

3. PINCHINAT, A. y MATARRITA, V. Lista de las introducciones de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y otras leguminosas del IICA-CTEI. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Centro de Enseñanza e Investigación. Dirección Regional para la Zona Norte. Agosto, 1970. Publicación ZN/121-70. 37 p.
4. ARIAS, C. A. Editor. Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios: Frijol. XVI Reunión Anual. Antigua, Guatemala, Enero 25-30, 1970. Pub. Misc. No. 77. 76 p.

## METODOLOGIA PARA LA ZONIFICACION ECOLOGICA DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) EN CENTRO AMERICA

J.M. Montoya Maquin  
Javier García B.  
Javier Icaza G.\*

2786

### INTRODUCCION

La última crisis en el abastecimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) que se presentó en Centroamérica en meses pasados, ha sido causa para que diversos gobiernos del Istmo intensifiquen sus campañas para el fomento de este cultivo. Por lo general se han iniciado acciones tendientes para asegurar en los próximos meses un abastecimiento regular de esta leguminosa de grano de consumo básico. En diversas ocasiones se ha señalado que en el Istmo la causa de la disminución en el área cultivada de frijol ha sido la baja rentabilidad económica que deja este cultivo al agricultor, que hace que éste no pueda competir con otros más remunerativos. Una alternativa que se ha señalado para solucionar el problema, y que en términos generales es la que se está siguiendo, es la de alcanzar a corto y mediano plazo una tecnificación y modernización del cultivo, lo cual repercutirá en mejores rendimientos y como consecuencia en mayores beneficios para el agricultor, llegándose de esta manera a estabilizar e incrementar el volumen de producción.

Los gobiernos han concentrado sus esfuerzos en las áreas en las cuales la siembra del frijol ha sido tradicional; sin embargo, es de esperar que muchas de estas zonas que han sido tradicionales, actualmente se encuentren desarrollando actividades con otro cultivo más remunerativo, por lo cual será muy difícil regresar al cultivo del frijol. Tal situación implica que para poder planificar el fomento, es necesario disponer en el ámbito del Istmo de información sobre las áreas que tienen condiciones ecológicas adecuadas, ya sean tradicionales o completamente nuevas para el cultivo. Además, esta zonificación ecológica servirá para conocer, a nivel de país, cuales son las áreas que, por sus condiciones biofísicas, tienen características adecuadas para concentrar esfuerzos en la investigación y el fomento.

### Justificación de la zonificación ecológica

Para justificar la zonificación ecológica de cultivos bastará hacer un simple análisis de algunas necesidades que se encuentran en el contexto de la elaboración de planes y proyectos de desarrollo agrícola, en sus niveles regionales, nacional, o de áreas específicas.

La motivación y el punto de partida en un primer caso, se puede encontrar cuando a nivel de un país o de una región, los economistas establecen cuáles son los productos agropecuarios que se encuentran deficitarios para el consumo local o regional, o se establecen mediante el análisis de los mercados internacionales cuáles son los productos que tienen buenas perspectivas de exportación. Como resultado de este diagnóstico de mercados, se puede elaborar listas de productos que tienen buenas perspectivas económicas para una expansión. Sin embargo, no basta el establecimiento de esta lista de cultivos para poder hacer planes de fomento, la primera interrogante que se plantearán los planificadores, será sobre la localización de las áreas en el territorio en el que están trabajando, que tengan condiciones ecológicas adecuadas para estos cultivos; así se podrán formular directivas necesarias para alcanzar las metas de expansión con un máximo de seguridad, y por lo tanto garantizando un retorno de las inversiones a realizarse.

Un segundo caso se refiere a planes de desarrollo en áreas específicas, en los cuales se conoce que el objetivo general es el desarrollo, las metas específicas están por definirse. Para definir dichas metas, es necesario determinar cuales son los objetivos que tienen las mejores perspectivas ecológicas, en función de los recursos biofísicos disponibles en el área. De esta forma la zonificación ecológica de cultivos dará como resultado a los planificadores, la lista de los cultivos ecológicamente factibles, así como la localización de los espacios geográficos con recursos ecológicos adecuados para cada uno de ellos. Posteriormente estudios referentes a mercados de los productos señalados, así como el análisis de los costos de producción darán al planificador los criterios necesarios para la toma definitiva de decisiones relativas a los cultivos.

Es necesario señalar que las decisiones relativas al fomento de un cultivo, ya sea en los niveles de área, nación o región, implican una serie de acciones coordinadas, como son las de investigación, extensión y crédito. Estas acciones para alcanzar éxito, también deberán ser establecidas en función de las áreas que tengan aptitudes ecológicas para el desarrollo de un cultivo, y cuya factibilidad económica haya sido establecida.

\* Trabajo presentado en la XVII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios. Panamá, del 2 al 6 de Marzo de 1971.

Resumiendo los párrafos anteriores, la zonificación ecológica de cultivos ofrecerá al planificador dos tipos de información de importancia primordial para el

establecimiento de planes y proyectos de fomento, éstas son las siguientes:

- Localización en el territorio de trabajo de las diversas áreas alternativas para cada cultivo considerado, y
- La lista de cultivos alternativos para cada área que se desee considerar.

La necesidad de disponer la localización de unidades de territorio aptas para cada cultivo, así como los diversos cultivos que pueden establecerse con éxito en un área determinada, es la que ha motivado que diversas instituciones del Istmo Centroamericano, tomen un interés muy grande en el establecimiento de estudios de zonificación de cultivos en sus áreas de influencia.

En el caso de la Secretaría General Permanente del Tratado de Integración Económica Centroamericana (SIECA), el interés es de contar con un criterio más para poder definir y concretar la política regional de fomento de cultivos de consumo básico, de exportación tradicional y de cultivos no tradicionales con perspectivas de exportación.

En el caso de los países, la zonificación ecológica de cultivos dará las pautas necesarias para la puesta en ejecución de sus diversos planes nacionales de investigación, extensión y fomento agrícola, es decir, la zonificación aportará una serie de documentos de primera importancia para la toma de decisiones relacionadas con la localización y concentración de esfuerzos representados por los proyectos específicos de desarrollo agrícola.

#### Antecedentes sobre la zonificación del frijol en Centro América.

En el ámbito Centroamericano se han realizado algunos esfuerzos tendientes a zonificar el cultivo del frijol. Entre éstos, se pueden señalar los de Aguirre y Salas (1), llevado a cabo en 1965, en el cual emplearon tres parámetros fundamentales: a) Producción actual y proximidad de mercados, b) situación en relación a las Zonas de Vida definidas por el sistema de Holdridge (14), y c) situación en relación al uso potencial de la tierra definido por Plath y colaboradores (25). Esta investigación dió como resultado para los países del Istmo, la indicación de las divisiones políticas que tenían las mejores condiciones para el fomento y expansión del cultivo. Sin embargo, es necesario indicar que esta zonificación, al considerar como unidades básicas las divisiones políticas, si bien indicaba macro-zonas con condiciones generales para el cultivo, no llegaba a precisar con exactitud las áreas en el interior de cada una de éstas, con buenas o malas condiciones para el cultivo.

