

Zonificación edafoclimática de *Phaseolus vulgaris* L. en la provincia de Cienfuegos



Soil and climate zoning of *Phaseolus vulgaris* L. in the province of Cienfuegos

<https://cu-id.com/2377/v30n4e09>

✉ Dianelly Gómez Díaz^{1*}, ✉ Mariangel Medina Agüero¹, ✉ Yhosvanni Pérez Rodríguez²,
✉ Miguel Ángel Porres García¹, ✉ Sinaí Barcia Sardiñas³, ✉ Endris Yoel Viera González¹

¹Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cuba.

²Universidad de Cienfuegos “Carlos R. Rodríguez”, Cuba.

³Investigador independiente, E.E.U.U.

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 determinar zonas óptimas de la provincia de Cienfuegos para el cultivo de *Phaseolus vulgaris* L., con el uso del sistema de información geográfica, en función de alcanzar un mayor rendimiento. La metodología utilizada se fundamentó en la desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura para la zonificación agroecológica, adecuada a las condiciones concretas de la especie y el territorio estudiado. Se obtuvo el mapa de zonificación edafoclimática de la provincia para el cultivo del frijol común a través del análisis multicriterio y la superposición ponderada de mapas temáticos en conformidad a las variables climáticas (temperatura y precipitación), edáficas (drenaje, textura del suelo y profundidad efectiva) y topográficas (pendiente y altitud) locales. Los resultados permitieron obtener una superficie total de 188 675,87 ha⁻¹ con condiciones edafoclimáticas adecuadas para el desarrollo del frijol común.

Palabras claves: análisis multicriterio, caracterización edafoclimática, frijol común, sistemas de información geográfica.

ABSTRACT: Beans are one of the fundamental grains in the Cuban diet, along with rice and root vegetables; it is a preferred food in the daily diet. The research was carried out with the aim of determining optimal areas in the province of Cienfuegos for the cultivation of *Phaseolus vulgaris* L., using geographic information systems, in order to achieve higher yields. The methodology used was based on that developed by the Food and Agriculture Organization of the United Nations for agroecological zoning, adapted to the specific conditions of the species and the studied territory. The edaphoclimatic zoning map of the province for the cultivation of common beans was obtained through multicriteria analysis and weighted overlay of thematic maps, taking into account local climate variables (temperature and precipitation), soil variables (drainage, soil texture, and effective depth), and topographic variables (slope and altitude). The results allowed for the identification of a total area of 188,675.87 ha⁻¹ with suitable edaphoclimatic conditions for the development of common beans.

Key words: multicriteria analysis, edaphoclimatic characterization, common bean, geographic information systems.

INTRODUCCIÓN

El frijol común *Phaseolus vulgaris* L. constituye un cultivo de gran importancia entre las leguminosas de granos (Escalante *et al.* 2001; 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).

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

*Autor para correspondencia: Dianelly Gómez Díaz. E-mail: dianellygomez2310@gmail.com

Recibido: 10/01/2024

Aceptado: 18/03/2024

Conflicto de intereses: declaramos, no tener ningún conflicto de interés

Contribución de los autores: **Conceptualización:** Dianelly Gómez Díaz, Sinaí Barcia Sardiñas, Yhosvanni Pérez Rodríguez y Mariangel Medina Agüero. **Curación de datos:** Dianelly Gómez Díaz, Miguel Ángel Porres García, Endris Yoel Viera González y Sinaí Barcia Sardiñas. **Investigación:** Dianelly Gómez Díaz, Yhosvanni Pérez Rodríguez, Mariangel Medina Agüero, Sinaí Barcia Sardiñas y Miguel Ángel Porres García. **Metodología:** Dianelly Gómez Díaz, Yhosvanni Pérez Rodríguez, Sinaí Barcia Sardiñas. **Supervisión:** Dianelly Gómez Díaz, Yhosvanni Pérez Rodríguez, Sinaí Barcia Sardiñas y Endris Yoel Viera González. **Visualización:** Dianelly Gómez Díaz, Mariangel Medina Agüero, Miguel Ángel Porres García, y Sinaí Barcia Sardiña

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

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 calidad de suelo, la sanidad vegetal y animal, y el clima constituyen 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 un factor determinante 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. De igual forma, se debe considerar características como la textura, profundidad y capacidad de retención de agua del suelo para asegurar un óptimo desarrollo radicular (Ruiz *et al.*, 2013).

De la misma manera, el clima es otro factor esencial que debe considerarse en la zonificación del cultivo de frijol. Este cultivo es adaptado 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 frijol, 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 de un cultivo representa la sectorización del territorio con diferentes criterios, para determinar unidades geográficas homogéneas, desde el punto de vista de sus características físicas, biológicas, sociales y económicas, con potencial ecológico para el establecimiento de sistemas agrícolas de uso sostenible (Espinosa y Orquera, 2007; Olivares *et al.*, 2018; Suárez, 2014). Un aspecto relevante en este estudio, está asociado con el uso más racional de los recursos naturales (Garea *et al.*, 2008), por medio de la planificación y el ordenamiento del espacio (Soto *et al.*, 2007), además del aumento de la compatibilidad entre las exigencias de los cultivos, y las condiciones agroecológicas del medio (Food and Agriculture Organization (FAO, 1997).

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 *et al.*, 2019; Goyzueta, 2019; Ramírez y Sayuri, 2019; Zavaleta, 2019; SIAP, 2019; Díaz *et al.*, 2020; Guerrero y Samamé, 2020; Fernández y Huamani, 2021; Del Rosario *et al.*, 2022).

En Cuba se han desarrollado estudios de ZEC, entre los más significativos se encuentran: Soto *et al.* (2002, 2007), Suárez (2013, 2014), Pérez e Hidalgo (2016). Hernández *et al.* (2019) realizaron estudios 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, y se confeccionan mapas mediante el Sistema de Información Geográfica ArcGIS. Al mismo tiempo, 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), realizaron la regionalización climática de la provincia de Holguín sobre la base de la Norma climática 1981-2010 y utilizaron las variables temperatura y precipitación correspondientes a las estaciones meteorológicas y pluviométricas seleccionadas. En este estudio permite se identificaron tres zonas climáticas en la provincia: zona costera, zona montañosa y zona interior. Por su parte, Suárez (2014) realizó apuntes sobre la ZAE con el objetivo de reseñar los principales aspectos de la ZAE de los cultivos y sus particularidades en Cuba. Por lo expuesto anteriormente, el 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 al exponer las principales definiciones sobre la zonificación agroecológica, y 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.

Suárez (2013), realizó la 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. Como antecedentes en la provincia de Cienfuegos se encuentra el trabajo realizado por Rodríguez *et al.* (2015) quienes

realizaron la zonificación agroecológica para el cultivo del mango *Manguifera 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.

