

ADAPTABILIDAD AGROECOLÓGICA DEL CULTIVO DEL AGUACATE EN EL ESTADO ARAGUA, VENEZUELA

Adriana Cortez¹, María Carolina Núñez^{1†} y María F. Rodríguez de P.¹

RESUMEN

Las temperaturas ideales para el cultivo del aguacate incluyen valores diurnos entre 25-30 °C y nocturnos entre 15-20 °C. Registros mayores de 35°C afectan la floración y fructificación. Las precipitaciones deben estar bien distribuidas durante el año disponiendo de suficiente agua desde el cuajado de fruto hasta su recolección, pero evitando los excesos hídricos en la etapa de floración. Los suelos con mayor potencial son los de textura media con pH entre 5,5 y 6,5. Con base en esta información, el objetivo de este trabajo fue definir áreas aptas para el cultivo del aguacate desde el punto de vista agroecológico en el estado Aragua, en la región central de Venezuela, haciendo uso de los sistemas de información geográficos. Se utilizaron datos de las 16 estaciones meteorológicas del estado Aragua con períodos de registro mínimo de 10 años, así como los registros históricos de los análisis de suelo de la zona. Para la geo-referenciación, análisis y generación de los mapas se utilizó el programa ArcView 3.2, considerando el método del inverso de la distancia al cuadrado. Al integrar la información climática y edáfica disponible, se obtuvo la adaptabilidad propuesta con una precisión aceptable. Desde el punto de vista climatológico, las zonas aptas representan 5225 km² del territorio, desde el punto de vista edáfico llegan a 1553 km², y finalmente desde el enfoque agroecológico sólo 523 km² resultaron aptos para el cultivo del aguacate en el estado Aragua.

Palabras claves adicionales: *Persea americana*, clima, suelo, SIG

ABSTRACT

Agroecological adaptability of avocado cultivation in the Aragua State, Venezuela

The ideal temperatures for avocado production are diurnal values between 25 and 30 °C and nocturnal between 15 and 20 °C. Temperatures greater than 35 °C affect the flowering and fructification. The rain must be well distributed during the year, with sufficient water availability from fruit set to harvest, but avoiding water excess during flowering. The appropriate soils are medium textured with pH between 5.5 and 6.5. Based on this information, the objective of this paper was to identify the agroecological suitable areas for avocado production in Aragua State, in the central region of Venezuela, using geographical information systems. Meteorological data from the 16 weather stations of Aragua State with a minimum period of 10-year records were used, along with the historic records of soil analysis of the zone. The analysis and generation of the maps was accomplished by using the program ArcView 3.2, applying the method of the inverse of the squared distance. By integrating the climate and soil information, the proposed adaptability was obtained with acceptable precision. From the climatic point of view, the suitable zones represent 5225 km² of the territory, from the edaphic point of view they represent 1553 km², but considering the whole agroecological requirements, only 523 km² resulted well suited for avocado production in Aragua State.

Additional key words: *Persea americana*, climate, soil, Aragua, GIS

INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una de las frutas más populares y de consumo generalizado en Venezuela, con buenas perspectivas para ubicarse entre los principales productos no tradicionales de exportación, dadas las ventajas de los precios y el nivel de demanda que ha mantenido tradicionalmente en el mercado

internacional (Barbeau, 1992). En el país, se tiene una estimación del área cosechada de 5878 ha, con una productividad media de 7565 kg·ha⁻¹, aportando un 0,17 % de la producción agrícola nacional (MPC, 2003). La superficie dedicada a este cultivo ha permanecido más o menos estable en los últimos 25 años, atribuido a problemas agronómicos que no han sido resueltos, en especial los referentes a la adaptabilidad (Avilán

Recibido: Abril 6, 2006

Aceptado: Mayo 4, 2007

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), CENIAP, Recursos Agroecológicos. Apdo. 4846. Maracay 2101. Venezuela. e-mail: acortez@inia.gob.ve; mfrrodriguez@inia.gob.ve

et al., 1997).

Según Galán (1988) y Avilán et al. (1996) las condiciones ideales para el establecimiento del cultivo del aguacate son temperaturas diurnas en torno a los 25-30 °C y nocturnas en 15-20 °C, destacando que las temperaturas altas (mayores de 35 °C) perjudican la floración y fructificación, afectando la fecundación y polinización y ocasionando desprendimiento de los frutos.

En cuanto a la humedad del suelo el cultivo del aguacate requiere que las precipitaciones estén bien distribuidas durante el año. El período más crítico es el que la planta debe disponer de suficiente agua abarca desde el cuajado hasta la recolección, pero los excesos de precipitación durante las etapas de floración y fructificación, además de reducir la producción, perjudican la calidad de los frutos (Medina et al., 1978).