Posteriormente en 1969, Montoya (17) elaboró una primera aproximación de una zonificación ecológica para el cultivo del frijol en Costa Rica, en la cual se consideraron solamente variables climáticas generales, si bien esta zonificación tenía la ventaja de seguir límites naturales y no políticos, por considerar solamente variables climáticas generales y no las edáficas y fisiográficas, su uso fue bastante limitado.

A fines de 1969, nuevamente se realizó una nueva aproximación de zonificación para el cultivo del frijol para los cinco países del Istmo Centroamericano; este trabajo fue realizado en el marco del Proyecto Conjunto para la Regionalización Agrícola de Centroamérica, auspiciado por el IICA, la SIECA y el BID. En este caso, la zonificación contempló solamente variables climáticas, y tuvo una expresión cartográfica en 1:1000000, que no permitió la inclusión de variables fisio-edáficas.

Otra experiencia en zonificación para el cultivo del frijol, fue realizada en Costa Rica, en la Zona de Tucurrique (Cartago) en escala de 1:20000. Este estudio, que fue ejecutado en el marco del entrenamiento de estudiantes graduados del Departamento de Desarrollo Rural del IICA, alcanzó un nivel de detalle de *Segunda Aproximación* en la metodología de zonificación que ha propuesto el IICA/CTEI, el cual analiza, además de las variables climáticas, variables fisio-edáficas.

#### Características ecológicas del *Phaseolus vulgaris* L.

El *Phaseolus vulgaris* L. es una de las plantas, que con más frecuencia se emplea en experimentación biológica, sin embargo esta investigación es por lo general llevada a cabo en laboratorios con plantas aisladas, por lo cual los resultados son de difícil interpretación cuando se desea llevarla a la práctica en el campo para la producción económica.

Las principales características ecológicas del frijol, que pueden aplicarse en su zonificación ecológica, se resumen a continuación:

#### Características fóticas

El *Phaseolus vulgaris* L., según Allard y Zaumeyer (2), es una planta que tiene bastante plasticidad, en relación a sus requerimientos fóticos. Tiene una gran cantidad de variedades que responden particularmente a días cortos, o son foto neutras. En el caso de variedades tropicales, que son las que se cultivan en el Istmo Centroamericano, el fotoperiodismo no sería un problema de importancia. Los mismos autores (2), justamente indican que en la búsqueda de una adaptación cosmopolita, que debe ser seleccionada en variedades mejoradas de frijol, el aspecto de fotoperiodicidad no es tan limitante.

#### Características térmicas

Según diversos autores (22, 23, 26 y 31), el rango térmico óptimo para el cultivo del frijol en regiones tropicales, corresponde a valores de temperatura promedio mensual de 18,0 C a 24,0 C. Para variedades de latitudes más elevadas, autores como Mac Guillivray (16), señalan rangos de 15,5 C a 21,1 C de media mensual. Los límites críticos máximos señalados en base a experimentos de laboratorio indican valores de 48,8 C y 54,4 C, y los mínimos de 2,0 C y 3,0 C (26).

Analizando la influencia térmica en las diferentes fases fisiológicas del desarrollo del *Phaseolus vulgaris* L., se puede observar que cada función fisiológica tiene sus exigencias bien definidas, que resumimos a continuación.

## Germinación

Como indica Box (3), el límite térmico inferior, en el cual ya no se presenta germinación, es de 8,0 C.

## Crecimiento

Dale (6) encontró que en plantas de frijol de 15 días, los incrementos de temperaturas encima de 25 C dieron como resultado un mayor número de hojas, así como un incremento de área foliar total de cada planta. La relación área foliar a 25,0 C fue cerca del doble, que a 15,0 C. Esta observación sugiere, que los efectos térmicos son independientes de la luz, en vista de que las temperaturas diurnas y nocturnas tuvieron efectos similares en este experimento, sin embargo este efecto fue obtenido con un solo nivel de longitud del día e intensidad de la luz (día de 12 horas y 2.5 cal/cm<sup>2</sup> hora). Este mismo autor hizo otro experimento en el cual las plantas de frijol crecieron en intervalos de longitud del día, desde una hora hasta iluminación continua, y a temperaturas de 15,0 y 25,0 C, encontrándose diferencia significativa en el área foliar total y en el área de las hojas individuales, así como una relación en un efecto cuadrático con la radiación total recibida por día.

## Floración

Box (3) indica que la temperatura más baja con la cual se presenta floración es de 15,0 C. Por otra parte Viglierchio y Went, citados por Stobbe *et al* (37), encontraron que a temperaturas entre 24,0 y 30,0 C el frijol no florecía; este resultado no concuerda con el de Stobbe *et al* (37), que sugieren que la temperatura puede estar en interrelación con el fotoperiodo e intensidad de la luz, en cuanto al ciclo reproductivo del frijol se refiere.

## Fructificación y maduración

Viglierchio y Went, citados por Stobbe *et al* (37), indican que la fructificación de frijol de tipo indeterminado, es cíclica, y que este tipo de fructificación se incrementa conforme la temperatura nocturna lo hace.

Stobbe, Ormrod y Wolley (37) encontraron que los ciclos dependen de la temperatura. De esta forma, a temperaturas entre 15,5 C y 24,0 C encontraron dos ciclos de 60 días y tres ciclos de temperaturas de 21,0 C y 29,0 C. A temperaturas entre 26,5 C y 35,0 C no se presentaron ciclos evidentes. Por otra parte determinaron que el tiempo entre la floración y la cosecha de vainicas (ejotes), es influenciado por la temperatura. Entre 15,5 y 24,0 C, el

lapso floración-cosecha se llevó a cabo en 11 días, mientras que con temperaturas de 21,0 a 29,0 C, el período se redujo a 9 días.

Los autores mencionados anteriormente indican que las vainas formadas entre 26,5 y 35,0 C presentaron un porcentaje elevado de granos vanos. En este caso el fruto era pequeño y deforme, y con poca turgidez. Resultados muy parecidos obtuvo Davis (7), quien encontró que existe una correlación negativa ( $y = -1.8x + 192$ ), en la cual  $y$  es el porcentaje de granos que no llegan a cuajar en la vaina, y  $x$  es la temperatura máxima en grados F entre la cantidad de semillas que cuajan, y la temperatura máxima, de esta forma por cada grado de temperatura máxima por encima de 24 C, disminuye el porcentaje de semillas que cuajan en un 3.24 por ciento.

## Duración del período vegetativo

En relación a la duración del ciclo vegetativo, además de lo indicado para la fase de floración-cosecha, Guerrero (13) en una revisión bibliográfica hecha para Colombia, indica sobre la prolongación del período vegetativo con un aumento de la altura sobre el nivel del mar y una disminución de la temperatura, tanto para variedades precoces, como para las tardías. Las variedades más precoces, cuyo ciclo fluctúa en zonas bajas, alrededor de 60 días, en zonas de mediana altura alcanza a completar su ciclo en 90 días y en alturas de más de 2,000 m es necesario más de 250 días.

