccion\\_del\\_frijol\\_en\\_los\\_tropic.pdf&usg=AOvVaw2jvzP7nbhlbUQdsfsA0RYa&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjXm7rNjeCCAxVBD1kFHWHtBAwQFnoECAoQAQ&url=http%3A%2F%2Fciatlibrary.ciat.cgiar.org%2FArticulos_Ciat%2FDigital%2FSB327.P76_Problemas_de_produccion_del_frijol_en_los_tropic.pdf&usg=AOvVaw2jvzP7nbhlbUQdsfsA0RYa&opi=89978449)

Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2017). *Frijol Mexicano. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.* [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256428/B\\_sico-Frijol.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256428/B_sico-Frijol.pdf)

Soluciones para Monitorear y Diminuir Riesgos (SENSORGO), (2022). *Importancia de la Medición Climática Para los Cultivos.* <https://sensorgo.mx/medicion-climatica/> Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). *Aptitud agroclimática del frijol en México ciclo agrícola primavera verano.*

Socorro, M. A. y Martín, D. S. (1989). Frijol. En M. A Socorro, D. S. Martín. *Granos.* Pueblo y Educación.

Soto, F., Vantour, A., Hernández, A., Planas, A., Fuentes, P., Tejeda, T., Morales, M., Vázquez, R., Cutie, F., Vázquez, L. y Caro, P. (2002). La zonificación agroecológica del *Coffea arabica*, L. en Cuba. Macizo montañoso Sagua-Nipe-Baracoa. *Cultivos Tropicales*, 22(3), 27-51. [http://www.bing.com/search?q=soto%2Cf.+%2Fet+al.%2F.+la+zonificación+agroecológica+del+coffea+arabica%2C+l.+en+cuba.+macizo+montañoso+sagua-nipebaracoa.+cultivos+tropicales%2C+2001%2C+22\(3\)%2C+pp.+2751&aqs=e dge.1.69i64i450l8.2863521j0j4&FORM=ANAB01&PC=ASTS](http://www.bing.com/search?q=soto%2Cf.+%2Fet+al.%2F.+la+zonificación+agroecológica+del+coffea+arabica%2C+l.+en+cuba.+macizo+montañoso+sagua-nipebaracoa.+cultivos+tropicales%2C+2001%2C+22(3)%2C+pp.+2751&aqs=e dge.1.69i64i450l8.2863521j0j4&FORM=ANAB01&PC=ASTS)

Soto, F.; Hernández, A.; Vantour, A.; Morales, M.; Lopetegui, C. M.; Hernández, O.; Garea, E.; Morales, D.; Leyva, Á.; Bertolí, M.; Moreno, I.; Ramírez, A.; Renda, A. y Pérez, A. (2007). Zonificación agroecológica de la cordillera de Guaniguanico. *Revista Cultivos Tropicales*, 28(1), pp. 41-55. <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193215858007.pdf>

- Suárez, G. M. (2013). *Zonificación edafoclimática de Theobroma cacao L. en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa*. (Tesis de grado) Facultad Agroforestal de Montaña. Universidad de Guantánamo.
- Suárez, G. M. (2014). Apuntes sobre la zonificación agroecológica de los cultivos. Particularidades en cuba. *Cultivos tropicales*, 35(4), 36–44. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/906>
- Suazo, C. y Sandoval, J. (2023). Revisión sistemática de la percepción de riesgo en agricultores ante la sequía: factores de influencia, contenidos percibidos, estrategias de adaptación y prácticas asociadas. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), 139-152. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.013>
- Thung, M.; Ortega, J y Erazo, O. (1985). *Tamizado para identificar frijoles adaptados a suelos ácidos*. Alliance Bioversity International - CIAT. <https://alliancebioversityciat.org/publications-data/tamizado-para-identificar-frijoles-adaptados-suelos-acidos>
- Zambrano Mancilla, Gema Andreina, 2020. *Evaluación de zonas agroecológicas sostenibles para el cultivo de plátano (musa paradisiaca) mediante análisis multicriterio, Manabí*. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/849>
- Zambrano, G. (2018). *Evaluación de zonas agroecológicas sostenibles para el cultivo de plátano (musa paradisiaca) mediante análisis multicriterio, Manabí. (tesis de pregrado)* Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Calceta Ecuador.
- Zavaleta, E.J. (2019). *Zonificación agroclimática de los cultivos de fresa (Fragaria chiloensis L.), lechuga (Lactuca sativa L.) y repollo (Brassica oleracea var. capitata L.) en el departamento de chalatenango, El Salvador*. (Tesis de grado). Universidad San Salvador.

## **Anexo 1. Efectos de las variaciones en las precipitaciones, temperaturas extremas, sequias y los eventos climáticos extremos en el cultivo del frijol en Cuba.**

Las variaciones en las *precipitaciones* pueden tener varios efectos en el cultivo del frijol en Cuba. A continuación, se mencionan algunos de ellos:

1. **Estrés hídrico:** Si las precipitaciones son escasas o irregulares, las plantas de frijol pueden sufrir estrés hídrico. Esto significa que no reciben la cantidad de agua necesaria para su crecimiento y desarrollo óptimos. El estrés hídrico puede provocar una disminución en la producción de frijoles y afectar la calidad de los granos.
2. **Retraso en la siembra:** Si las lluvias se retrasan o son insuficientes en la época de siembra, puede ser necesario posponer la siembra del frijol. Esto puede afectar el ciclo de crecimiento de la planta y, en consecuencia, la fecha de cosecha. Un retraso en la siembra puede reducir el rendimiento y la calidad de los frijoles.
3. **Aumento de enfermedades y plagas:** Las variaciones en las precipitaciones también pueden influir en la proliferación de enfermedades y plagas que afectan al cultivo del frijol. Por ejemplo, si hay un aumento en la humedad debido a lluvias intensas, puede haber un mayor riesgo de enfermedades fúngicas que afectan a las plantas de frijol.
4. **Inundaciones:** Las lluvias excesivas pueden provocar inundaciones en los campos de cultivo. El exceso de agua puede dañar las raíces de las plantas de frijol y dificultar su absorción de nutrientes. Además, las inundaciones pueden llevar a la pérdida total de los cultivos si el agua permanece estancada durante mucho tiempo (Domínguez et al., 2019).

Las *temperaturas extremas* pueden tener varios efectos en el cultivo del frijol en Cuba.

1. **Estrés por calor:** Las altas temperaturas pueden causar estrés por calor en las plantas de frijol. Esto puede resultar en una disminución de la fotosíntesis y un

menor crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, el estrés por calor puede afectar negativamente la producción de flores y la formación de vainas, lo que a su vez reduce el rendimiento del cultivo.

2. **Quema de flores y vainas:** Las temperaturas extremadamente altas pueden provocar la quema de flores y vainas de frijol. Esto puede resultar en una menor formación de vainas y una disminución en la producción de frijoles.
3. **Aumento del riesgo de enfermedades y plagas:** Las altas temperaturas pueden crear condiciones propicias para el desarrollo de enfermedades y plagas en el cultivo de frijol. Algunas enfermedades fúngicas y bacterianas, así como ciertos insectos, pueden proliferar más fácilmente en climas cálidos. Esto puede afectar la salud de las plantas y reducir la producción de frijoles.
4. **Impacto en la calidad de los granos:** Las temperaturas extremas, ya sean altas o bajas, pueden afectar la calidad de los granos de frijol. Por ejemplo, altas temperaturas durante la formación de los granos pueden resultar en granos más pequeños o deformados. Además, las bajas temperaturas pueden afectar negativamente la germinación de las semillas y la calidad de los brotes.

Es importante tener en cuenta estas variaciones de temperatura al planificar y gestionar el cultivo del frijol (Argentel et al., 2017).

Las *sequías* pueden tener efectos significativos en el cultivo del frijol en Cuba.