El **objetivo general** de este trabajo consiste en determinar zonas óptimas de la provincia de Cienfuegos para el cultivo de *Phaseolus vulgaris* L. con el uso de sistemas de información geográfica.

La investigación realizada pretende establecer las bases de la Zonificación edafoclimática del cultivo del frijol común en la provincia de Cienfuegos. Esta 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).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La provincia de Cienfuegos 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 4 188,61km², que representa aproximadamente el

4,0% de la superficie total del país (ONEI, 2021). Las principales tendencias climáticas en la provincia se corresponden con las observadas en el territorio nacional, con un aumento del régimen térmico y en cuanto a las precipitaciones se registran las mayores disminuciones en el bimestre mayo-junio, comportamiento que ha sido recurrente en los últimos años y uno de los elementos que más ha influido en los eventos de sequía meteorológica más recientes (Barcia *et al.*, 2011).

Suelos

Los tipos de suelos más representativos de la provincia son los Pardos con Carbonatos con 91 460,6 ha⁻¹ (21,2%), Pardos sin Carbonatos abarcando 64 245,5 ha⁻¹ (14,9%), Ferralítico Rojo Lixiviado que ocupan 49 689,13 ha⁻¹ (11,5%) y Fersialítico Pardo Rojizo con 48 596,5 ha⁻¹ (11,3%). Los demás tipos de suelos representan el 55,7% del territorio.

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.



Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio

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

Superficie	Mha	%
Agrícola	290,4	69,3
Cultivos Temporales	44,2	10,6
Cultivos Permanentes	90,2	21,5
Ganadería	156,0	37,2
No Agrícola	128,5	30,7
Forestal	88,3	21,1
No apta	40,2	9,6
Total	418,9	100

Fuente: ONEI, 2021

Requerimientos del Cultivo del frijol

La definición de los requerimientos edafoclimáticos y fisiográficos del frijol se obtuvo mediante la recopilación y 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)).

Análisis climático

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 el mapa de temperatura media del aire 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.

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

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. Se empleó para el mapa de precipitación acumulada del periodo agrícola la rejilla de 4x4 km

la provincia de Cienfuegos que la divide en 280 puntos. Esta información fue validada según la metodología establecida por el Instituto de Meteorología (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.

Análisis edáfico

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. Las variables edáficas analizadas fueron la textura de suelos, el tipo de drenaje, la profundidad efectiva, la pendiente del terreno y la altitud.

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

Zonificación edafoclimática

Se tomó como referencia la metodología de la ZAE propuesta por la FAO (1997), 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 (2013, 2014), Inzunza *et al.* (2006), y Soto *et al.* (2001, 2007), 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 etapa se dividió en tres fases:

Fase 1: Determinación de los requerimientos edafoclimáticos del cultivo

Se describieron los requerimientos climáticos: temperatura y precipitación y los requerimientos edafológicos: textura, profundidad efectiva, drenaje, pendiente y altitud necesarios para el crecimiento óptimo del frijol común.

Fase 2: Caracterización climática

Se realizó el estudio de las características del clima (temperatura y precipitación) para el periodo agrícola que se extiende desde el 1 de septiembre hasta el 31 de mayo.

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 tablas dinámicas para determinar la temperatura promedio mensual y media para el periodo agrícola. Se procesó de igual forma la base de datos pluviométrica para determinar el promedio mensual y acumulado de precipitación para el periodo agrícola del cultivo.

Generación de mapas

La cartografía de la temperatura media del aire 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. \(2005\)](#), [Barcia y Castillo \(2015\)](#), [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.

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.

Etapa 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 propuesto por [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.

La [Tabla 2](#) muestra las etiquetas utilizadas para identificar cada una de las zonas de agrupamiento.

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

Con el fin de establecer los rangos adecuados para el cultivo, fue necesario reclasificar los valores de cada una de las variables analizadas en el estudio a partir de los requerimientos climáticos, edáficos y topográficos. La reclasificación de los valores iniciales de temperatura media y precipitación acumulada en el período agrícola son mostrados en la [Tabla 3](#).

Tabla 2. Simbolización de las zonas de agrupamiento.

Símbolo	Grado de aptitud	Descripción
	<i>Apta (1)</i>	Áreas en donde las condiciones naturales, ya sean de clima, suelo y relieve presentan las mejores características para el establecimiento del cultivo.
	<i>Moderadamente Apta (2)</i>	Áreas en donde las condiciones naturales, ya sean de clima, suelo y relieve presentan restricciones y pueden ser mejoradas con prácticas de manejo adecuadas.
	<i>No Apta (3)</i>	Áreas en donde no se puede establecer el cultivo en condiciones naturales.

Fuente: elaboración propia

La reclasificación de los valores iniciales de textura, profundidad efectiva y drenaje son mostrados en la **Tabla 4**.

En la **Tabla 5** se muestra la reclasificación de los valores iniciales de pendiente y altitud.

Utilizando los mapas vectoriales de temperatura y precipitación y los criterios de agrupamiento de dichas variables se confeccionaron los mapas raster de zonificación térmica y zonificación hídrica. Ambos mapas fueron superpuestos utilizando los valores de ponderación de cada variable lo que permitió generar el mapa de zonificación climática.

Utilizando los mapas vectoriales de textura, profundidad efectiva y drenaje, así como los criterios de agrupamiento de dichas variables se confeccionaron los mapas raster de zonificación por textura, por profundidad efectiva y por drenaje. Estos tres mapas fueron superpuestos utilizando los valores de ponderación de cada variable lo que permitió generar el mapa de zonificación edáfica.

Por último, utilizando los mapas vectoriales de pendiente y altitud y los criterios de agrupamiento de dichas variables se confeccionaron los mapas raster de zonificación por pendiente y zonificación por altitud. Ambos fueron superpuestos utilizando los valores de ponderación de cada variable lo que permitió generar el mapa de zonificación topográfica.

El análisis se realizó mediante el uso de herramientas SIG, específicamente el software QGIS

versión 3.28, que facilita la elaboración de mapas temáticos y la ponderación de indicadores clave.

Para determinar los valores de ponderación para cada variable utilizada en el estudio se aplicó una encuesta, como método empírico, a 12 especialistas de diferentes entidades del territorio: Sanidad Vegetal (3), Empresa Nacional de Proyectos Agropecuarios (4), Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos (3) y Delegación Provincial de la Agricultura (2). La selección de estos especialistas se hizo teniendo en cuenta los siguientes criterios: experiencia profesional, disposición a participar en la encuesta, capacidad de análisis y de pensamiento y trayectoria científico - técnica.

Para la elaboración de la encuesta se utilizaron los fundamentos teóricos resultado de la consulta de las bibliografías nacionales e internacionales existentes. La encuesta elaborada contó de 3 preguntas, las que permitieron una secuencia lógica de elementos propuestos a consultar.