## Características hídricas

En relación a los requerimientos hídricos del *Phaseolus vulgaris* L. Cardona (4) indica que una buena cosecha se puede obtener con una precipitación de 300 a 400 mm durante el ciclo de la planta. García B. (9) señala para el ciclo valores oscilantes entre 200 y 350 mm. Ambos autores citados anteriormente hacen hincapié sobre la necesidad de tener una buena distribución de éstas cantidades pluviales.

Por otra parte Cardona *et al* (4) y García (9) dicen que una precipitación de 110 a 180 mm entre la siembra y la floración contribuyen a una buena cosecha, y que la precipitación más conveniente durante la época de floración debe estar comprendida entre 20 y 70 mm. Por otra parte también se indica que el rendimiento del frijol se reduce cuando se presentan cortos períodos de sequía de 15 días antes de la floración, y de 18 a 22 días antes de la maduración de las primeras vainicas, y una vez indicado el proceso general de maduración.

Los únicos índices agroclimáticos conocidos para el balance hídrico para el frijol son los que ha publicado García (9), los que se pueden observar en el cuadro 1.

Cuadro 1. Índices agroclimáticos que corresponden a la intensidad de la humedad y la sequía para *Phaseolus vulgaris* L. según García (9).

Deficiencia de agua (mm)	Exceso de Agua (mm)	Denominación
100	0	Muy seco
20 a 100	0 a 20	Sub-húmedo seco
0 a 20	0 a 20	Sub-húmedo
0 a 20	20 a 70	Sub-húmedo húmedo
0	70	Muy húmedo

Este autor (9) indica que las subdivisiones más adecuadas para el cultivo del frijol, son la sub-húmeda seca y la sub-húmeda, pudiéndose desarrollar también bajo las condiciones que imperan en las otras subdivisiones.

#### Características edáficas

La mayoría de autores coinciden en indicar que el frijol requiere suelos fértiles con buen contenido de materia orgánica. En relación a la textura del suelo, también hay coincidencia de los autores, en el Cuadro 2 pueden observarse las opiniones de éstos.

Cuadro 2. Texturas de suelo recomendadas como óptimas para el cultivo del frijol, según diversos autores.

Autor	Textura recomendada
Sáenz Maroto (26)	areno-arcillosa
Klages (15)	mediana
Pinchinat (22)	franco arenosa, limo arenosa, franco arcillosa

Por lo general requiere suelos con buena areación y drenaje, ya que el cultivo tolera bastante mal los suelos compactos, y con poca aereación.

En relación al pH, los autores indican que por lo general encima de valores de 5,3 se pueden obtener buenos resultados, en el cuadro 3, se pueden observar diversas opiniones.

Cuadro 3. Valores de pH indicados por diversos autores como rango óptimo para el cultivo del frijol.

Autor	pH indicado
Sáenz Maroto (26)	Neutro a moderadamente ácido
Pinchinat (22)	5,8 a 6,5 en área húmedas y 6,0 a 7,5 en áreas semi-áridas y áridas.
Vieira (30)	6,0 a 7,5 (en algunos casos buenos rendimientos con pH hasta 5,0.
Thompson y Kelly (28)	5,3 a 6,0 en Norfolk, 5,5 a 6,0 en Florida.

En relación a elementos químicos, Sáenz Maroto (26) indica que el cultivo requiere suelos con buen contenido de fósforo, potasio y calcio, por lo general es difícil observar síntomas de deficiencia de elementos menores, siendo muy sensible a la presencia de altas concentraciones de aluminio y manganeso solubles (28).

#### Metodología de zonificación ecológica empleada

En general existe poca experiencia en el mundo para la zonificación ecológica del cultivo del frijol en área tropicales, aparte de los esfuerzos indicados anteriormente para Centroamérica, se puede señalar un trabajo realizado por Papadakis (21) en África (incluía los territorios de Costa de Marfil, Dahomey, Ghana, Liberia, Nigeria y Togo) sumamente generalizado y basado en un análisis agroclimático y edáfico simple. En el continente americano se puede citar otra investigación, la de García (9) que si bien no se concretó realmente en una zonificación con expresión cartográfica, definió diversos índices relativos a régimen hídrico del *Phaseolus vulgaris* L., también para Venezuela Ortega realizó un trabajo, siguiendo las pautas de Aguirre y Salas (1).

En el caso del presente estudio, la metodología que se ha seguido, se encuentra enmarcada en el esquema metodológico desarrollado en los años pasados en el Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, con sede en Turrialba, Costa Rica. Este esquema metodológico (17), contempla tres aproximaciones sucesivas, que se logran por síntesis cartográfica de diversos mapas factoriales específicos para el cultivo de investigación. La *Primera Aproximación* (Nivel de zona) es el resultado del análisis de la variables agroclimáticas que tienen incidencia en el cultivo. La *Segunda Aproximación* (Nivel de sub-zona) resulta del recorte de área agroclimática general por diversas variables fisio-edáficas. La *Tercera Aproximación* (nivel de sitio), se logra cuando se subdividen las subzonas definidas en la segunda aproximación, en función de parámetros cuya variación y situación es localizada.

Este esquema metodológico en los últimos meses ha evolucionado rápidamente, sobre todo en lo que se refiere al análisis agroclimático, las últimas mejoras han sido posibles con la adición de estudios sobre el balance hídrico.

El conjunto de estudios nacionales que se presentan, corresponden a un nivel de detalle de Segunda Aproximación del esquema metodológico, es decir incluye aspectos agroclimáticos y fisio-edáficos necesarios para que el cultivo del frijol pueda prosperar, y han tenido una expresión cartográfica de 1:500.000.

Las etapas del esquema metodológico desarrollado se analizan a continuación:

#### Primera Etapa.

Definición de los índices agroecológicos para el *Phaseolus vulgaris* L.

En función del análisis exhaustivo de la literatura sobre la ecología del frijol, se definieron los siguientes índices agroclimáticos:

### Térmicos

Los límites térmicos considerados, son para la época en la cual el cultivo se encuentra en el campo y corresponden a la termofase negativa del termoperíodo anual, y son los que se pueden observar en el cuadro 4.

Cuadro 4. Índices térmicos considerados para los estudios de zonificación de frijol.

Denominación	Símbolo	Valores en grados C
Óptimo con tendencia al déficit	2	17,0 a 20,0
Óptimo	1	20,0 a 23,0
Óptimo con tendencia al exceso	3	23,0 a 27,0

En el cuadro anterior, puede sorprender los valores elevados que han sido asignados como límite máximo extremo para el cultivo del frijol, en este caso se consideró este valor, teniendo en cuenta que existen variedades que pueden lograr buenos rendimientos en esos niveles térmicos.

### Hídricos:

Los índices hídricos que se consideraron en el presente estudio, son aquellos contemplados en el Cuadro 1, excepto el valor máximo de exceso que se pasó de 70 a 100mm, en vista de que en el Istmo Centroamericano existen variedades de frijol con cierta adaptación a relativos excesos hídricos.

### Segunda Etapa:

Estimación de diversos elementos meteorológicos necesarios para el análisis agroclimático.