Álvarez (1979) señala que los suelos más convenientes para el cultivo del aguacate son los de textura media y profundos, y destaca que los muy arenosos no son recomendables ya que los árboles no adquieren un buen desarrollo. Díaz (1979) señala que el pH más conveniente para este cultivo varía entre 5,5 y 6,5. Los valores superiores a 7,0 pueden presentar problemas de asimilación de algunos elementos como el hierro y en suelos con pH inferior a 5,5 existen inconvenientes con el aluminio. Por otra parte, aunque existen otros parámetros importantes del suelo como la salinidad y fertilidad, para el desarrollo de este trabajo se definió sólo un número determinado de elementos tanto climáticos como edáficos que permitieran determinar las posibilidades de adaptabilidad del cultivo.

La zonificación agrícola permite, a partir de conocimiento de las variables climáticas y de su espacialización regional por medio de los sistemas de información geográficos, definir regiones de aptitud climática y épocas más adecuadas de plantación y labores agrícolas (Silva et al., 2000). En este caso, los sistemas actuales de cartografía digital o geoprocésamiento permiten realizar estudios precisos de adaptabilidad agroecológica de los cultivos, así como la ampliación de los conocimientos de adaptabilidad, y posibilitando una planificación de mediano y largo plazo a los productores (Sediyama et al., 2001).

Este trabajo tuvo como objetivo definir áreas aptas para el cultivo del aguacate desde el punto

de vista agroecológico en el estado Aragua, en la zona central de Venezuela, mediante la utilización de los sistemas de información geográfica como herramienta cartográfica a partir de elementos relevantes de clima y suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de influencia del trabajo fue el estado Aragua, localizado en la zona central de Venezuela, entre las latitudes 9° 30' y 10° 34' N, y las longitudes 66° 33' y 68° 26' W. Se utilizaron datos de precipitación de las 16 estaciones meteorológicas del estado Aragua correspondientes al banco de datos de la red pluviométrica del Ministerio del Ambiente de los Recursos Naturales (MARN), la red agrometeorológica del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), del servicio de meteorología de la Fuerza Aérea Venezolana (FAV) y de la Universidad Central de Venezuela (UCV), con registros de 10 años (Cuadro 1).

Dado que se consideró que los datos de temperatura máxima de las ocho estaciones meteorológicas del tipo C1, C2 y A1 eran insuficientes para la determinación de las temperaturas y asociarlas a su variación espacio-temporal, se utilizó el programa JMP6 para estimar las temperaturas máximas del resto de las estaciones mediante un análisis de regresión lineal múltiple en función de la altitud, latitud y longitud, según el gradiente térmico (Cuadro 2).

Adaptabilidad climática

Para definir si en el área se tendrían problemas con la temperatura máxima se determinó la frecuencia de ocurrencia de temperaturas superiores a 35 °C (Galán, 1988; Avilán et al., 1996). Para cada estación y año se determinó la temperatura máxima promedio mensual y para cada año se registró el mes con la mayor temperatura. Posteriormente se realizó un análisis de frecuencia y probabilístico, mediante el programa JMP6, en el cual se establecieron las probabilidades de ocurrencia de temperaturas máximas mayores de 35 °C para así definir las áreas aptas y no aptas para el cultivo desde el punto de vista térmico.

El cálculo del exceso hídrico se realizó mediante el balance hídrico agrícola de todas las estaciones, utilizando la precipitación total

decadaria para cada mes, la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y la

evapotranspiración de referencia estimada a partir del 80 % de la evaporación (Campos, 2005).

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas del estado Aragua y período de información

Nº	Organismo	Estación	Tipo	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud	Años de registro
1	FAV	Colonia Tovar	C1	1790	10°25'35"	67°17'45"	1991-2000
2	FAV	Maracay	A1	437	10°14'59"	67°38'51"	1991-2000
3	INIA	Maracay-CENIAP	C2	480	10°17'14"	67°36'02"	1991-2000
4	INIA	Ocumare de la Costa	C2	34	10°27'36"	67°46'22"	1991-2000
5	UCV	Maracay	C2	443	10°16'20"	67°36'35"	1991-2000
6	MARN	San Francisco Pao	PR	640	10°05'45"	67°17'05"	1991-2000
7	MARN	Santa Cruz Edafológica	C1	444	10°10'00"	67°29'15"	1991-2000
8	MARN	La Espinosa	PR	320	9°49'00"	66°47'00"	1991-2000
9	MARN	Tocorón-Caserío	PR	440	10°06'15"	67°35'04"	1991-2000
10	MARN	Las Cenizas	PR	670	10°01'38"	67°33'55"	1991-2000
11	MARN	Tiara	PR	750	10°07'49"	67°09'00"	1991-2000
12	MARN	Embalse Taiguaiguay	PR	438	10°08'49"	67°29'59"	1991-2000
13	MARN	San Sebastián	PR	330	9°56'53"	67°10'41"	1991-2000
14	MARN	Valle Morín	PR	400	9°55'20"	66°55'10"	1991-2000
15	MARN	Embalse de Camatagua	C1	330	9°49'00"	66°57'22"	1991-2000
16	MARN	El Cortijo	C2	490	10°04'53"	67°25'05"	1991-2000