Los resultados de dicha encuesta permitieron definir los porcentajes en orden de importancia de cada una de las variables analizadas en el estudio (**Tabla 6**).

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,

Tabla 3. Reclasificación de las variables climáticas a raster.

Temperatura media (°C)		Precipitación acumulada (mm)	
Rango	Grado de aptitud	Rango	Grado de aptitud
18-25	1	800 -1000	1
11-17	2	600-799	2
26-34	2	1001-1200	2
>35	3	>1200	3
<10	3	<600	3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Reclasificación de las variables edáficas a raster.

Textura		Profundidad efectiva (cm)		Drenaje	
Rango	Grado de aptitud	Rango	Grado de aptitud	Rango	Grado de aptitud
Arcilla loamosa, Loam arcilloso	1	>51	1	Bueno	1
Arcilla montmorillonítica, Arcilla coalinitica, Arcilla	2	25-50	2	Moderado	2
Loam arcilloso arenoso, Loam arenoso, Arcilla arenoso, Arena Arcillosa, Arena	3	<25	3	Moderadamente lento y Deficiente	3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Reclasificación de las variables topográficas a raster.

Pendiente (%)		Altitud (msnm)	
Rango	Grado de aptitud	Rango	Grado de aptitud
0 - 2,	1	0 -700	1
2.1 - 4,0	2	> 700	3
> 4,0	3		

Fuente: Elaboración propia

edáficos y aspectos relacionados a las características del territorio. Para elaborar este mapa se combinan los mapas de zonificación climática, edáfica y topográfica haciendo uso del SIG. Se utilizó los valores ponderados de las variables que se muestran en la [Tabla 7](#).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización edafoclimática de la provincia Cienfuegos en función del cultivo del frijol

Determinación de los requerimientos edafoclimáticos del cultivo

- *Requerimientos climáticos*

En el análisis de los requerimientos climáticos del cultivo del frijol se tienen en cuenta los criterios de diferentes autores. Para el análisis de la temperatura, [Icaza \(1971\)](#); [Ávila et al. \(2014\)](#) y [Aceves et al. \(2008\)](#) refieren que los umbrales térmicos del frijol se encuentran entre 10 y 35 °C y 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. Por su parte, [Hernández \(2009\)](#) considera que 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 este sentido, [Aquino \(1988\)](#) considera a las temperaturas altas en Cuba son una causa limitante de la producción en verano.

La precipitación es otro factor climático importante a considerar en la zonificación edafoclimática del cultivo del frijol común en Cuba, requiere una cantidad adecuada de agua para su crecimiento y desarrollo. En general, 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 para obtener buenos rendimientos. Sin embargo, es importante tener en

cuenta la distribución de la precipitación a lo largo del año, ya que es un cultivo sensible a periodos de sequía durante etapas críticas de su ciclo de crecimiento ([Salcedo, 2008](#)). 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.

[Faure \(2015\)](#) refieren en cuanto a los requerimientos edafológicos que el suelo es esencial para el frijol porque le facilita el anclaje y le proporciona el agua y los nutrientes necesarios para su crecimiento, desarrollo y producción. La textura del suelo, la profundidad efectiva y el drenaje son las propiedades físicas más determinantes para dicho cultivo.

En cuanto a la textura los suelos [Maqueira et al. \(2021\)](#) plantean que los suelos con textura media son ideales para el desarrollo del cultivo porque poseen una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla, conocida como suelo franco. 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. Por su parte, [Ávila et al. \(2014\)](#) y [Jara y Navarro \(2021\)](#) refieren que los suelos gravosos o arenosos (suelos gruesos) son suelos poco fértiles con baja retención de humedad lo que produciría una planta con baja potencia.

Dentro de las variables edáficas la profundidad efectiva es considerada la fundamental teniendo en cuenta que 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 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](#)).

Tabla 6. Ponderación de importancia de las variables analizadas.

Zonificación climática		Zonificación edáfica		Zonificación topográficas	
Variables	%	Variables	%	Variables	%
Temperatura	40	Profundidad efectiva	40	Pendiente	50
Precipitación	60	Drenaje	30	Altitud	50
		Textura	30		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Ponderación de importancia de las variables para la zonificación edafoclimática.

Zonificación edafoclimática	
Variable	%
Climáticas	40
Edáficas	30
Topográficas	30

Fuente: Elaboración propia

El drenaje del suelo es otra variable clave a considerar en la zonificación del cultivo del *Phaseolus vulgaris* L. Es una planta que requiere un equilibrio adecuado de agua en el suelo. Faure (2015) plantean que el frijol requiere suelos aireados y con buen drenaje, este cultivo 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, evitando áreas con suelos con problemas de encharcamiento o de excesivo drenaje (Doorenbos y Kassam, 1979).

Faure (2015) enfatiza que el cultivo del frijol requiere suelos con pendiente suave entre 0 - 2%. Suelos con pendiente mayor de 4% son considerados no aptos, porque 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).

Escoto (2004) refiere que el frijol se cultiva con buenos resultados en una altura entre 0-700 metros, por lo que se recomienda su siembra en las zonas costeras. Maqueira et al. (2017) refieren que la altitud tiene relación directa con 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 común. 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 este cultivo, eligiendo áreas con altitudes adecuadas que permitan un crecimiento óptimo de las plantas.

Caracterización climática

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

La provincia presentó una temperatura media para el periodo agrícola del cultivo del frijol en el período 1991-2020 entre 20 - 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. Los mayores valores (24 - 25 °C) se observaron hacia el sur de la provincia, en las zonas pre montañosas oscila entre 21°- 23°C mientras que en las zonas más altas entre 18°- 21°C. (Figura 2). 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.

Las variaciones espaciales más notables en el campo térmico en la provincia se explican mediante las condiciones climáticas propias del territorio, que imponen una clara estacionalidad anual y por las características físico-geográficas, introduciendo diferencias significativas entre una zona u otra, ya sea por diferencias altitudinales o por desigual influencia marítima (Barcia et al. 2023).

- *Efecto de la precipitación sobre el cultivo del frijol común*

En la Figura 3 se presenta la distribución espacial de la precipitación acumulada para el período agrícola calculada para el período 1991 - 2020, con el propósito de caracterizar su comportamiento en la zona de estudio.

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. Hacia los municipios Abreus, Rodas, Lajas, Palmira y Cienfuegos, aparecen los mínimos valores de precipitación (< 850 mm).

Según Barcia y Castillo (2015) el comportamiento espacial de las lluvias en la provincia de Cienfuegos se ve influenciado por las condiciones físico-geográficas de la provincia, determinadas por su ubicación en el centro sur de la isla de Cuba y la presencia de un macizo montañoso, representado en este caso por las Alturas de Trinidad en el sudeste de la provincia. Entre las causas que provocan la variabilidad y la irregular distribución espacio-temporal de las precipitaciones están los contrastes de relieve y altura, que actúan notablemente sobre los procesos de formación e intensidad de las precipitaciones.