La información climática compilada, para el estudio, en los diversos Servicios Meteorológicos de los países del Istmo Centroamericano, muestran graves deficiencias, cuando se desean emplear con fines agroclimáticos. Por lo general, la mayoría de las estaciones son de cuarto orden o pluviométricas solamente, como se puede ver en el Cuadro 5. Por esta razón fue necesario estimar para estas localidades, diversos elementos climatológicos que servirían posteriormente en el análisis agroclimatológico detallado.

Cuadro 5. Número de estaciones meteorológicas cuyos datos fueron empleados en el estudio y tipos de registros que disponían.

País	Pluviométricos	Térmicos	Humedad Relativa
El Salvador	50	13	13
Costa Rica	142	50	7
Nicaragua	94	16	16
Honduras	141	35	11

Los métodos o procedimientos que se siguieron para la estimación de los diversos elementos meteorológicos, fueron los siguientes:

### Estimaciones térmicas

En el caso de Costa Rica, las estimaciones térmicas se llevaron a cabo empleando el procedimiento de De Fina y Sabella (8), que consiste en el cálculo del gradiente vertical mediano de la temperatura; la triangulación termométrica de la región en estudio; el trazado de las isotermas rectilíneas reducidas al nivel del mar; para llegar finalmente al cálculo de las temperaturas medias reales de las localidades carentes de observación termométrica. En este caso, las ecuaciones obtenidas, se pueden observar en el cuadro 6.

Cuadro 6. Ecuaciones de estimación térmica para Costa Rica, según el método de De Fina y Sabella (8).

Región Considerada	Ecuación de Estimación
Pacífico Norte	$T : T_{nm} - 0,67 h$
Pacífico Sur	$T : T_{nm} - 0,53 h$
Meseta Central	$T : T_{nm} - 0,53 h$
Atlántico Norte	$T : T_{nm} - 0,55 h$
Atlántico Sur	$T : T_{nm} - 0,53 h$

T : Temperatura estimada en grados C  
 h : Altura sobre el nivel del mar de la localidad (m)  
 T<sub>nm</sub> : temperatura la nivel del mar obtenida por interpolación de las isotermas al nivel del mar (grados C).

La precisión de estas estimaciones fue comprobada por Montoya y García B. (18), quedando establecida su alta confiabilidad.

En el caso de la estimación térmica para localidades carentes de registros térmicos de Nicaragua, Honduras y El Salvador, empleó la técnica de estimación, que consiste en el establecimiento de la relación existente entre la temperatura y la altura. En los cuadros 7, 8 y 9, se pueden ver las ecuaciones de estimación térmica para cada mes, en sus valores medios, máximos y mínimos.

**Estimación de la humedad relativa** Las humedades relativas, solamente fueron estimadas para Costa Rica, en vista de que para este país se empleó para el análisis del balance hídrico, una fórmula de evapotranspiración potencial, que emplea dicho parámetro. El procedimiento de estimación que se empleó fue el descrito por García y

Montoya (11), que consiste en la generación de una ecuación de estimación en base al régimen pluvial y sus variaciones anuales, mensuales y duración del período ecoseco. La ecuación de estimación obtenida, es la siguiente:

$$HR : A \cdot P + B$$

En la cual:

$$HR : \text{humedad relativa mensual}$$

$$1000 A : 7,37 N + 1,00 P_t +$$

en la cual:

$$A : \text{pendiente de la curva ajustada entre la humedad relativa y la precipitación mensual.}$$

$$N : \text{número de meses ecosecos.}$$

$$P_t : \text{precipitación pluvial total.}$$

$$P : \text{precipitación mensual}$$

$$B : -3863 N - 2192 P_t + 9388$$

La confiabilidad de las estimaciones obtenidas con estas ecuaciones ha sido comprobada (11), dando como resultado una alta confiabilidad.

### Tercera etapa

#### Análisis del balance hídrico.

El análisis del balance hídrico fue realizado para cada una de las localidades con información climatológica de cada uno de los países incluidos en el estudio.

Para el análisis del balance hídrico, tendiente a determinar las magnitudes de exceso y deficiencia de agua, se siguió el método propuesto por Thornthwaite y Mather (29), el cual fue modificado en los siguientes aspectos:

La evapotranspiración potencial fue obtenida para Costa Rica de acuerdo a la expresión de García y López (10), que dice lo siguiente:

$$ETP = 1,21 \cdot 10^{7,45t/234 + t} \cdot (1 - 0,01 HR) + 0,21 \cdot t - 2,3$$

donde:

t : temperatura media mensual  
HR : humedad relativa de las horas diurnas

Cuadro 7. Ecuaciones de estimación térmica mensual (media)

Mes	El Salvador	Honduras	Nicaragua
Enero	-0.0068 h + 26.55	-0.0061 h + 25.69	-0.0102 h + 27.12
Febrero	-0.0066 h + 27.06	-0.0058 h + 26.11	-0.0092 h + 27.80
Marzo	-0.0068 h + 28.24	-0.0054 h + 27.45	-0.0091 h + 28.91
Abril	-0.0065 h + 28.82	-0.0053 h + 28.38	-0.0087 h + 29.38
Mayo	-0.0062 h + 28.31	-0.0050 h + 28.50	-0.0084 h + 29.62
Junio	-0.0056 h + 26.90	-0.0047 h + 27.90	-0.0075 h + 28.12
Julio	-0.0056 h + 27.04	-0.0054 h + 27.97	-0.0079 h + 28.10
Agosto	-0.0055 h + 27.06	-0.0054 h + 28.12	-0.0083 h + 28.60
Septiembre	-0.0054 h + 26.42	-0.0053 h + 27.78	-0.0075 h + 28.09
Octubre	-0.0059 h + 26.52	-0.0048 h + 27.02	-0.0075 h + 27.71
Noviembre	-0.0064 h + 26.50	-0.0055 h + 26.25	-0.0086 h + 27.43
Diciembre	-0.0065 h + 26.30	-0.0064 h + 26.07	-0.0082 h + 26.88

h : altura sobre el nivel del mar

Para el cálculo de la evapotranspiración de los otros países, se usó la fórmula propuesta por Papadakis (20):

$$E : 0,5625 (e_{\max} - e_{\min-2})$$

donde:

$e_{\max}$  : presión de saturación del vapor de agua correspondiente a la temperatura máxima diaria en milibares.

$e_{\min-2}$  : presión de saturación del vapor de agua, correspondiente a la temperatura mínima rebajada de 2 grados C.