1. **Estrés hídrico:** La falta de agua durante las sequías puede causar estrés hídrico en las plantas de frijol. Esto significa que las plantas no reciben la cantidad necesaria de agua para su crecimiento y desarrollo óptimos. El estrés hídrico puede resultar en una disminución en el rendimiento de los frijoles y afectar la calidad de los granos.
2. **Reducción del crecimiento y desarrollo:** La falta de agua durante las sequías puede retrasar el crecimiento y desarrollo de las plantas de frijol. Esto puede llevar a un menor tamaño de las plantas, menor producción de flores y vainas, y en última instancia, una disminución en la producción de frijoles.

3. **Mayor susceptibilidad a enfermedades y plagas:** Durante las sequías, las plantas de frijol pueden volverse más susceptibles a enfermedades y plagas. La falta de agua debilita las defensas naturales de las plantas, lo que las hace más propensas a ser atacadas por patógenos y plagas. Esto puede resultar en una mayor incidencia de enfermedades y una disminución en el rendimiento del cultivo.
4. **Pérdida de cultivos:** Las sequías prolongadas pueden llevar a la pérdida total de los cultivos de frijol. La falta de agua puede hacer que las plantas se marchiten y mueran, lo que resulta en una pérdida completa de la cosecha.

Es importante implementar prácticas de gestión del agua, como riego eficiente y conservación de la humedad del suelo, para mitigar los efectos de las sequías (Suazo y Sandoval, 2023)

Los *eventos climáticos extremos*, como huracanes y tormentas tropicales, pueden tener impactos significativos en el cultivo del frijol en Cuba.

1. **Daño físico a las plantas:** Los fuertes vientos y las lluvias intensas asociadas con los eventos climáticos extremos pueden causar daños físicos directos a las plantas de frijol. Los vientos fuertes pueden romper tallos, arrancar hojas y dañar la estructura de las plantas. Las lluvias intensas pueden provocar inundaciones en los campos de cultivo, lo que puede ahogar las raíces y dañar los tejidos de las plantas.
2. **Pérdida de cultivos:** Los eventos climáticos extremos pueden resultar en la pérdida total o parcial de los cultivos de frijol. La destrucción de las plantas y la inundación de los campos pueden hacer que los frijoles no sean aptos para su cosecha y comercialización.
3. **Aumento del riesgo de enfermedades y plagas:** Los eventos climáticos extremos pueden crear condiciones propicias para el desarrollo de enfermedades y plagas en el cultivo de frijol. Los daños físicos a las plantas y el ambiente húmedo pueden debilitar las defensas naturales de las plantas, lo que las hace más susceptibles a infecciones y ataques de patógenos y plagas.

4. **Pérdida de nutrientes del suelo:** Las inundaciones causadas por eventos climáticos extremos pueden llevar a la pérdida de nutrientes del suelo. El arrastre de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas puede resultar en una disminución de los rendimientos del cultivo (Sálmon, 2020).

## ***Anexo 2. Descripción de las herramientas utilizadas para la zonificación edafoclimática de cultivos.***

1. **Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG):** Los SIG son herramientas fundamentales en la zonificación edafoclimática, ya que permiten la recopilación, organización, análisis y visualización de datos geoespaciales. Estos sistemas permiten la integración de diferentes tipos de datos, como mapas topográficos, imágenes satelitales, datos climáticos y datos de suelo. Además, los SIG ofrecen una amplia gama de herramientas de análisis espacial, como la interpolación, la superposición de capas y la generación de modelos de predicción.
2. **Uso de la Teledetección:** La teledetección es una herramienta importante en la zonificación edafoclimática, ya que permite la obtención de información sobre el suelo y el clima a través de imágenes satelitales y sensores remotos. Estas imágenes proporcionan datos sobre la vegetación, la temperatura de la superficie, la humedad del suelo y otros parámetros relevantes. La teledetección permite obtener datos a gran escala y de manera continua, lo que facilita la identificación de patrones y tendencias en la distribución edafoclimática.
3. **Estaciones meteorológicas:** Las estaciones meteorológicas son herramientas clave en la zonificación edafoclimática, ya que proporcionan datos precisos y actualizados sobre variables climáticas, como la temperatura, la precipitación, la humedad y la radiación solar. Estos datos son fundamentales para comprender el clima de una región y su influencia en las características del suelo. Las estaciones meteorológicas pueden ser automáticas o manuales, y se instalan en diferentes puntos de la zona de estudio para obtener una cobertura representativa.
4. **Muestreo de suelos:** El muestreo de suelos es una herramienta esencial en la zonificación edafoclimática, ya que permite obtener información detallada sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. El muestreo se realiza mediante la extracción de muestras de suelo en diferentes puntos de la zona de estudio, siguiendo una metodología estandarizada. Estas muestras se analizan en

laboratorio para determinar parámetros como la textura, la capacidad de retención de agua, el pH y la concentración de nutrientes. Estos datos son fundamentales para comprender las características del suelo y su relación con el clima.

5. **Modelos de simulación y pronóstico climático:** Los modelos de predicción son herramientas avanzadas en la zonificación edafoclimática, ya que permiten simular y predecir las condiciones edafoclimáticas en áreas no muestreadas. Estos modelos se basan en relaciones matemáticas y estadísticas entre las variables edáficas, climáticas y otras variables explicativas, como la topografía y la vegetación. Los modelos de predicción pueden ser utilizados para estimar las propiedades del suelo y el clima en áreas no muestreadas, lo que facilita la delimitación de zonas edafoclimáticas.
6. **Herramientas de análisis estadístico:** El análisis estadístico es una herramienta fundamental en la zonificación edafoclimática, ya que permite identificar patrones y relaciones entre las variables edáficas y climáticas. Se utilizan diferentes técnicas estadísticas, como el análisis de componentes principales, el análisis de conglomerados y la regresión múltiple, para identificar grupos de áreas con características similares y para determinar la influencia de diferentes variables en la distribución edafoclimática.

**Anexo 3. Características de los suelos de la provincia Cienfuegos, Mapas.**

**Tabla 1. Hectáreas por tipos de suelos de la provincia Cienfuegos.**

<b>Clave</b>	<b>Definición</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
II	Ferralítico Rojo	27,131.0	5.85
III	Ferralítico Rojo Lixiviado	49,689.26	10.71
IV	Ferralítico Amarillento	42,943.33	9.25
V	Ferralítico Cuarcítico Amarillo Lixiviado	12,983.84	2.80
VI	Ferralítico Cuarcítico Amarillo Rojizo Lixiviado	11,462.11	2.47
VIII	Fersialítico Pardo Rojizo	48,596.53	10.47
IX	Pardos sin Carbonatos	64,245.46	13.85
X	Pardos con Carbonatos	91,460.57	19.71
XI	Pardo Grisáceo	9,379.99	2.02
XII	Humico Carbonático	25,113.81	5.41
XIII	Rendzina Roja	18,107.51	3.90
XIV	Rendzina Negra	18,88.03	0.41
XV	Oscuro Plástico Gleyzado	595.97	0.13
XVI	Oscuro Plástico Gleysoso	17,867.24	3.85
XVII	Oscuro Plástico no Gleyzado	5,447.01	1.17
XIX	Gley Ferralítico	1,248.17	0.27
XX	Gley Amarillento Cuarcítico	1,347.14	0.29
XXVI	Aluvial	11,510.83	2.48
XXVIII	Esquelético	22,994.82	4.96
		<b>464,012.62</b>	