A1: Sinóptica C1: Climatológicas C2: Climatológica ordinaria PR: Pluviográfica

Para el establecimiento de los criterios de clasificación se consideró que la etapa de floración es una de las más susceptibles al exceso hídrico y que esta etapa fenológica ocurre entre los decadales números 20 al 36 del desarrollo del cultivo. Según Medina et al. (1978) un exceso hídrico en este período igual o mayor a 450 mm es perjudicial ya que además de reducir la producción, afecta la calidad de los frutos y puede ocasionar daños en el sistema radical de la planta. Esto permitió establecer que las zonas aptas serían aquellas con excesos hídricos totales menores a 450 mm en el período comprendido entre los decadales 20 al 36.

En forma similar al procedimiento utilizado con las temperaturas máximas, se realizó un análisis de frecuencia y probabilístico, mediante el programa JMP6, en el cual se establecieron las probabilidades de ocurrencia de excesos hídricos perjudiciales para así definir las áreas aptas y no aptas para el cultivo desde el punto de vista de la humedad del suelo. Se consideró como aptas aquellas zonas donde la probabilidad de ocurrencia de condiciones perjudiciales de temperatura y humedad fuesen inferiores al 30 %.

Los valores de la probabilidad de ocurrencia de

temperaturas máximas y excesos hídricos fueron georeferenciados e interpolados con el sistema de información geográfica ArcView GIS 3.2 utilizando el método del inverso de la distancia al cuadrado con lo que se originaron mapas de categorías por probabilidad de las zonas aptas para el cultivo.

Adaptabilidad edáfica

Con el fin de determinar la aptitud de los suelos para el cultivo del aguacate se procedió a la utilización de los datos provenientes del Laboratorio de Suelo del CENIAP, correspondientes a los registros históricos de las muestras de suelo en cuanto a los contenidos de arcilla y arena, así como los valores de pH. El criterio de clasificación de suelo apto se basó en los parámetros señalados por Álvarez (1979) y Díaz (1979). Los valores fueron georeferenciados e interpolados, generándose capas de información que se ge analizaron utilizando la superposición de dichas capas para obtener el mapa final de la aptitud edáfica. Esta región resultante fue corregida por altitud, dando finalmente la clase apta para la zonificación del aguacate en el estado Aragua. Utilizando el módulo de análisis espacial

del Arcview GIS 3.2 se efectuó el cruzamiento de los mapas parciales para obtener el mapa final de adaptabilidad del cultivo del aguacate para el estado Aragua.

Cuadro 2. Modelos de regresión para estimar las temperaturas máximas decadales (Tmax) en función de la altitud (X), latitud (Y) y longitud (Z), en el estado Aragua