El objeto de haber aplicado la primera fórmula, se debe a que ha sido probada (10) y se ajusta mejor a condiciones tropicales, sin embargo presenta el inconveniente de requerir valores de humedad relativa. En el caso de Costa Rica, éstas pudieron ser estimadas a partir de valores existentes, lo que no fue factible en los otros países. La fórmula de Papadakis

Cuadro 8. Ecuaciones de estimación térmica mensual (máxima)

Mes	El Salvador	Honduras	Nicaragua
Enero	-0.0083 h + 35.48	-0.0052 h + 30.71	-0.0104 h + 33.56
Febrero	-0.0075 h + 36.04	-0.045 h + 31.59	-0.0101 h + 34.36
Marzo	-0.0073 h + 36.77	-0.0037 h + 33.04	-0.0093 h + 34.98
Abril	-0.0070 h + 36.67	-0.0032 h + 33.97	-0.0098 h + 35.82
Mayo	-0.0068 h + 35.57	-0.0040 h + 34.00	-0.0089 h + 35.68
Junio	-0.0064 h + 33.61	-0.0038 h + 32.65	-0.0081 h + 33.52
Julio	-0.0067 h + 34.43	-0.0049 h + 32.74	-0.0087 h + 33.53
Agosto	-0.0066 h + 34.56	-0.0047 h + 33.04	-0.0090 h + 34.22
Septiembre	-0.0064 h + 33.50	-0.0045 h + 32.71	-0.0080 h + 33.79
Octubre	-0.0072 h + 33.62	-0.0046 h + 31.53	-0.0078 h + 33.15
Noviembre	-0.0080 h + 34.24	-0.0048 h + 30.83	-0.0091 h + 33.07
Diciembre	-0.0082 h + 34.90	-0.0058 h + 30.96	-0.0097 h + 33.29

h : altura sobre el nivel del mar

Cuadro 9. Ecuaciones de estimación térmica mensual (mínima)

Mes	El Salvador	Honduras	Nicaragua
Enero	-0.0052 h + 19.75	-0.0073 h + 21.04	-0.0084 h + 21.07
Febrero	-0.0052 h + 20.16	-0.0073 h + 21.02	-0.0088 h + 21.52
Marzo	-0.0058 h + 21.62	-0.0075 h + 22.21	-0.0089 h + 22.00
Abril	-0.0057 h + 22.91	-0.0073 h + 23.17	-0.0092 h + 23.22
Mayo	-0.0054 h + 23.07	-0.0066 h + 23.65	-0.0083 h + 23.72
Junio	-0.0049 h + 22.53	-0.0058 h + 23.47	-0.0074 h + 23.15
Julio	-0.0048 h + 22.11	-0.0062 h + 23.49	-0.0076 h + 23.09
Agosto	-0.0048 h + 22.19	-0.0063 h + 23.49	-0.0078 h + 22.94
Septiembre	-0.0047 h + 22.18	-0.0062 h + 23.34	-0.0083 h + 23.03
Octubre	-0.0049 h + 22.07	-0.0053 h + 22.46	-0.0082 h + 22.81
Noviembre	-0.0048 h + 20.86	-0.0063 h + 21.99	-0.0085 h + 21.92
Diciembre	-0.0051 h + 20.26	-0.0072 h + 21.56	-0.0080 h + 21.22

h : Altura sobre el nivel del mar

presentó la ventaja de requerir solamente parámetros térmicos, y ser más precisa que otras fórmulas similares en el trópico.

La segunda modificación del procedimiento para el cálculo del balance hídrico propuesto por Thornwaite, fue el de no haber seguido la tabla que este autor propone para estimar la capacidad de retención de agua en el suelo para diferentes combinaciones de suelo y vegetación. En esta situación, el almacenaje de agua en el suelo se calculó, asumiendo una profundidad radical de 40,0cm que corresponde aproximadamente a la profundidad en la cual se absorbe el 90 por ciento del agua. Estos datos dieron como resultado una capacidad de almacenaje de 125 mm.

Como resultado del análisis del balance hidrológico promedio de cada una de las estaciones climatológicas de los países considerados, se puede determinar:

- a. Época óptima promedio de siembra.
- b. Duración promedio de la época de siembra.

En el caso de hacer un análisis exhaustivo se puede determinar adicionalmente.

- a. Variabilidad de la época de siembra.
- b. Porcentaje de años negativos, en los cuales el cultivo mermaría gravemente su producción por excesos o deficiencias hídricas.

En el presente estudio se hizo solamente un análisis del balance hidrológico promedio. A título de ejemplo se puede ver en el cuadro 10 a la estación Estelí (Nicaragua), en la que se observa que de acuerdo a los índices agroclimáticas de exceso y deficiencia de agua del *Phaseolus vulgaris L.*, existe una amplia época, en la cual sería apropiado efectuar la siembra. En efecto, la acumulación de los excesos y las deficiencias durante el ciclo de la planta a partir de cualquier punto en que se decida efectuar la siembra, nunca son tales que puedan impedir el desarrollo económico de la misma. La época de siembra, sería aproximadamente desde el 1o. de mayo hasta el 1o. de octubre, de acuerdo a los valores promedio de este balance, con una duración aproximada de 150 días. En este período será lógico encontrar varias épocas de siembra óptimas, así creemos que sería alrededor del 1o. de junio, y la otra el 1o. de septiembre, inclinándonos más por esta última, ya que para los días de la cosecha se encontrarían deficiencias que sin ser extremas, favorecen la maduración y cosecha de los granos.

#### Cuarta Etapa:

Análisis de las variables fisio-edáficas.

En esta etapa se procedió al análisis de los diferentes documentos que contienen información sobre la capacidad de uso o de uso potencial de la tierra para cada uno de los países. Para Costa Rica se seleccionó el trabajo de Coto y Torres (5), para Nicaragua un mapa de uso potencial de la tierra inédito facilitado por Catastro y Recursos Naturales de Nicaragua, para El Salvador el mapa de Zonificación Agropecuaria y

Forestal de González (12), y para Honduras, el mapa de Uso Potencial de la Tierra de Plath (24). Estos documentos fueron escogidos en función de su grado de detalle, y de su escala cartográfica.

En sí esta etapa consistió en designar un valor a cada una de las unidades cartográficas de los mapas en función de su aptitud para el cultivo del frijol. Se logró designar tres categorías que son las siguientes:

1. Muy buena
2. Buena
3. Regular

Además, como indicación adicional, se indicó, cuando esto fuese posible, el tipo de restricción de cada unidad. Las que se indicaron son las siguientes:

- d. deficiente drenaje
- e. pendientes que requieren prácticas de manejo
- p. suelos de textura pesada

Como se puede ver en la parte del análisis de las variables fisio-edáficas, se utilizaron documentos que hacen síntesis de estas variables. En ningún caso se generó nueva información, sino que se hizo confianza a la precisión y confiabilidad de estos documentos.

#### Quinta Etapa:

Elaboración de mapas factoriales.

Esta etapa consiste en dar una expresión cartográfica a los diversos factores o variables analizadas en las etapas previas. En el caso del presente estudio, la escala cartográfica empleada, fue la de 1:500000.

Los fondos cartográficos proceden de los mapas oficiales que en esa escala existen en cada país, sin embargo, para no recargar en demasía estos documentos, solamente se emplea una simplificación de éstos.

Los factores o variables para las cuales se elaboran mapas factoriales, varía según el cultivo a zonificar, en el caso del *Phaseolus vulgaris L.* fue necesario hacer una selección de éstos en función de la importancia que tiene cada uno de ellos para determinar la factibilidad de establecimiento del cultivo. El número de variables a emplear también depende de la escala cartográfica del trabajo, ya que en el momento de la síntesis cartográfica, que es la etapa posterior, no podrá recargarse el mapa final para permitir una mayor claridad.