**Fuente:** Departamento Provincial de Suelo y Fertilizantes.

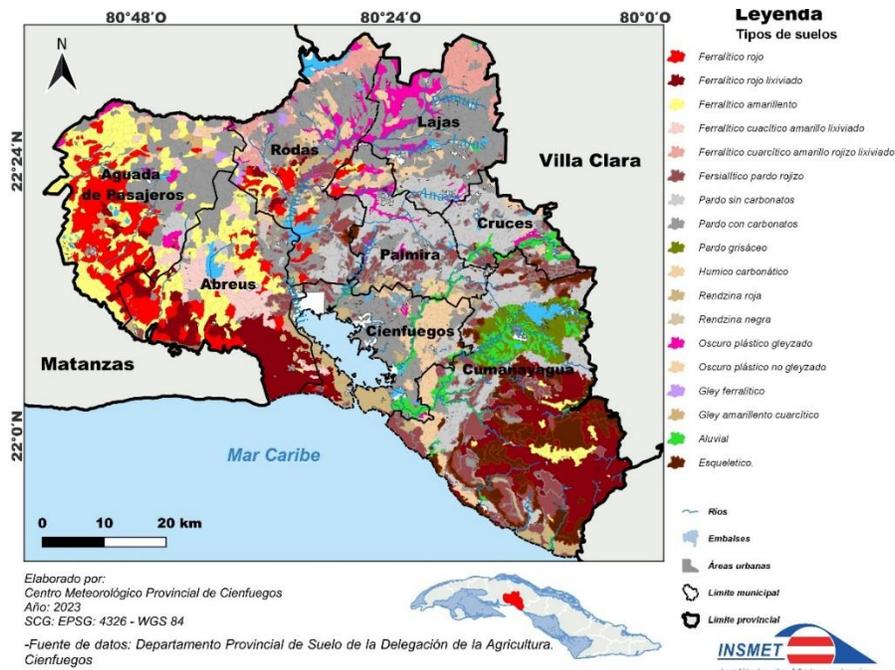
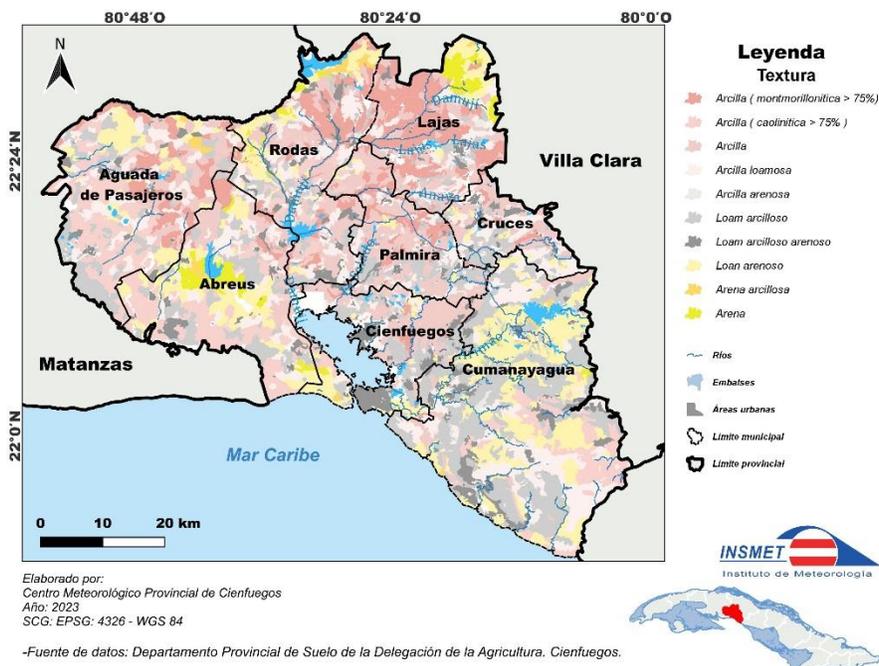


Figura 1. Mapa de tipos de suelos de la provincia Cienfuegos. Fuente: Departamento de Suelos y Fertilizantes

Tabla 2. Áreas por tipo de textura de suelo en la provincia Cienfuegos.

Textura del suelo	Área (ha)	Textura del suelo	Área (ha)
Arcilla montmorillonítica	54,120.97	Loam arcilloso	95,000.12
Arcilla coalinitica	51,291.69	Loam arcilloso arenoso	21,375.06
Arcilla	89,841.7	Loam arenoso	69,141.73
Arcilla loamosa	68,377.21	Arena arcillosa	3,263.02
Arcilla arenoso	3,215.17	Arena	8,386.02

Fuente: Departamento Provincial de Suelos y Fertilizantes.

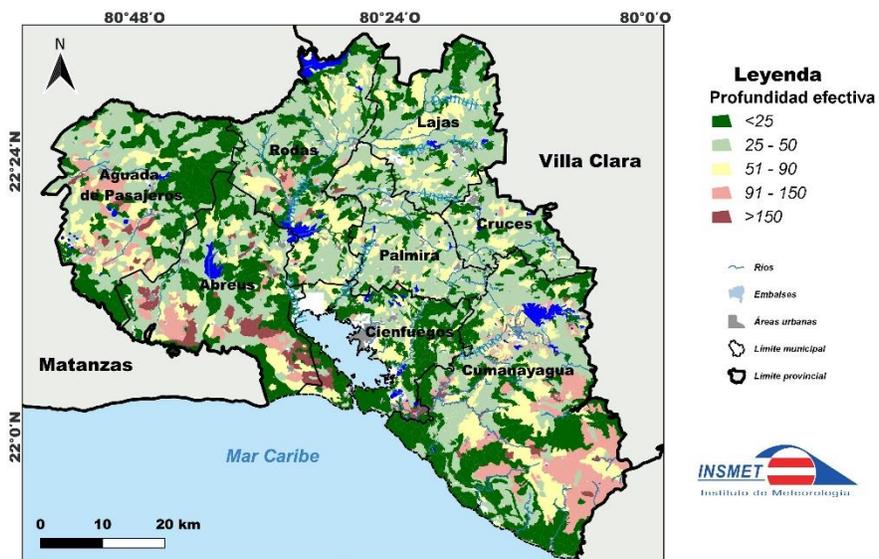


**Figura 2.** Mapa de textura del suelo de la provincia de Cienfuegos. Fuente: Departamento de Suelos y Fertilizantes

**Tabla 3.** Áreas por tipo de profundidad efectiva del suelo en la provincia Cienfuegos.

	<b>Clasificación de la profundidad efectiva</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
P1	Muy profundo (> 150 cm)	12,669.42	2.73
P2	Profundo ( 91-150 cm)	32,293.49	6.96
P3	Medianamente profundo ( 51-90 cm)	73,129.34	15.76
P4	Poco profundo (25-50 cm)	192,560.54	41.50
P5	Muy poco profundo (< 25 cm)	153,359.83	33.05
		<b>464,012.62</b>	

**Fuente:** Departamento Provincial de Suelos y Fertilizantes.



Elaborado por:  
 Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos  
 Año: 2023  
 SCG: EPSG: 4326 - WGS 84

-Fuente de datos: Departamento Provincial de Suelo de la Delegación de la Agricultura, Cienfuegos

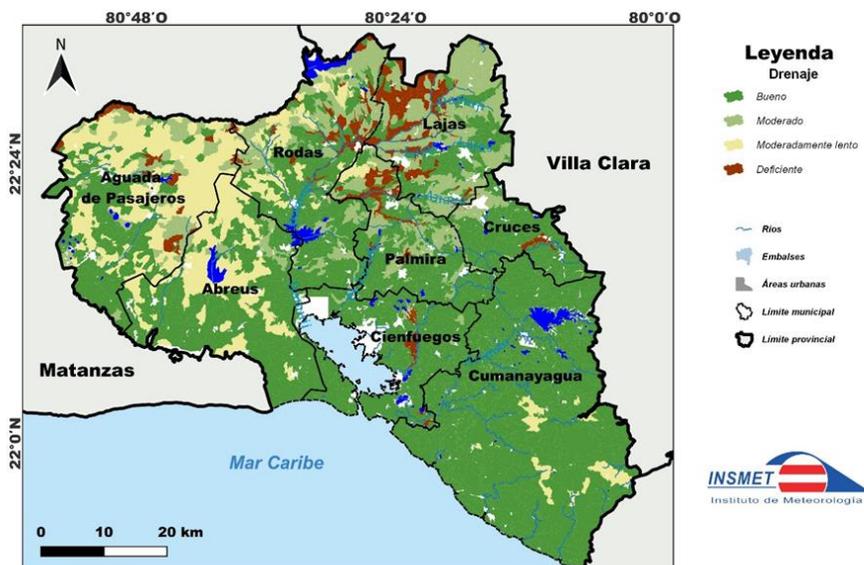


**Figura 3.** Mapa de profundidad efectiva del suelo de la provincia de Cienfuegos. Fuente: Departamento Provincial de Suelos y Fertilizantes.