Caracterización edáfica

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

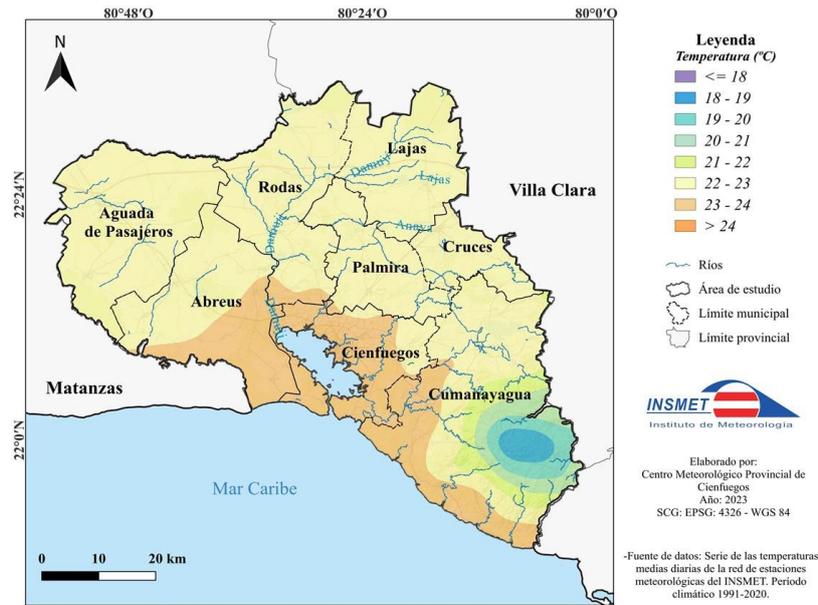


Figura 2. Distribución espacial de la temperatura media para el periodo agrícola del cultivo del *Phaseolus vulgaris* L. en la provincia Cienfuegos. Periodo 1991-2020.

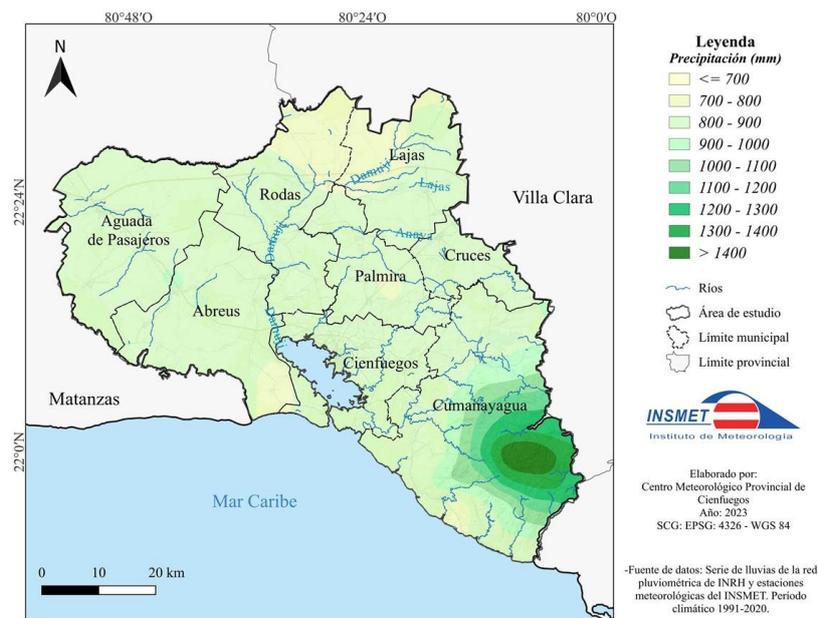


Figura 3. Distribución espacial de la precipitación acumulada para el periodo agrícola del cultivo del *Phaseolus vulgaris* L. en la provincia de Cienfuegos. Periodo 1991-2020.

En cuanto a la profundidad efectiva, autores como [Benacchio, \(1982\)](#) y [Guerra et al. \(2021\)](#); resaltan que el cultivo de frijol requiere suelos profundos y fértiles. Estos suelos 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.

En cuanto a la textura del suelo, los suelos aptos 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.

En cuanto al drenaje, los suelos aptos 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 \(1983\)](#).

Para el caso de la pendiente del suelo, los suelos aptos 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. Faure (2015) resalta que el cultivo de frijol requiere suelos con pendiente suave entre 0 - 2%.

En cuanto a la altitud, los suelos aptos son aquellos donde las condiciones climáticas suelen ser óptimas para el crecimiento y desarrollo de esta leguminosa.

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 de frijol común para luego superponerlos utilizando el SIG QGis.

Las temperaturas en la provincia se mantienen dentro del rango apto y moderadamente apto para el cultivo del frijol y facilitan los procesos fisiológicos del cultivo tales como, la floración, formación y llenado de vainas, así como la maduración. Sobre este aspecto, Icaza (1971); Ávila *et al.* (2014) y Aceves *et al.* (2008) refieren que el rango general de temperatura promedio mensual para el cultivo oscila entre 18 - 25 °C y coinciden en plantear 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 **Figura 5 (izquierda)**.

Según la distribución espacial de las precipitaciones y en correspondencia con las exigencias pluviométricas del frijol (**Figura 5- derecha**), existen áreas que ocupan 399 090,26 ha⁻¹ (86.0 % de la superficie total), que suplen las necesidades hídricas del cultivo (800 - 1000 mm.año⁻¹).

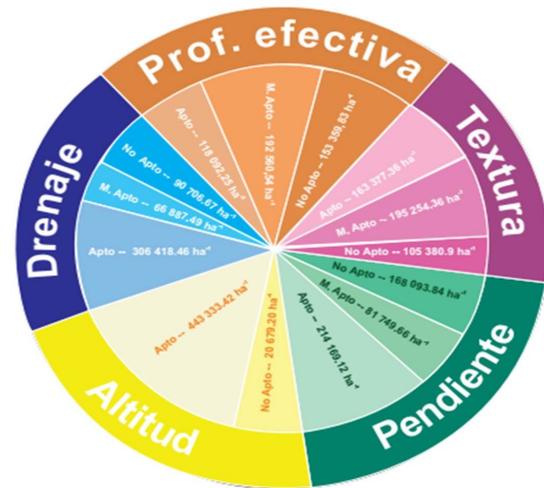


Figura 4. Distribución de los suelos de la provincia en función del cultivo del frijol.