En el caso del cultivo del frijol, se elaboraron los siguientes mapas factoriales:

#### Mapa Térmico

Este mapa se elaboró empleando las curvas de nivel existentes en los mapas base, y con el conocimiento de las diversas relaciones térmico/altitudinal establecidas en al Segunda



Cuadro 10

Ejemplo de balance hídrico mensual

IICA-Proyecto de Zonificación

Estación Estell

Lat.: 13° 06.1' Long.: 86° 21.5'W. Altura: 820 m.

Capacidad Saturación 125mm

Precip. 14 años

Registro

Temp. estimada

	Enero	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agst.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temperatura media	18.7	20.2	21.1	22.2	22.7	21.9	21.6	21.8	21.9	21.6	20.4	20.1	21.2
Temperatura mínima	14.2	14.3	14.7	15.7	16.4	17.1	16.8	16.5	16.2	16.1	15.4	14.7	15.7
Temperatura máxima	25.0	26.1	27.3	28.5	28.3	26.9	26.4	26.8	27.2	26.7	25.6	25.3	26.7
Evapotrans, potencial	98	109	121	129	123	104	99	105	112	106	98	98	1302
Precipitación	7	3	9	22	126	169	76	73	167	159	25	3	839
Diferencia P-EP	- 91	- 106	- 112	- 107	+ 3	+ 65	- 23	- 32	+ 55	+ 53	- 73	- 95	
Almacenaje	15	6	3	1	4	69	57	44	99	125	69	32	
Variac. de almacenaje	17	9	3	2			12	13			56	37	
Evapotr. Real	24	12	12	24	123	104	88	86	112	106	81	40	812
Deficiencia	74	97	109	105	0	0	11	19	0	0	17	58	490
Exceso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	27

Etapa, los límites trazados corresponden a los índices térmicos definidos para el cultivo de la Primera Etapa, o sea los valores de 17,0; 20,0; 23,0 y 27,0 C. Es necesario recordar, que los valores trazados corresponden a la termofase del termo período anual.

#### Mapa hídrico

En este caso, se elaboraron dos mapas diferentes. El primero corresponde a la duración de la época de siembra, y el segundo sobre el inicio de esta época. El mapa consecuencia del análisis de balance hídrico, que reviste mayor importancia es el de duración de la época de siembra, ya que da una mejor idea de los déficits y excesos de agua para la planta, así como su variabilidad, así se puede tener que una zona que tiene una época óptima de siembra más amplia, será más segura que una con período óptimo reducido.

En vista de que la escala cartográfica de trabajo fue limitada, solamente se empleó en la síntesis, el mapa factorial correspondiente a la duración de la época de siembra. Las categorías consideradas son las siguientes:

- 182,0 - 30 días (3)
- 30 - 60 días (2)
- más de 60 días (1)

#### Mapa de la duración de la estación ecoseca

Otro mapa sectorial que combina parámetros hídricos y térmicos que se elaboró, fue el de duración de la estación ecoseca. En este caso la estación ecoseca corresponde a aquellos meses cuya precipitación tiene valores inferiores al valor duplicado de la temperatura. Este mapa factorial fue empleado en la síntesis posterior, considerando zonas aptas para el cultivo del frijol, desde este punto de vista aquellas áreas que tienen más de un mes ecoseco. Las razones para emplear la información de este mapa fueron, que se considera recomendable disponer de una estación relativamente seca para obtener una mejor maduración de los frutos, y facilitar la cosecha.

#### Mapa de las variables fisio-edáficas

Este mapa considera solamente las unidades señaladas en la Cuarta Etapa, indicando la categoría correspondiente, así como sus limitaciones. La razón para indicar las limitaciones, es que de esta manera se da una indicación a los usuarios del documento de síntesis final sobre posibles inversiones que se deberán hacer para poder controlar o remediar dichas limitaciones, esto es importante, ya que puede ser un elemento para la evaluación de los posibles costos que se tendrán que realizar para implantar el cultivo en sectores con limitaciones.

## Sexta Etapa

### Síntesis cartográfica de los documentos factoriales.

Esta etapa consiste en la síntesis de los diversos mapas factoriales elaborados en la Quinta Etapa. El método empleado es el de síntesis cartográfica sucesiva, que es empleado corrientemente en las ciencias geográficas, que consiste como su propio nombre lo indica, en la superposición sucesiva de diversos mapas. En nuestro caso particular se procedió de la siguiente manera. El punto de partida fue el mapa factorial térmico que fue sobrepuesto al factorial hídrico. Las áreas que no tuvieran simultáneamente unidades aptas (en cualquier categoría) para el cultivo del frijol, desde el punto de vista térmico e hídrico, fueron excluidas. El mapa resultante fue sobrepuesto al de duración de la estación ecoseca, eliminando nuevamente las áreas aptas que no fueran comunes para el conjunto de variables. Como resultado de estas operaciones, se obtuvo un mapa que nos define el área de agroclima óptimo para el cultivo a nivel de país. En el mapa final esta área se encuentra delimitada por un trazo grueso.

La fase siguiente de la síntesis cartográfica, consistió en delimitar en el interior del área agroclimática general, los sectores que tienen características fisio-edáficas adecuadas para el cultivo.