**Tabla 4.** Áreas por tipo de drenaje del suelo en la provincia Cienfuegos.

	Rangos de drenaje	Área (ha)	%
D1	Bueno	306,418.46	66.0
D2	Moderado	66,887.49	14.4
D3	Moderadamente lento	66,800.95	14.4
D4	Deficiente	23,905.72	5.2
		<b>464,012.62</b>	

**Fuente:** Departamento Provincial de Suelos y Fertilizantes.



Elaborado por:  
 Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos  
 Año: 2023  
 SCS: EPSG: 4326 - WGS 84

-Fuente de datos: Departamento Provincial de Suelo de la Delegación de la Agricultura. Cienfuegos

**Figura 4.** Mapa de drenaje del suelo de la provincia de Cienfuegos. Fuente: Departamento Provincial de Suelos y Fertilizantes.

**Tabla 5.** Áreas por tipo de pendientes en la provincia Cienfuegos.

	<b>Clases de pendiente</b>	<b>Rango</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
T1	Muy llano	0 - 0,4%	0.0	
T2	Llano	0,5 – 1,0%	81,811.95	17.6
T3	Casi llano	1,1- 2,0%	132,357.17	28.5
T4	Ligeramente ondulado	2,1- 4,0%	81,749.66	17.6
T5	Ondulado	4,1- 8,0%	86,697.41	18.7
T6	Fuertemente ondulado	8,1-16,0%	24,441.98	5.3
T7	Alomado	16,1- 30,0%	33,504.15	7.2
T8	Fuertemente alomado	30,1- 45,0%	13,148.4	2.8
T9	Muy fuertemente alomado	45,1- 60%	10,301.9	2.2
T10	Extremadamente alomado	> 60,0%	0.0	
			<b>464,012.62</b>	

**Fuente:** Departamento Provincial de Suelos y Fertilizantes.

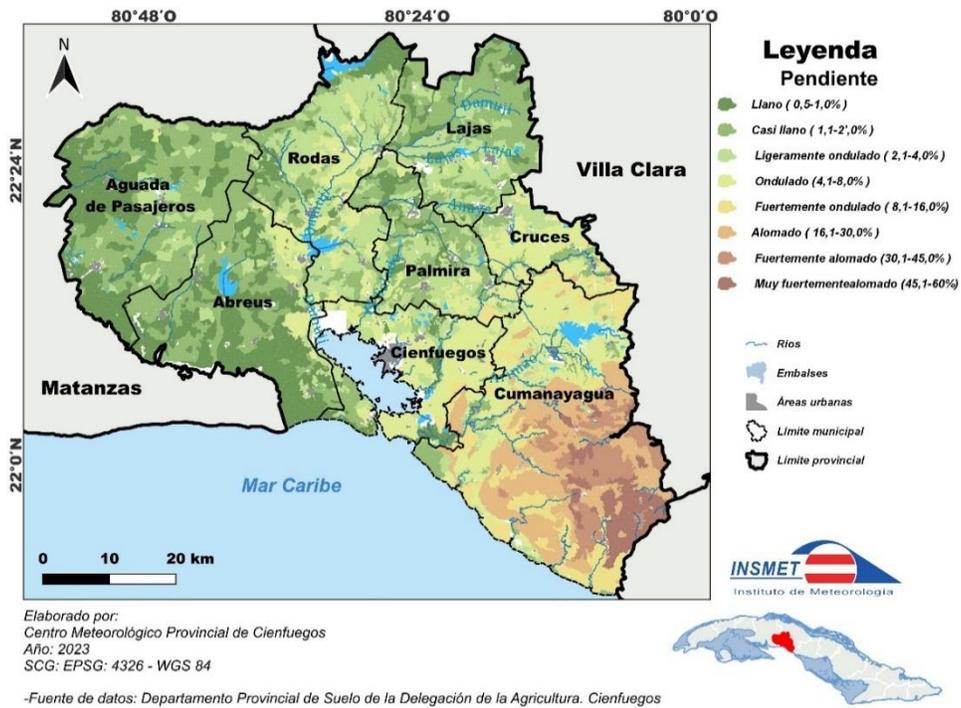


Figura 5. Mapa de pendientes de la provincia de Cienfuegos. Fuente: Departamento de Suelos y Fertilizantes.

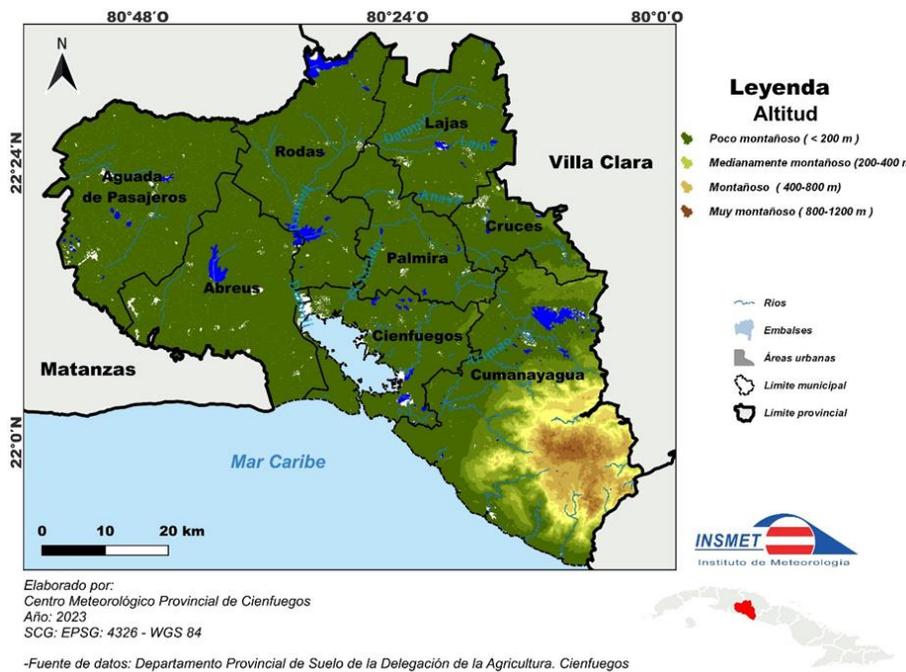


Figura 6. Mapa de altitud del terreno. Fuente: Departamento de Suelos y Fertilizantes.