Sin embargo, también existen superficies con restricciones (moderadamente aptas) donde las precipitaciones se encuentran entre (1000 - 1200 mm. año⁻¹) en una superficie de 46 826,59 ha⁻¹, y otras superficies con abundantes precipitaciones (no aptas) que conllevan a un exceso de humedad (> 1200 mm. año⁻¹) en una superficie de 18 115,77 ha⁻¹, 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 (Suárez, 2014). La cantidad y distribución de las precipitaciones son referidas por Cruz *et al.* (2005), por sus características 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 zonificación térmica y zonificación hídrica,

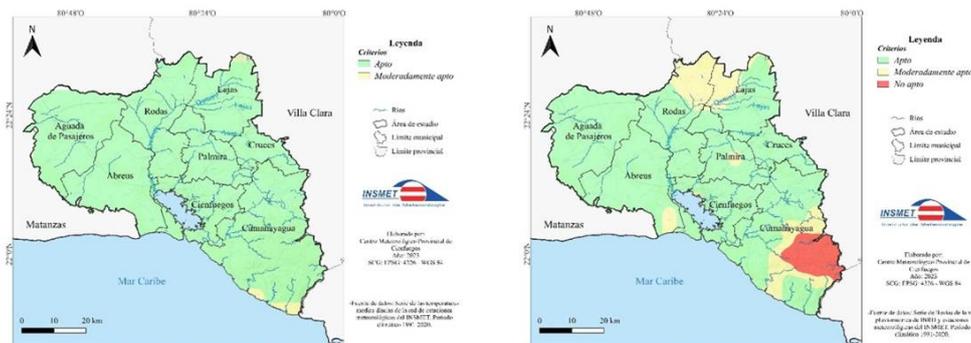


Figura 5. Mapa de zonificación térmica (izquierda) y zonificación hídrica (derecha) para el periodo agrícola del cultivo del *Phaseolus vulgaris* L. en la provincia Cienfuegos. Periodo 1991-2020.

dieron lugar a dos zonas climáticas en la provincia Cienfuegos (Figura 6). Las mismas fueron:

Zona climática apta: superficie con un comportamiento climático óptimo para el crecimiento y desarrollo del frijol. Ocupa un área de 339 511,71 ha⁻¹ (82.1% de la superficie total), 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 74 132,44 ha⁻¹ (17.9% de la superficie total), 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 (82,0%), 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

Para la confección del mapa de zonificación edáfica fue necesario confeccionar los mapas de zonificación por textura, por drenaje y por profundidad efectiva para el cultivo de frijol común para luego superponerlos.

Como se aprecia en la Figura 7 existen zonas que no presentan limitaciones en cuanto al drenaje y ocupan un área de 306 418,46 ha⁻¹ donde el drenaje del suelo es bueno. De igual forma, existen áreas consideradas moderadamente aptas con un área de 66 887,49 ha⁻¹ donde el drenaje es moderado. Por

último, las zonas no aptas ocupan 90 706,67 ha⁻¹ y poseen drenaje moderadamente lento y deficiente encontrándose mayoritariamente en el municipio de Aguada de Pasajeros.

La zonificación por textura del suelo reveló zonas aptas para el cultivo del frijol con un área de 163 377,36 ha⁻¹ 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⁻¹. Por último, las zonas no aptas ocupan 105 380,90 ha⁻¹ y se encuentran en mayor proporción en el municipio de Cumanayagua (Figura 8).

En la Figura 9 muestra la zonificación por profundidad efectiva del suelo, esta reveló zonas aptas para el cultivo del frijol con un área de 118 092,25 ha⁻¹ 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 192 560,54 ha⁻¹ y ocupan la mayor proporción de la provincia. Por último, las zonas no aptas ocupan 345 920,37 ha⁻¹.

Considerando los criterios establecidos en las bases para la ZEC del *Phaseolus vulgaris* L. y combinando los mapas de drenaje, textura del suelo y profundidad efectiva, se representaron tres zonas edáficas en la provincia Cienfuegos (Figura 10). 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 cultivo.

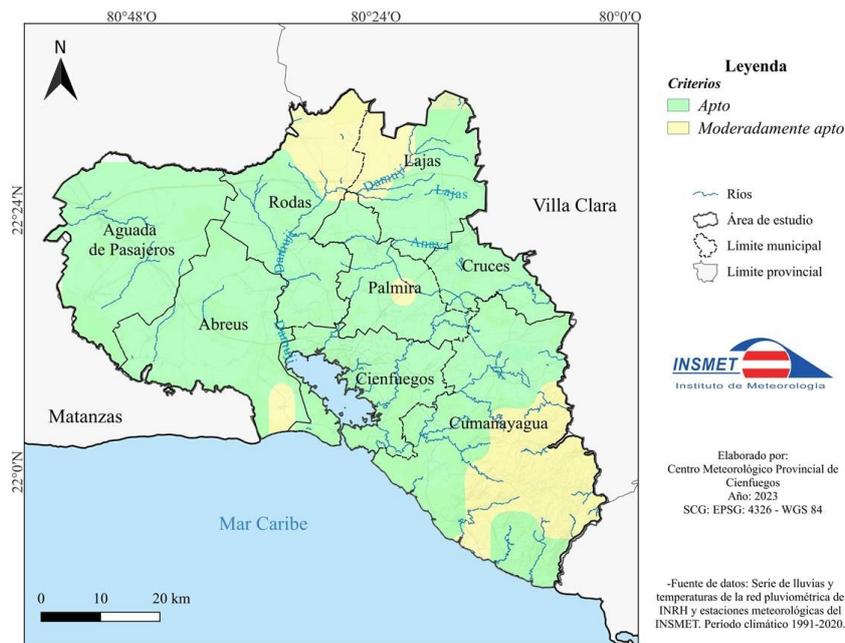


Figura 6. Mapa que representa las zonas climáticas para el establecimiento del frijol en la provincia Cienfuegos.

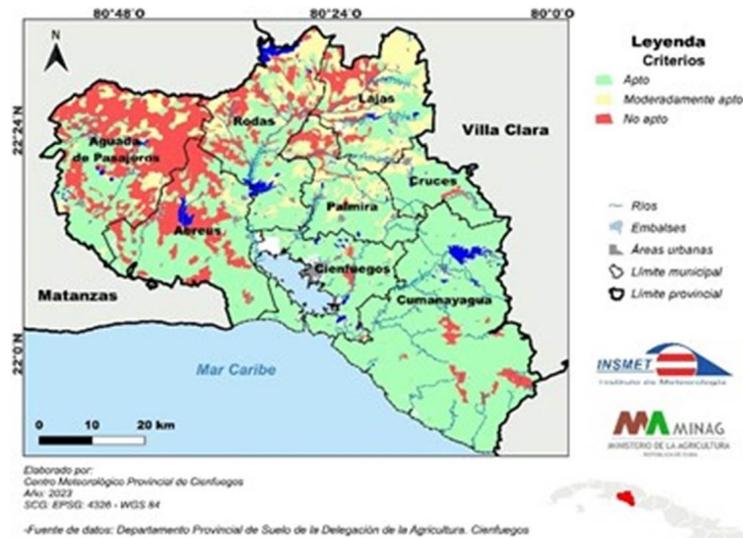


Figura 7. Mapa de zonificación por drenaje del suelo.