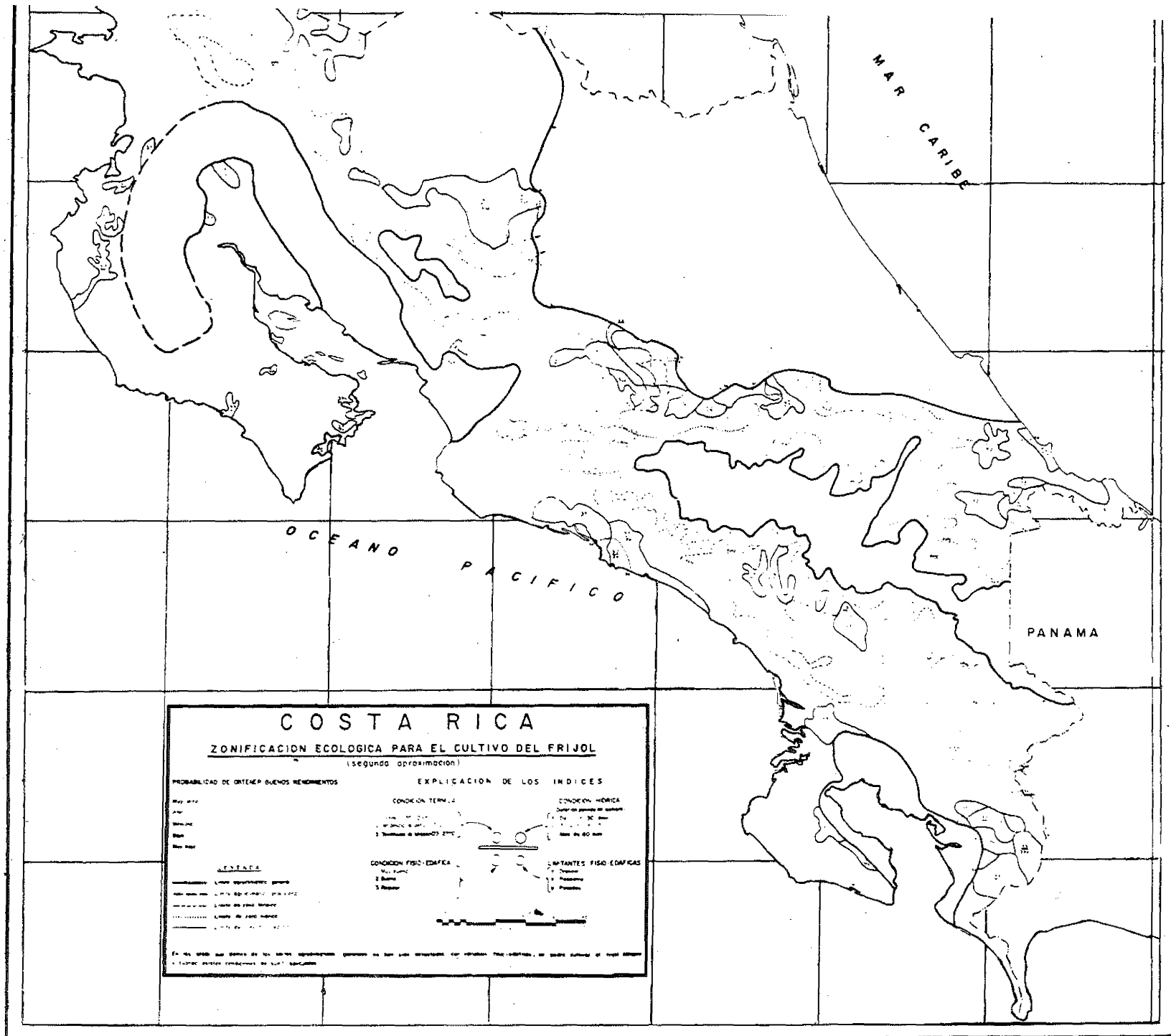
La simbología empleada se presenta en forma de un fracción en cuyo numerador se encuentran dos cifras: la primera corresponde a la categoría térmica, y la segunda a la hídrica. En el denominador se encuentra una cifra que indica la categoría fisio-edáfica en relación a la aptitud para el cultivo, y una letra minúscula que señala las limitaciones que puede tener dicha unidad, en relación a drenaje, pendiente y textura del suelo.

Es necesario hacer la salvedad, que por la escala cartográfica empleada, algunos sectores con suelos de buena calidad para el cultivo, no fueron delimitados en vista de su pequeña extensión.

Por otra parte para facilitar la utilización de estos mapas, las diversas unidades cartografiadas como aptas para el cultivo, fueron agrupadas en una escala que hace un resumen general sobre las posibilidades que ofrecen para obtener buenos rendimientos; estas categorías son las siguientes:

Probabilidad para obtener buenos resultados . . . . .muy alta  
 Probabilidad para obtener buenos resultados . . . . .alta  
 Probabilidad para obtener buenos resultados . . . . .mediana  
 Probabilidad para obtener buenos resultados . . . . .baja  
 Probabilidad para obtener buenos resultados . . . . .muy baja

Esta agrupación, en función de las probabilidades para la obtención de buenos rendimientos sirve especialmente como elemento de juicio para la toma de decisiones a nivel de país o de región, sobre diversas áreas que se consideren alternativas para el establecimiento de un proyecto de fomento.



GUATEMA

HONDURAS

OCEANO PACIFICO

# EL SALVADOR

## ZONIFICACION ECOLOGICA PARA EL CULTIVO DEL FRIJOL

(segundo aproximación)

### PROBABILIDAD DE OBTENER BUENOS RENDIMIENTOS

- Muy alta
- Alta
- Mediana
- Baja
- Muy baja

### EXPLICACION DE LOS INDICES

#### CONDICION TERMICA

- 1. Optima (20-23°C)
- 2. Tendencia a deficiencia (17-20°C)
- 3. Tendencia al exceso (25-27°C)

#### CONDICION HIDRICA

(duración periodo de siembra)

- 1. De 1 a 30 días
- 2. 31 días a 60 días
- 3. Más de 60 días

#### CONDICION FISIO-EDAFICA

- 1. Muy buena
- 2. Buena
- 3. Regular

#### LIMITANTES FISIO-EDAFICAS

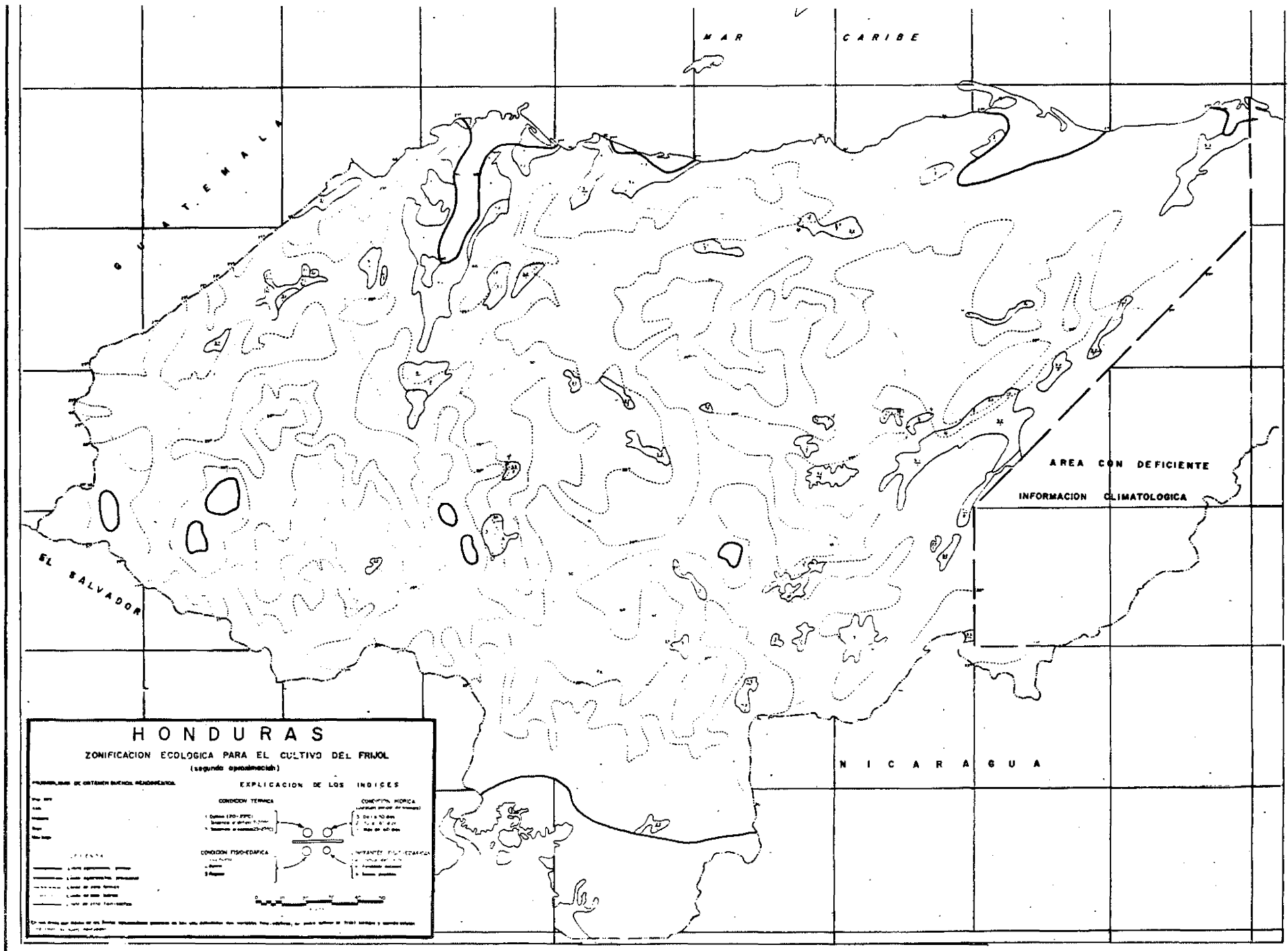
- a. Drenaje deficiente
- b. Fertilidad deficiente
- c. Suelo ácido
- d. Fertilidad excesiva