#### Anexo 4. Datos generales de las estaciones meteorológicas estudiadas.

Estación	Longitud	Latitud	Altura (h)	Distancia a la costa (d)	Estación de validación
78308	-79.9806	22.1144	230	36.8	
78309	-82.8489	21.8353	30.4	7.93	
78310	-84.9514	21.8664	5	0.45	
78312	-83.9564	22.6592	26	1.84	
78313	-84.1142	22.1489	21	10.39	
78314	-83.8294	22.2783	29	10.49	V
78315	-83.6539	22.4044	56.48	17.17	
78316	-83.5614	22.7664	47	5.78	
78317	-83.3072	22.5631	45	23.65	
78318	-83.2186	22.9328	2	2.68	
78319	-74.8442	20.1475	184.8	11.87	
78320	-82.5117	22.78	11.3	10.46	
78321	-82.7578	21.7328	31.72	7.83	V
78322	-82.2939	22.7394	11	4.79	
78323	-82.0389	22.8511	55	20.36	V
78324	-82.5575	21.5628	9.78	0.47	
78325	-82.3422	23.1433	62.3	0.14	
78326	-80.2261	22.5861	45.35	34.75	
78327	-81.5444	22.7672	31	24.15	
78328	-81.2311	23.1592	2	0.11	
78329	-81.0164	22.8164	18.37	24.95	
78330	-81.1436	22.7964	23	24.81	
78331	-81.1375	22.5347	11	28.7	
78332	-80.925	22.6844	35	40.4	V
78333	-81.0317	22.0708	6	0.88	
78334	-74.9558	20.3672	406	30.09	
78335	-80.8261	22.3733	27.44	8.86	
78337	-79.9889	21.7825	24	3.27	
78338	-80.0919	22.8053	12.06	11.06	
78339	-78.3686	22.5389	10	0.06	
78340	-81.9378	23.0024	94	2.95	
78341	-79.2325	21.7389	33	18.29	
78342	-80.015	21.9186	774	12.75	
78343	-79.9911	22.4622	116.44	38.89	V
78344	-80.4442	22.19	42	3.55	
78345	-78.8372	21.6294	3.6	0.72	
78346	-78.7975	21.76	36	13.92	V
78347	-78.7703	22.1636	13	11.56	

78348	-79.4703	22.4967	45.18	2.28	
78349	-79.4478	21.9692	97	35.62	
78350	-78.2506	21.5178	58	32.19	V
78351	-78.0003	20.7378	5	4.04	
78352	-78.1186	21.8414	33	19.14	
78353	-77.2478	21.56	20	0.61	
78354	-77.3211	21.1444	96	34.19	
78355	-77.85	21.4222	119	42.5	
78356	-74.4464	20.2981	165	3.15	V
78357	-76.9436	20.945	105	39.05	V
78358	-76.6139	21.2067	13	0.84	
78359	-77.1606	20.3108	1.98	0.15	
78360	-77.7219	19.84	13	0.3	
78361	-76.9006	20.6947	13	19.77	V
78362	-76.5408	20.9344	109	27.16	
78363	-76.2658	20.2772	123	31.4	V
78364	-75.8172	20.0433	45	2.92	
78365	-75.6206	21.0717	4	0.24	
78366	-75.6342	20.0117	1130	8.89	
78368	-75.2336	20.1344	54	13.61	
78369	-74.1456	20.2419	8	0.48	
78370	-75.7828	20.6725	19	3.84	
78371	-75.7906	20.4869	646.04	23.88	
78372	-76.2211	20.8844	156	24.94	V
78373	-82.3878	22.9783	77	14.81	
78374	-82.14	22.9986	120	18.97	
78375	-82.1147	22.7811	22	12.45	
78376	-82.5378	22.9819	55	6.39	
78377	-76.8925	20.3342	28	22.6	
78378	-76.345	21.0622	61	19.59	

**Nota: (V) --- Estaciones meteorológicas seleccionados para validar la información sobre la temperatura media.**

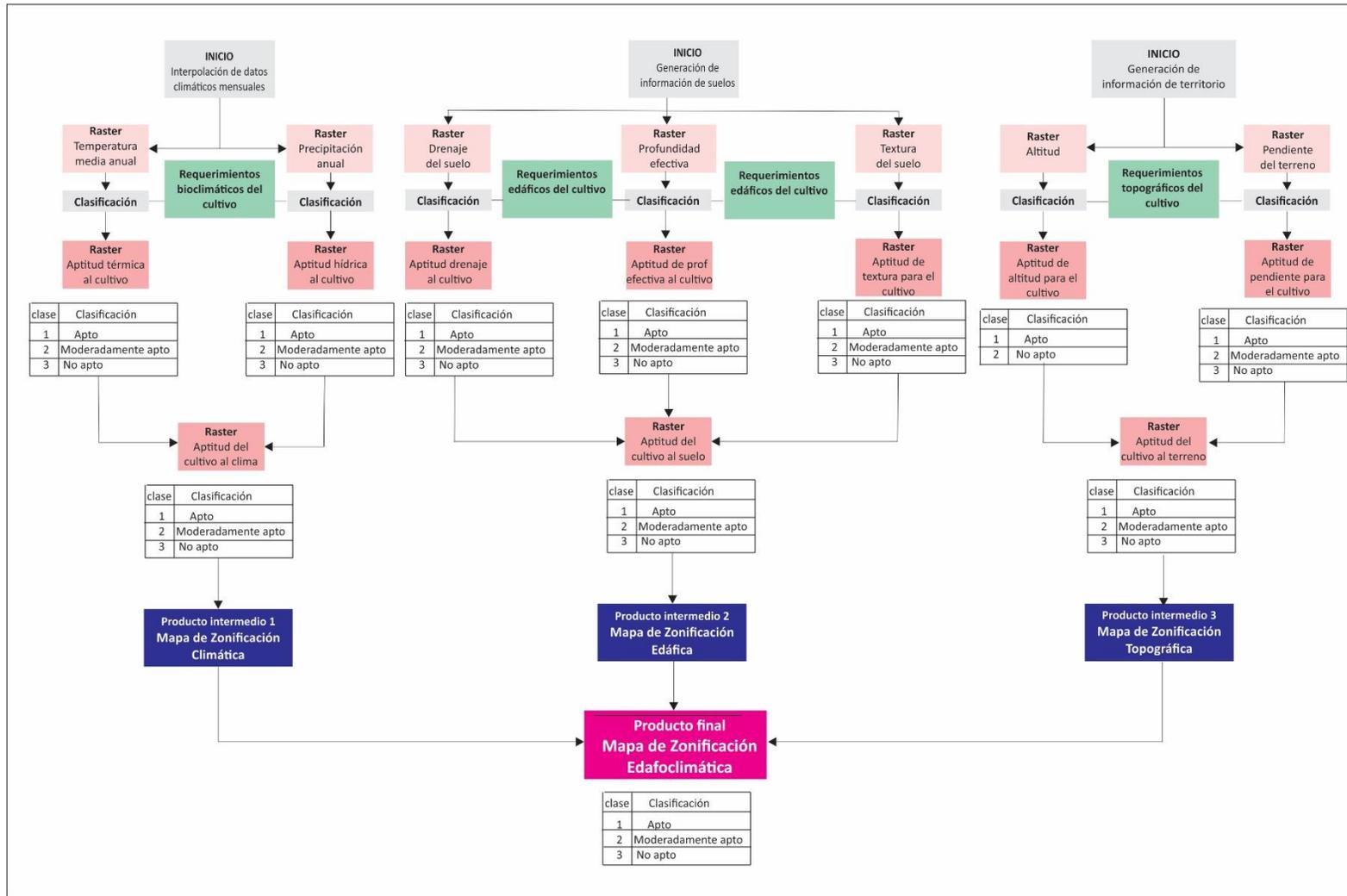
**Anexo 5. Datos generales de las estaciones pluviométricas utilizadas en el estudio.**