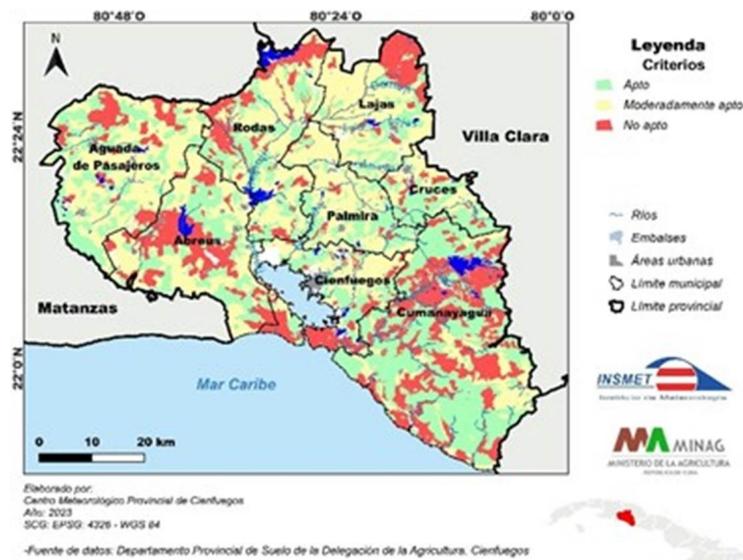


Figura 8. Mapa de zonificación por textura del suelo.

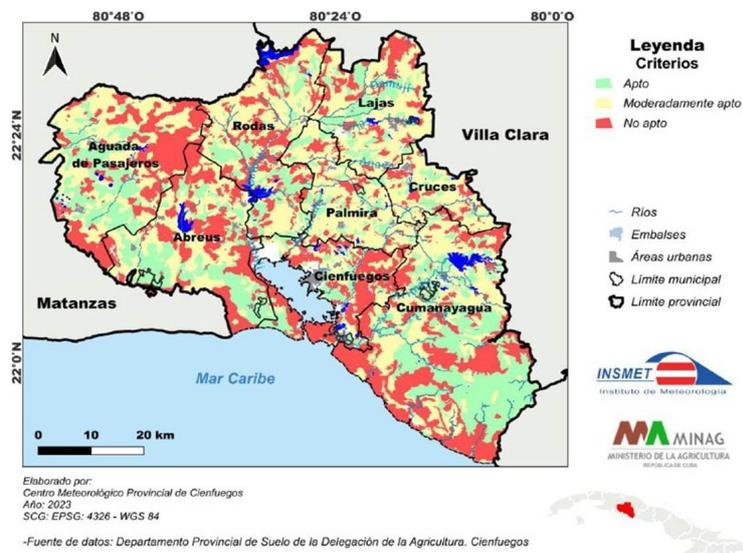


Figura 9. Mapa de zonificación por profundidad efectiva.

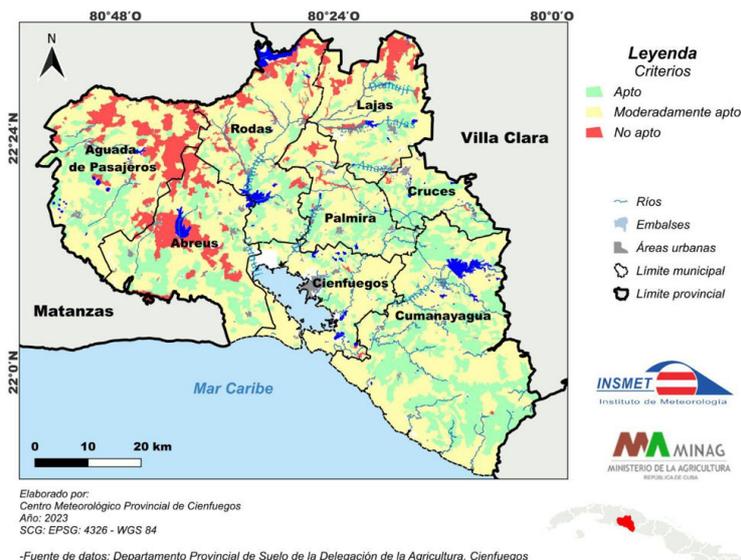


Figura 10. Mapa que representa las zonas edáficas para el cultivo de *Phaseolus vulgaris* L. en la provincia Cienfuegos.

Zonas edáficas aptas: superficie con un comportamiento edáfico apto para el crecimiento y desarrollo del frijol. Ocupa un área de 120 151,53 ha⁻¹, (29,1% de la superficie total) donde el drenaje es bueno, las texturas del suelo son medias y la profundidad efectiva es profunda o muy profunda. 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.

Zonas edáficas moderadamente aptas: estas zonas ocupan un área de 252 511,3 ha⁻¹ (61,0% de la superficie total) donde los suelos poseen menos profundidad efectiva, el drenaje es moderado y las texturas del suelo son arcillosas.

Zonas edáficas no aptas: estas zonas ocupan 41 031,82 ha⁻¹ (9,9% de la superficie total) donde los suelos poseen condiciones no aptas para el cultivo del frijol, profundidad efectiva inferior a los 25 cm, drenaje es deficiente y texturas del suelo arenosos.

Zonificación topográfica

Para la confección del mapa de zonificación topográfica fue necesario confeccionar los mapas de zonificación por pendiente y por altitud para el cultivo para luego superponerlos.

Relacionado con la pendiente, en la provincia existe una superficie total de 214 169,12 ha⁻¹ 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⁻¹. Así mismo, existen superficies no apta para el cultivo, que se extiende en un área de 168 093,84 ha⁻¹ (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 11- izquierda).