### LEYENDA

- Límite aproximado general
- - - Límite aproximado provisional
- ..... Límite de zona termica
- ..... Límite de zona hidrica
- ..... Límite de zona fisio-edafica



En los áreas que están dentro de los límites aproximados se puede obtener mejores rendimientos con variedades de frijol que se adapten a las condiciones de suelo adecuadas.

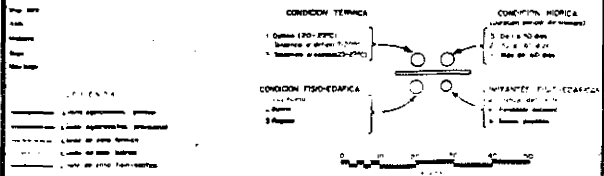


# HONDURAS

ZONIFICACION ECOLOGICA PARA EL CULTIVO DEL FRIJOL  
(segundo optimización)

PREPARACION DE CARTAS NACIONALES REGIONALES

## EXPLICACION DE LOS INDICES



Este mapa fue elaborado en el Centro de Estudios Geográficos de la Universidad de San Carlos, Guatemala, en el mes de mayo de 1961, bajo la dirección del Sr. Dr. Carlos Aguilar.



## LITERATURA CITADA

1. AGUIRRE, J. A. y SALAS. Zonificación del cultivo del frijol en Centroamérica y Panamá. Turrialba 15 (4) : 300 - 306. 1965.
2. ALLARD, R. W. y ZAUMEYER, W. J. Responses of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and other legumes to length of day. U. S. Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 867, 24 p. 1944.
3. BOX, J. M. M. Leguminosas de Grano. Barcelona, Salvat, 1961. 550 p.
4. CARDONA, C., CAMACHO, L. H. y OROZCO, S. H. Diacol Nima, variedad mejorada de frijol. Ministerio de Agricultura, Colombia, Boletín de divulgación No. 8 : 1 - 24. 1959.
5. COTO, J. A. y TORRES, J. E. Uso potencial de la tierra, Costa Rica, San José. Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1970. Escala 1:750 000
6. DALE, J. E. Leaf growth in *Phaseolus vulgaris* L.. Annals of Botany (n.s.) 29 (114) : 293-308. 1965.
7. DAVIS, J. F. The effect of some environmental factors on the set pods and yields of white pea beans. Journal of Agricultural Research 70 : 237 - 249. 1945.
8. DE FINA, A. L. y SABELA, L. J. Cálculo de las temperaturas medias de localidades montañosas carentes de observaciones termométricas. Revista de la Facultad de Agronomía (La Plata) 35 (2) : 127 - 145. 1959.
9. GARCIA, B. J. Zonificación de *Phaseolus vulgaris* L. en función de su régimen hídrico. Agronomía Tropical 19 (3) : 197 - 203. 1969.
10. y LOPEZ, D. Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al Trópico Agronomía Tropical 20 (4) : 1970. (en prensa).
11. y MONTOYA MAQUIN, J. M. Un procedimiento para estimar la humedad relativa, con fines agroecológicos, en medio tropical. Turrialba 21 (1) : 1971. (en prensa).
12. GONZALEZ, L. H. Zonificación agropecuaria y forestal en El Salvador, guía para una planificación del uso de la tierra. Tesis M.S., Turrialba, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, 1968. 65 p.
13. GUERRERO, R. R. Relación entre el ciclo vegetativo del frijol con la altura y la temperatura media. Turrialba, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Curso de Cultivos Tropicales anuales, 1968. 1p.
14. HOLDRIDGE, L. R. Determination of world plant formation from simple climatic data. Science 105 : 367-368. 1947.
15. KLAGES, K.H.W. Ecological crop geography. New York, Macmillan Company, 1942. 416 p.
16. MAC GILLIVRAY, J. H. Vegetable production. New York, Blakiston Company, 1953, 397 p.
17. MONTOYA MAQUIN, J. M. Zonas ecológicas para frijol en América Central, una metodología In, Reunión Técnica sobre Programación de Investigación y Extensión en frijol y otras leguminosas de grano para América Central, Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1969, pp. 26 - 34.
18. y GARCIA B. J. Comparación de dos técnicas para estimar temperaturas medias con fines agroecológicos, en localidades carentes de registros. Turrialba, 21 (1) : 1971. (en prensa).
19. PAPADAKIS, J. Ecología de los cultivos. Buenos Aires, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1954. 461; pp.
20. Climates of the world and their agricultural potentialities. Buenos Aires, Juan Papadakis, 1966. 170 p.
21. Crop ecological survey of West Africa (Liberia, Ivory Coast, Ghana, Togo, Cahomey, Nigeria) Roma, FAO, 1966 2 volúmenes.
22. PINCHINAT, A. M. Factores limitantes en el cultivo del frijol en Centroamérica. In Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios. Panamá, 1965. 69 p.
23. PINCHINAT, A. M. El cultivo del frijol en Centroamérica. Extensión de las Américas 11 (2) : 27 - 32. 1966.
24. PLATH, C. V. Uso potencial de la tierra. Parte V, Honduras, Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1967. 21 p.
25. y van der SLUIS, A. Uso potencial de la tierra del Istmo Centroamericano. Parte VII, Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1968. 29 p.
26. SAENZ-MAROTO, A. El frijol común. San José, Universidad de Costa Rica, 1962, 108 p.
27. STOBBE, E. H., ORMROD, D. L. y WOOLLEY, C. J. Blossoming and fruit set patterns in *Phaseolus vulgaris* L. as influenced by temperature. Canadian Journal of Botany 44 (6):813-819. 1966.
28. THOMPSON, H. y KELLY, W. Vegetable crops. New York, Mc Graw Hill Company, 1957. 611 p.

29. THORNTHWAITTE, C. W. y MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, Publication in Climatology 10 (3) : 184-311. 1957.
30. VIERA, C. O feijao comun e sua lavoura. Boletim de Agricultura (Brasil) 8(1/2):19-31, 1959.
31. VIERA, C. A cultura do feijao. Boletim de Agricultura (Brasil) 10(1/6)'19-45. 1961-2.