<b>Pluviómetro</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Altura (h)</b>	<b>Distancia a la costa (d)</b>	<b>Pluviómetro de validación</b>
4	-80.874	22.339	13.6	30.5	
5	-80.869	22.271	27	24.9	
8	-80.852	22.374	22.3	34.3	V
19	-80.7619	22.3028	32	26.5	
32	-80.6247	22.4469	42	30.7	
35	-80.6364	22.1653	10	9	
89	-80.407	22.161	29.8	4.3	
100	-80.385	22.48	47.7	34.6	
102	-80.367	22.317	70.9	19.6	
105	-80.374	22.245	64.1	12.4	
135	-80.338	22.125	55.6	7	
136	-80.324	22.073	14.5	5.9	
148	-80.273	22.483	64.9	40.2	
159	-80.307	22.161	109.9	12	
164	-80.323	21.991	20.3	2.4	
179	-80.244	22.362	111.9	31	
183	-80.267	22.317	76.4	25.8	
184	-80.337	22.146	49.3	8.5	V
213	-80.217	22.21	90.8	22.7	
216	-80.198	22.143	67.3	20.9	V
225	-80.14	22.213	129.7	29.6	
235	-80.108	22.183	89.4	31.2	V
264	-80.0753	22.2333	100	36.5	
270	-80.071	22.006	620.3	20.7	
414	-80.776	22.456	42.2	39.1	
517	-80.721	22.409	50	31.5	
533	-80.121	22.102	118.6	26.4	
535	-80.7208	22.255	20	20.1	
536	-80.467	22.218	56.2	4.6	V
551	-80.66	22.302	40.6	18.4	
555	-80.901	22.431	20	33.4	
562	-80.671	22.22	17.1	13.8	
565	-80.556	22.096	10.9	3.9	
647	-80.395	22.563	74.6	39.7	
653	-80.551	22.344	12.1	17.9	
658	-80.489	22.205	5.7	2.2	
662	-80.112	22.27	104.3	35.3	

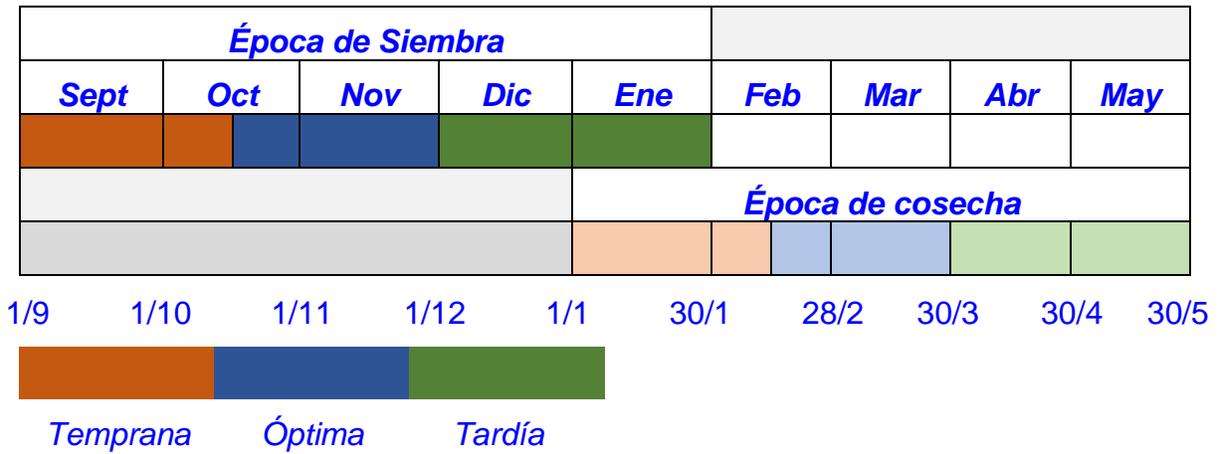
669	-80.213	22.072	237.9	16.8	
675	-80.165	21.9	313.2	6.3	
677	-80.078	21.946	796.3	14.1	V
679	-80.075	21.927	632.2	12.1	
681	-80.13	21.921	600.3	10.2	
695	-80.162	22.087	232.7	22	
701	-80.199	21.987	615.8	11.8	
703	-80.181	22.026	686.3	16.4	V
705	-80.228	21.987	198.6	10.4	V
706	-80.278	22.002	161.2	6.9	
708	-80.222	21.937	138	5.9	
710	-80.24	21.893	40	1.9	
711	-80.141	21.964	784.8	13.5	
819	-80.4586	22.4258	25	26.9	V
823	-80.1444	22.2681	80	32.5	
925	-80.8911	22.2558	3	23.6	V
932	-80.1547	22.1308	100	24.5	
933	-80.5622	22.2797	20	11.1	
935	-80.35	22.4128	40	29.3	
936	-80.195	22.1825	80	23	
946	-80.1367	21.8969	840	7.4	
947	-80.1258	21.9222	690	10.5	
948	-80.1194	22.1622	90	29.1	V
949	-80.0675	21.9508	810	14.9	
959	-80.5364	22.5347	55	38.9	
78335	-80.8261	22.3733	27.4	35.5	
78337	-79.9889	21.7825	24	3.2	
78342	-80.015	21.9186	774	12.7	
78344	-80.4442	22.19	42	3.5	V

**Nota:** (V) --- Pluviómetros seleccionados para validar la información sobre la precipitación

**Anexo 6. Flujo del proceso de zonificación edafoclimática del frijol por componentes independientes en la zona de estudio.**



**Anexo 7. Calendario agrícola del frijol. Fuente: Elaboración propia**



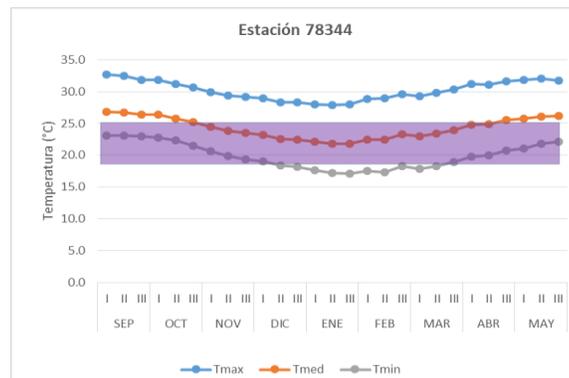
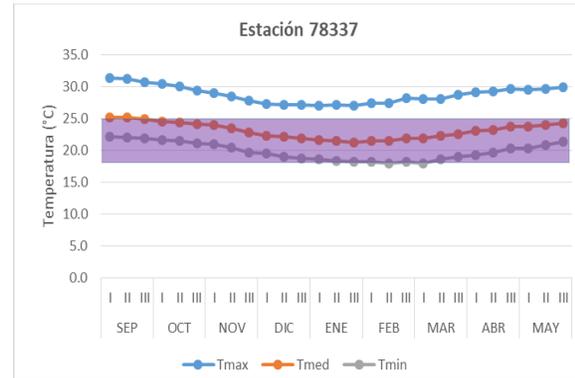
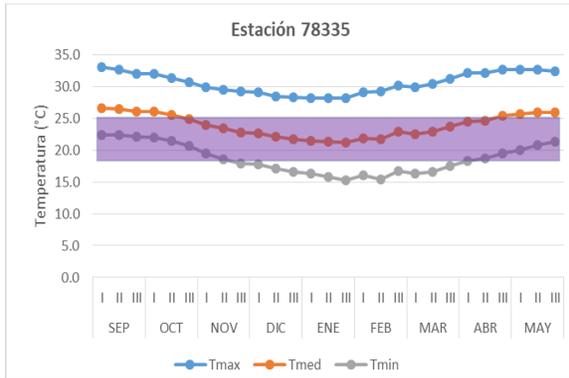
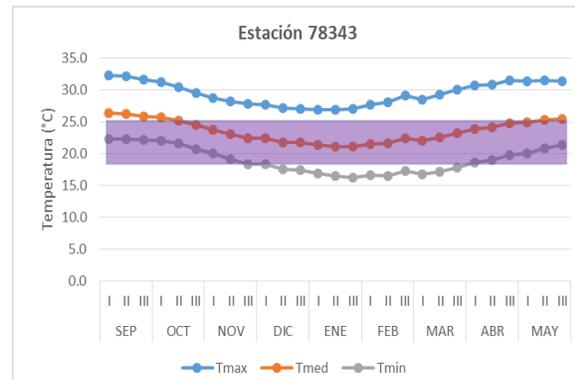
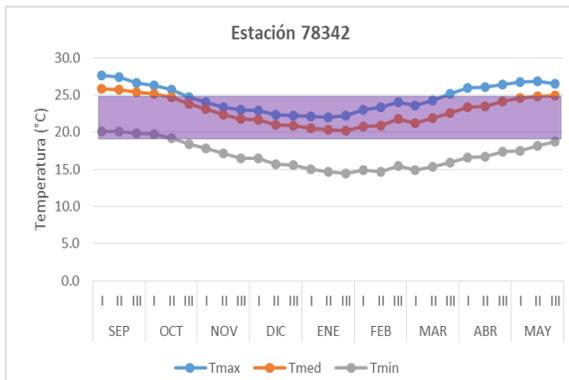
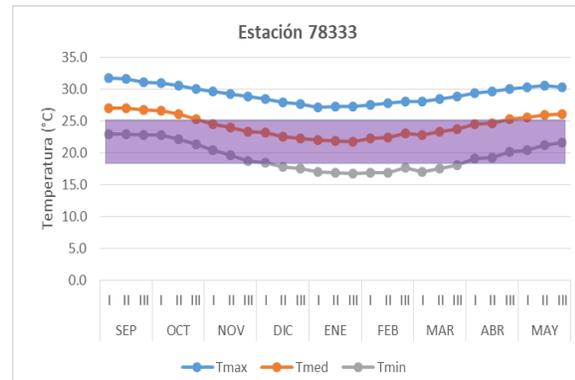
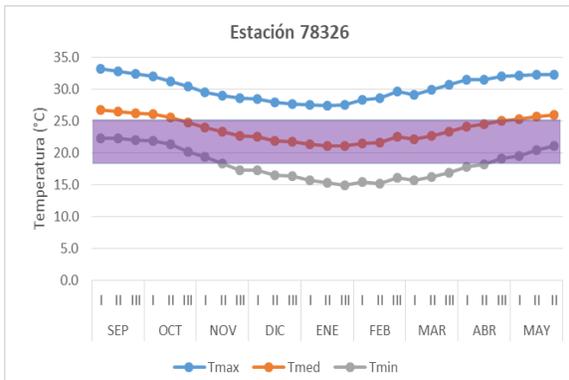
**Anexo 8. Valores promedio de las temperaturas (media, máxima, y mínima) decadal durante la campaña agrícola para las estaciones seleccionadas.**