En cuanto a la altitud se observó que 443 333,42 ha⁻¹ que representaron el 95,5% de la superficie total de la provincia cumplen los requerimientos óptimos para el cultivo del frijol y

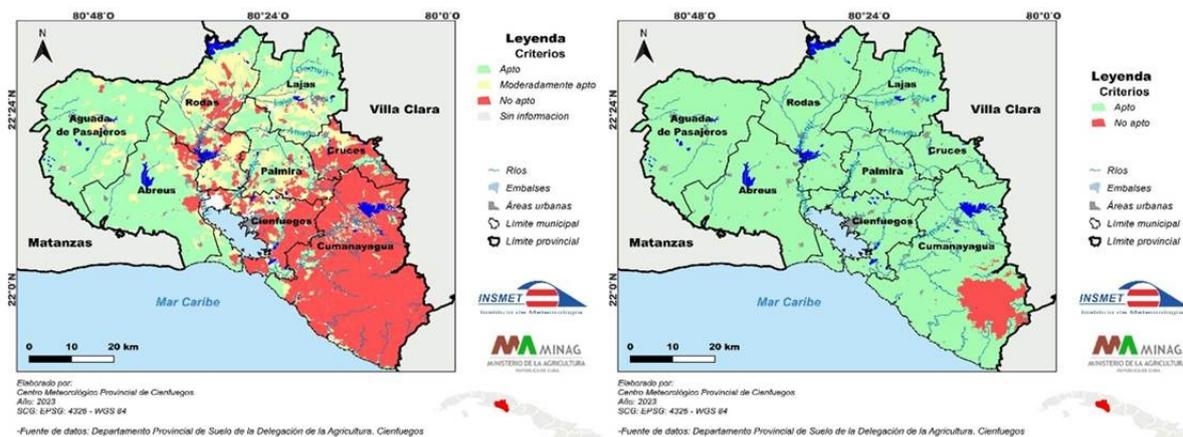


Figura 11. Mapa de zonificación por pendiente (Izquierda) y zonificación por altitud (derecha).

solamente 20 679,20 ha⁻¹ que representan el 4,5% no cumplen dichos requerimientos. Estas áreas se encuentran en su totalidad en el municipio de Cumanayagua (Figura 11- derecha).

Considerando los criterios establecidos en las bases para la zonificación edafoclimática de *Phaseolus vulgaris* L. y combinando los mapas de pendiente y altitud, se representaron tres zonas en la provincia Cienfuegos (Figura 12). 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 los requerimientos idóneos para el desarrollo del cultivo.

Zonas topográficas aptas: superficie con un comportamiento topográfico óptimo para el crecimiento y desarrollo de este cultivo. Ocupa un área de 214,169.12 ha⁻¹ (46.2% del total de la superficie), 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 de *Phaseolus vulgaris* L. Ocupa un área de 229 164,3ha⁻¹ (49.4% del total de la superficie), 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 de *Phaseolus vulgaris* L. Ocupa un área de 20 679,20 ha⁻¹ (4.5% del total de la superficie), donde ambos requerimientos no son aptos para el cultivo. Esta zona se encuentra en su totalidad en el municipio de Cumanayagua.

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 *Phaseolus vulgaris* L. originaron dos zonas edafoclimáticas representadas en la Figura 13. Las mismas fueron:

Zona apta: abarca 188 675,87 ha⁻¹ para un 45,6 % 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. De los ocho municipios de la provincia los más representados en estas zonas son Aguada de Pasajeros, Abreus, Lajas y Palmira. Estas zonas no poseen limitaciones agroproductivas para el cultivo, por tanto se deberán alcanzar el mayor rendimiento estimado.

Zonas moderadamente aptas: esta zona se extiende en un área de 225 018,78ha⁻¹ (54,4% de la superficie total de la provincia) y se encuentra representada en todos los municipios. La mayor superficie encontrada en esta zona fue en el municipio Cumanayagua, seguido de los municipios de Rodas y Cienfuegos.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Franklin y Escandón (2019), quienes lograron determinar zonas con aptitud agroclimática “Alta y Media” para el cultivo de *Phaseolus vulgaris* L. 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,

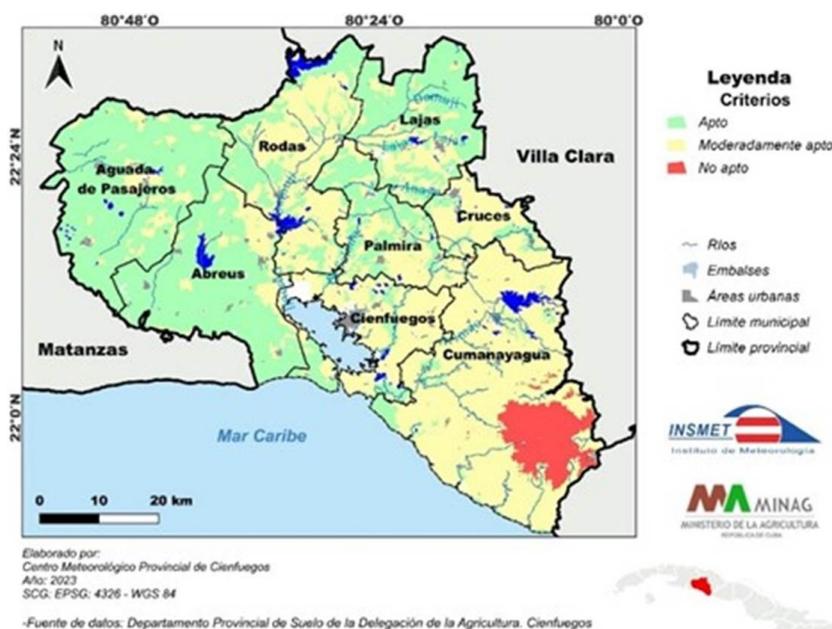


Figura 12. Mapa que representa las zonas topográficas para el cultivo de *Phaseolus vulgaris* L. en la provincia Cienfuegos.

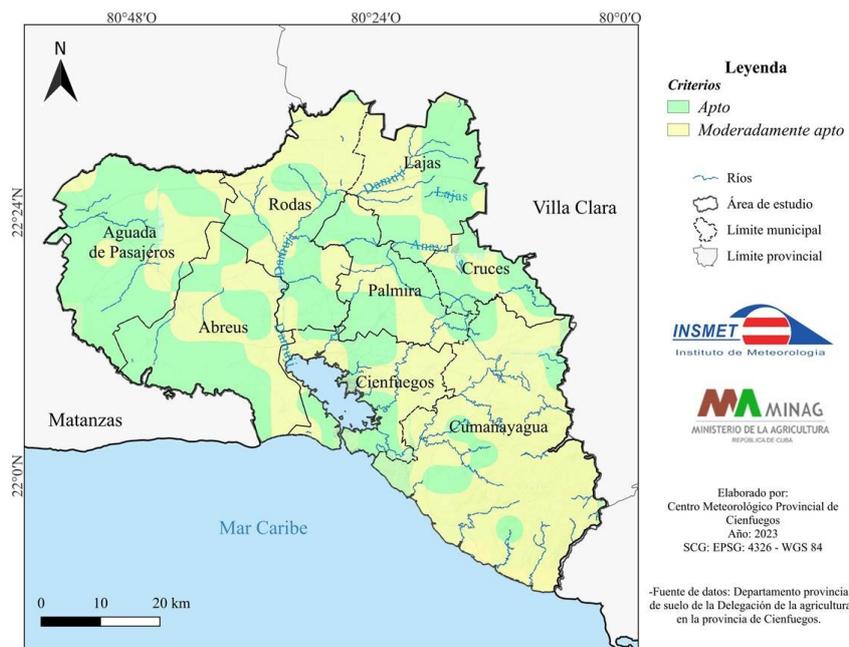


Figura 13. Mapa de zonificación edafoclimática para el cultivo de *Phaseolus vulgaris* L. en la provincia Cienfuegos.