<b>Tmed (°C)</b>	<b>DECADA</b>	<b>78326</b>	<b>78333</b>	<b>78335</b>	<b>78337</b>	<b>78342</b>	<b>78343</b>	<b>78344</b>
<b>SEP</b>	<b>I</b>	26.7	27.1	26.6	25.1	25.8	26.3	25.8
	<b>II</b>	26.5	27.0	26.5	25.1	25.7	26.2	25.7
	<b>III</b>	26.2	26.7	26.1	24.9	25.4	25.8	25.4
<b>OCT</b>	<b>I</b>	26.1	26.5	26.0	24.5	25.2	25.7	25.2
	<b>II</b>	25.5	26.0	25.5	24.3	24.7	25.2	24.7
	<b>III</b>	24.8	25.3	24.8	24.0	23.8	24.4	23.8
<b>NOV</b>	<b>I</b>	24.0	24.5	24.0	23.9	23.1	23.6	23.1
	<b>II</b>	23.3	24.0	23.4	23.4	22.4	23.1	22.4
	<b>III</b>	22.7	23.4	22.8	22.7	21.8	22.4	21.8
<b>DIC</b>	<b>I</b>	22.6	23.2	22.6	22.3	21.7	22.4	21.7
	<b>II</b>	21.9	22.5	22.1	22.1	21.0	21.8	21.0
	<b>III</b>	21.8	22.2	21.7	21.9	20.9	21.7	20.9
<b>ENE</b>	<b>I</b>	21.3	21.9	21.5	21.6	20.5	21.3	20.5
	<b>II</b>	21.0	21.9	21.3	21.4	20.3	21.0	20.3
	<b>III</b>	21.0	21.8	21.1	21.1	20.2	21.0	20.2
<b>FEB</b>	<b>I</b>	21.5	22.2	21.8	21.5	20.8	21.5	20.8
	<b>II</b>	21.6	22.3	21.8	21.5	20.9	21.6	20.9
	<b>III</b>	22.5	23.1	22.8	21.9	21.8	22.4	21.8
<b>MAR</b>	<b>I</b>	22.2	22.7	22.5	21.8	21.3	22.0	21.3
	<b>II</b>	22.7	23.3	23.0	22.3	21.9	22.6	21.9
	<b>III</b>	23.3	23.7	23.7	22.6	22.6	23.2	22.6
<b>ABR</b>	<b>I</b>	24.1	24.5	24.5	23.1	23.3	23.9	23.3
	<b>II</b>	24.5	24.6	24.6	23.2	23.5	24.1	23.5
	<b>III</b>	25.0	25.3	25.4	23.8	24.2	24.8	24.2
<b>MAY</b>	<b>I</b>	25.3	25.5	25.6	23.8	24.6	24.9	24.6
	<b>II</b>	25.7	25.9	25.9	24.0	24.8	25.2	24.8
	<b>III</b>	25.9	26.0	26.0	24.2	25.0	25.4	25.0

<b>Tmax med (°C)</b>	<b>DECADA</b>	<b>78326</b>	<b>78333</b>	<b>78335</b>	<b>78337</b>	<b>78342</b>	<b>78343</b>	<b>78344</b>
<b>SEP</b>	<b>I</b>	33.2	31.7	33.0	31.3	27.6	32.3	32.6
	<b>II</b>	32.9	31.6	32.7	31.2	27.4	32.1	32.4
	<b>III</b>	32.4	31.0	32.1	30.7	26.7	31.6	31.8
<b>OCT</b>	<b>I</b>	32.0	31.0	32.0	30.4	26.3	31.2	31.9
	<b>II</b>	31.2	30.6	31.3	30.0	25.8	30.4	31.2
	<b>III</b>	30.4	30.1	30.6	29.3	24.8	29.5	30.7
<b>NOV</b>	<b>I</b>	29.5	29.6	29.8	28.9	24.1	28.7	29.9
	<b>II</b>	29.0	29.2	29.5	28.4	23.4	28.1	29.4
	<b>III</b>	28.6	28.8	29.2	27.8	23.1	27.8	29.2
<b>DIC</b>	<b>I</b>	28.4	28.5	29.2	27.3	22.9	27.7	28.9
	<b>II</b>	27.9	27.9	28.5	27.2	22.3	27.1	28.4
	<b>III</b>	27.7	27.7	28.3	27.2	22.3	26.9	28.3
<b>ENE</b>	<b>I</b>	27.5	27.1	28.1	27.1	22.1	26.8	27.9
	<b>II</b>	27.4	27.3	28.2	27.1	22.0	26.9	27.9
	<b>III</b>	27.6	27.3	28.2	27.0	22.2	27.0	28.0
<b>FEB</b>	<b>I</b>	28.3	27.5	29.1	27.4	23.0	27.6	28.8
	<b>II</b>	28.6	27.8	29.2	27.4	23.4	28.0	28.9
	<b>III</b>	29.7	28.1	30.1	28.2	24.1	29.1	29.5
<b>MAR</b>	<b>I</b>	29.1	28.1	29.9	28.0	23.6	28.5	29.3
	<b>II</b>	29.9	28.5	30.4	28.1	24.3	29.2	29.8
	<b>III</b>	30.6	28.8	31.2	28.7	25.2	30.0	30.3
<b>ABR</b>	<b>I</b>	31.4	29.3	32.1	29.2	26.0	30.7	31.1
	<b>II</b>	31.5	29.6	32.1	29.3	26.1	30.8	31.1
	<b>III</b>	32.0	30.1	32.6	29.6	26.4	31.4	31.6
<b>MAY</b>	<b>I</b>	32.1	30.3	32.6	29.5	26.7	31.4	31.8
	<b>II</b>	32.3	30.6	32.7	29.7	26.8	31.4	32.0
	<b>III</b>	32.2	30.3	32.5	29.9	26.5	31.4	31.7