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 zonificación edafoclimática para el cultivo de *Phaseolus vulgaris* L en la provincia de Cienfuegos permitió identificar que las zonas aptas para su cultivo ocupan 188 675,87 ha⁻¹ y representan el 45,6% de la superficie total de la provincia, cuyas características de clima, suelo y topografía permiten el establecimiento sostenido del mismo.

Las áreas con alto potencial para el establecimiento de este cultivo en la provincia se encuentran localizadas en mayor proporción en los municipios de Aguada de Pasajeros, Abreus, Lajas, Palmira y Cruces donde imperan condiciones óptimas necesarias para obtener buenos rendimientos.

REFERENCIAS

- Aceves Navarro, L. A., Arrieta R. A. y Barbosa O. J. L (2008). *Manual de AGROCLIM 1.0*. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas Tabasco.
- Andrade, E., De Niz, E.M., Benítez, M.A., Olgún, 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.
- 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., Orbe, G., López, R., Regueira, V., Millán, J., Ceballo, R., & Angulo, R. (2011). Variabilidad y tendencias del clima en la provincia Cienfuegos [Informe Final de Proyecto]. Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos.
- Barcia, S. & Castillo, C. S. (2015). Atlas climático de la provincia de Cienfuegos. Centro Meteorológico Provincial 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>
- 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>

- Calero, A., Castillo, Y., Quintero, E., Pérez, Y., y Olivera, D. (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. doi: <http://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.67773>
- 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
- 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
- Doorebos, 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
- 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>.
- 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.
- Espinosa, J. y Orquera, A. (2007). Zonificación agroecológica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en las provincias de: Bolívar, Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua. *Revista Rumipamba*, 21(1), p. 54 - 56.
- Faure, B. (2015). *Manual para la producción sostenible del frijol común*.
- 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/FernandezVergara%2cDeborMilagros-HuamaniMoreno%2cMilagrosEstefani.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- 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_agroclim_tica_de_M_xico_del_frijol_OI_2019-2020.pdf (www.gob.mx).
- 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>
- Garea, E., Soto, F., & Vantour, A. (2008). Zonificación agroecológica en condiciones de montaña mediante métodos de análisis espacial. Mapping interactivo. *Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*, 127, 12-18.
- Gómez, M. y Barredo, J. I. (2005). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Rama. https://books.google.com/cu/books/about/Sistemas_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica_y_e.html?id=kwziAAAACAAJ&redir_esc=y
- 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
- 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
- Hernández-Ochandía, D., Rodríguez-Hernández, M. G., Miranda-Cabrera, I., Moreno-León, E., Castro-Lizazo, I., Delgado-Oramas, B. P., Holgado, R., Hernández-Ochandía, D., Rodríguez-Hernández, M. G., Miranda-Cabrera, I., Moreno-León, E., Castro-Lizazo, I., Delgado-Oramas, B. P., & Holgado, R. (2018). Reproducción y efecto nocivo de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood en *Phaseolus vulgaris* L. 'Cuba-Cueto-25-9'. *Revista de Protección Vegetal*, 33(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1010-2752201800200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- 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>
- 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>
- FAO. (1997). Boletín de suelos de la FAO no. 73. Zonificación agroecológica. Guía general. Servicio de recursos, manejo y conservación de suelos. Dirección de fomento de tierras y aguas, FAO, Roma, Italia, 154 p
- Jara, C. y Navarro, C. E. (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>
- 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
- 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
- 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
- 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
- Morales, A., Moreno, D., Minel del-Pozo, E., García, I., y Lamz, A. (2019). Efecto de tres hongos benéficos y Azufre sobre insectos nocivos en el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 40(3), <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1515>
- 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>
- Olivares, B., Hernández, R., Arias, A., Molina, J. C., & Pereira, Y. (2018). Zonificación agroclimática del cultivo de maíz para la sostenibilidad de la producción agrícola en Carabobo, Venezuela. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(2), 139-159.
- ONEI. (2021). Anuario Estadístico de Cienfuegos 2020. Capítulo 9: Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca.
- Pérez, G. e Hidalgo, A. (2016). Regionalización climática de la provincia de Holguín. *Revista Cubana de Meteorología*, 22(1), pp. 39-48 <http://rcm.in-smet.cu/index.php/rcm/article/download/207/138/>
- Ramírez, V. y Sayuri, M. (2019). Zonificación edafoclimática del cultivo de alfalfa en la subcuenca del Río Cachi, Región Ayacucho. (Tesis de grado). Universidad Nacional Federico Villarreal https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNF_826407941d13e8cce174108e168e55b2
- Rodríguez, E., García, H. y Castellanos, L. (2015). Agro-ecological zoning for man-

- go 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-agr-o-ecological-zoning-for-mango-cultivation-mangifera-indica-l-in-the-special-unit-fruit-of-cienfuegos>
- Ruiz C., J.A., Medina G., González, I. J., Flores, H.E., Ramírez, G., Ortiz, C., Byerly, K.F. y Martínez, R. A. (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
- Salcedo, J. M. (2008). Guías para la regeneración de germoplasma. Cgiar.org. https://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/other_crops/Beans_SP.pdf
- 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). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). Aptitud agroclimática del frijol en México ciclo agrícola primavera verano.
- 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 os.pdf&usq=AOvVaw2jvzP7nbhlbUQdsfsA0RYa&opi=89978449
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). Aptitud agroclimática del frijol en México ciclo agrícola primavera verano.
- 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+a+zonificación+agroecológica+del+coffea+arabica%2C+l.+en+cuba.+macizo+montañoso+sagua-nipe+baracoa.+cultivos+tropicales%2C+2001%2C+22\(3\)%2C+pp.+2751&aqs=edge.l.69i64i450l8.2863521j0j4&FORM=ANAB01&PC=ASTS](http://www.bing.com/search?q=soto%2Cf.+%2Fet+al.%2F+a+zonificación+agroecológica+del+coffea+arabica%2C+l.+en+cuba.+macizo+montañoso+sagua-nipe+baracoa.+cultivos+tropicales%2C+2001%2C+22(3)%2C+pp.+2751&aqs=edge.l.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 Guaniguani-co. *Revista Cultivos Tropicales*, 28(1), pp. 41-55. 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>
- 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>
- 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.