<b>Tmin med (°C)</b>	<b>DECADA</b>	<b>78326</b>	<b>78333</b>	<b>78335</b>	<b>78337</b>	<b>78342</b>	<b>78343</b>	<b>78344</b>
<b>SEP</b>	<b>I</b>	22.2	22.9	22.4	22.2	20.1	22.3	23.0
	<b>II</b>	22.2	22.9	22.3	22.0	20.1	22.3	23.1
	<b>III</b>	22.0	22.8	22.2	21.9	19.8	22.1	22.9
<b>OCT</b>	<b>I</b>	21.8	22.7	22.0	21.6	19.8	22.0	22.8
	<b>II</b>	21.4	22.2	21.5	21.5	19.2	21.6	22.3
	<b>III</b>	20.1	21.3	20.6	21.0	18.4	20.7	21.5
<b>NOV</b>	<b>I</b>	19.3	20.4	19.5	21.0	17.8	20.0	20.6
	<b>II</b>	18.3	19.6	18.5	20.4	17.2	19.1	19.9
	<b>III</b>	17.3	18.7	17.9	19.6	16.5	18.3	19.3
<b>DIC</b>	<b>I</b>	17.2	18.5	17.8	19.5	16.5	18.3	19.0
	<b>II</b>	16.4	17.7	17.1	19.0	15.7	17.6	18.4
	<b>III</b>	16.4	17.5	16.6	18.7	15.5	17.4	18.2
<b>ENE</b>	<b>I</b>	15.6	17.0	16.3	18.6	15.0	16.9	17.6
	<b>II</b>	15.3	16.8	15.8	18.3	14.6	16.5	17.2
	<b>III</b>	14.9	16.7	15.3	18.1	14.5	16.2	17.1
<b>FEB</b>	<b>I</b>	15.4	16.8	16.0	18.2	14.9	16.7	17.6
	<b>II</b>	15.1	16.8	15.4	18.0	14.7	16.4	17.3
	<b>III</b>	16.1	17.6	16.8	18.2	15.5	17.3	18.3
<b>MAR</b>	<b>I</b>	15.7	17.0	16.3	17.9	14.9	16.8	17.8
	<b>II</b>	16.2	17.5	16.6	18.6	15.4	17.1	18.3
	<b>III</b>	16.9	18.1	17.5	19.0	15.9	17.8	18.9
<b>ABR</b>	<b>I</b>	17.8	19.0	18.3	19.3	16.6	18.5	19.7
	<b>II</b>	18.2	19.3	18.7	19.6	16.7	19.0	19.9
	<b>III</b>	19.1	20.2	19.5	20.3	17.4	19.7	20.7
<b>MAY</b>	<b>I</b>	19.5	20.4	20.0	20.3	17.5	20.0	21.0
	<b>II</b>	20.4	21.1	20.8	20.9	18.2	20.8	21.8
	<b>III</b>	21.1	21.6	21.4	21.3	18.8	21.3	22.2

**Anexo 9. Promedio multianual (1991-2020) de la temperatura decadal para la campaña agrícola del frijol (septiembre – mayo) en 7 estaciones meteorológicas.**  
**Fuente: Elaboración propia.**



**Anexo 10. Mes y decena donde se alcanzaron los valores mínimos y máximos de la precipitación en el periodo agrícola del frijol en Cienfuegos. Periodo 1991 – 2020.**

<b>ESTACION</b>	<b>MES/DEC</b>	<b>VAL MIN (mm)</b>	<b>MES/DEC</b>	<b>VAL MAX (mm)</b>	<b>ACUM (mm)</b>
78335	1/II	7.2	5/III	110.7	871.8
89	1/II	9.3	5/III	76.7	850.5
669	3/I	8.9	5/III	111.6	1088.1
105	2/III	7.3	5/III	74.5	776.6
183	12/II	6.2	5/III	96	836.5
935	12/II	7.6	5/III	94.7	811.5
653	12/II	8.6	5/III	110.7	916.1
562	2/III	5.2	5/III	95.3	851.8

***Fuente: Elaboración propia.***

**Anexo 11. Valores acumulados de la precipitación decadal durante la campaña agrícola para las estaciones seleccionadas.**

<b>MESES</b>	<b>DECADA</b>	<b>78335</b>	<b>89</b>	<b>669</b>	<b>105</b>	<b>183</b>	<b>935</b>	<b>653</b>	<b>562</b>	<b>TOTAL</b>
<b>SEP</b>	I	74.4	72.8	94.2	80.1	83.5	82.9	88.1	88.0	<b>664.0</b>
	II	66.3	68.1	75.9	55.7	84.0	60.5	69.9	65.1	<b>545.5</b>
	III	83.9	75.4	115.5	65.6	68.6	72.6	86.8	81.4	<b>649.8</b>
<b>OCT</b>	I	56.2	71.4	84.0	69.9	55.4	52.2	63.5	70.3	<b>522.9</b>
	II	79.9	74.8	92.6	65.9	73.9	66.0	83.5	65.5	<b>602.1</b>
	III	37.8	50.9	65.2	32.6	36.6	33.8	36.9	37.6	<b>331.4</b>
<b>NOV</b>	I	20.7	19.9	49.0	18.9	21.9	18.1	22.2	21.0	<b>191.7</b>
	II	13.7	15.8	30.4	13.1	19.0	15.3	12.4	8.8	<b>128.5</b>
	III	9.6	10.0	10.2	11.2	8.5	11.2	9.3	10.6	<b>80.6</b>
<b>DIC</b>	I	10.3	16.2	13.8	12.1	9.3	9.9	15.3	14.2	<b>101.1</b>
	II	12.1	9.8	11.0	8.5	6.2	7.6	8.6	9.1	<b>72.9</b>
	III	10.0	9.6	11.5	13.3	12.5	13.6	8.9	12.3	<b>91.7</b>
<b>ENE</b>	I	7.2	11.2	19.0	13.2	12.0	9.9	9.7	8.8	<b>91.0</b>
	II	11.9	9.3	17.7	10.8	11.4	9.6	10.9	12.3	<b>93.9</b>
	III	11.7	12.0	10.8	8.3	13.5	19.8	11.7	15.2	<b>103.0</b>
<b>FEB</b>	I	13.6	16.0	12.0	9.9	9.5	16.4	16.3	10.1	<b>103.8</b>
	II	8.1	10.3	12.0	12.0	7.7	7.7	8.6	5.2	<b>71.6</b>
	III	12.4	11.3	10.3	7.3	9.8	12.4	14.8	13.4	<b>91.7</b>
<b>MAR</b>	I	13.8	12.2	8.9	9.2	9.9	9.4	11.4	10.3	<b>85.1</b>
	II	16.3	13.8	11.1	8.5	13.4	12.7	13.9	14.9	<b>104.6</b>
	III	13.5	14.0	21.3	17.3	11.1	12.7	16.9	11.9	<b>118.7</b>
<b>ABR</b>	I	16.8	23.2	22.9	19.1	20.4	7.7	20.1	15.1	<b>145.3</b>
	II	21.7	22.5	19.9	15.7	20.9	24.2	21.7	17.2	<b>163.8</b>
	III	36.5	29.3	32.4	39.7	33.0	40.7	37.1	36.7	<b>285.4</b>
<b>MAY</b>	I	47.2	36.3	52.8	33.8	32.0	41.6	41.5	43.2	<b>328.4</b>
	II	55.5	57.7	72.1	50.4	56.5	48.3	65.4	58.3	<b>464.2</b>
	III	110.7	76.7	111.6	74.5	96.0	94.7	110.7	95.3	<b>770.2</b>

**Anexo 12. Promedio multianual (1990 – 2020) de la precipitación acumulada decadal para la campaña agrícola del frijol (septiembre – mayo) en ocho estaciones de la provincia Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia.**