Decadal	Ecuación	R ²
Ene 1*	$T_{max} = -131,8 - 0,00569 X - 4,97 Y + 3,20 Z$	0,964
Ene 2	$T_{max} = -145,6 - 0,00589 X - 5,60 Y + 3,50 Z$	0,974
Ene 3	$T_{max} = -147,2 - 0,00590 X - 5,42 Y + 3,50 Z$	0,965
Feb 1	$T_{max} = -144,3 - 0,00585 X - 4,92 Y + 3,38 Z$	0,956
Feb 2	$T_{max} = -157,9 - 0,00587 X - 5,23 Y + 3,64 Z$	0,968
Feb 3	$T_{max} = -151,7 - 0,00617 X - 5,48 Y + 3,59 Z$	0,969
Mar 1	$T_{max} = -163,0 - 0,00627 X - 5,51 Y + 3,77 Z$	0,971
Mar 2	$T_{max} = -163,9 - 0,00649 X - 5,84 Y + 3,84 Z$	0,969
Mar 3	$T_{max} = -156,6 - 0,00642 X - 5,86 Y + 3,73 Z$	0,970
Abr 1	$T_{max} = -145,8 - 0,00638 X - 5,14 Y + 3,46 Z$	0,972
Abr 2	$T_{max} = -114,1 - 0,00596 X - 4,83 Y + 2,94 Z$	0,970
Abr 3	$T_{max} = -79,6 - 0,00527 X - 3,76 Y + 2,25 Z$	0,977
May 1	$T_{max} = -48,9 - 0,00468 X - 3,48 Y + 1,74 Z$	0,979
May 2	$T_{max} = -28,0 - 0,00447 X - 3,50 Y + 1,43 Z$	0,979
May 3	$T_{max} = -21,4 - 0,00427 X - 3,52 Y + 1,33 Z$	0,928
Jun 1	$T_{max} = -16,9 - 0,00411 X - 3,85 Y + 1,30 Z$	0,912
Jun 2	$T_{max} = -19,2 - 0,00403 X - 4,41 Y + 1,41 Z$	0,964
Jun 3	$T_{max} = -16,9 - 0,00425 X - 4,11 Y + 1,33 Z$	0,941
Jul 1	$T_{max} = -8,3 - 0,00418 X - 4,38 Y + 1,25 Z$	0,942
Jul 2	$T_{max} = -30,0 - 0,00424 X - 4,61 Y + 1,60 Z$	0,948
Jul 3	$T_{max} = -22,2 - 0,00413 X - 4,83 Y + 1,52 Z$	0,961
Ago 1	$T_{max} = -30,1 - 0,00406 X - 5,00 Y + 1,66 Z$	0,953
Ago 2	$T_{max} = -46,7 - 0,00425 X - 5,44 Y + 1,98 Z$	0,977
Ago 3	$T_{max} = -30,9 - 0,00411 X - 5,30 Y + 1,73 Z$	0,973
Sep 1	$T_{max} = -48,0 - 0,00411 X - 5,38 Y + 2,00 Z$	0,980
Sep 2	$T_{max} = -65,2 - 0,00436 X - 5,33 Y + 2,28 Z$	0,962
Sep 3	$T_{max} = -65,2 - 0,00404 X - 5,03 Y + 2,20 Z$	0,981
Oct 1	$T_{max} = -71,4 - 0,00422 X - 4,88 Y + 2,27 Z$	0,984
Oct 2	$T_{max} = -70,0 - 0,00408 X - 4,26 Y + 2,16 Z$	0,971
Oct 3	$T_{max} = -85,1 - 0,00424 X - 4,70 Y + 2,45 Z$	0,988
Nov 1	$T_{max} = -90,0 - 0,00447 X - 4,80 Y + 2,54 Z$	0,983
Nov 2	$T_{max} = -85,5 - 0,00451 X - 4,55 Y + 2,44 Z$	0,976
Nov 3	$T_{max} = -93,5 - 0,00487 X - 4,78 Y + 2,59 Z$	0,976
Dic 1	$T_{max} = -105,4 - 0,00499 X - 5,01 Y + 2,80 Z$	0,975
Dic 2	$T_{max} = -109,0 - 0,00528 X - 4,76 Y + 2,82 Z$	0,961
Dic 3	$T_{max} = -106,0 - 0,00534 X - 4,96 Y + 2,81 Z$	0,972

* 1, 2, 3 significan los decadales del mes

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura máxima

El mayor valor de la temperatura máxima mensual se obtuvo en el mes de marzo, con un promedio de 32,5 °C, fluctuando desde 25,4 °C en el embalse Taiguaiguay hasta 35,2 °C en Ocumare de la Costa. Debido a que la ocurrencia de temperaturas mayores a 35 °C son perjudiciales para el desarrollo del aguacate, el análisis frecuencial arrojó el intervalo de mayor temperatura comprendido entre 34,5 °C a 35,5 ± 1,7 °C, siendo éste el de la frecuencia más alta. Por otra parte, la ocurrencia de temperaturas mayores a 35 °C resultó sólo en la estación Ocumare de la Costa, con un 69,5 % de probabilidad. Es decir, desde el punto de vista térmico una gran parte del territorio Araguëño no presenta limitaciones para este cultivo.

Excesos hídricos

Con relación a los excesos hídricos la clase apta se ubica hacia el norte, centro y oeste del estado, representando el 73 % del área total. El área no apta (27 %) está restringida a una pequeña zona al sureste del estado. El cruzamiento de los mapas de probabilidad de ocurrencias de temperatura y excesos hídricos originó el mapa final de aptitud climática del aguacate para el estado Aragua (Figura 1).

Suelo

En cuanto a las limitantes edáficas la zona apta para el desarrollo del cultivo representa una área de 1553 km², localizada hacia el noroeste y extremo sur del estado Aragua (Figura 2). Estas zonas se caracterizan por tener elevaciones menores a 500 msnm, presentar suelos de textura franca y pH que va de 5,5 a 6,5, siendo éstas las condiciones mínimas favorables para el desarrollo del aguacate.

Al superponer los mapas de la aptitud climática y la aptitud edáfica se observa que la mayor concentración del área apta para el cultivo se encuentra en la zona centro-norte del estado (Figura 3), coincidiendo con la mayor concentración de centros urbanos de mayor importancia del territorio araguëño, lo que trajo como consecuencia que estas tierras estén bajo presión de uso de un desarrollo urbano rural.

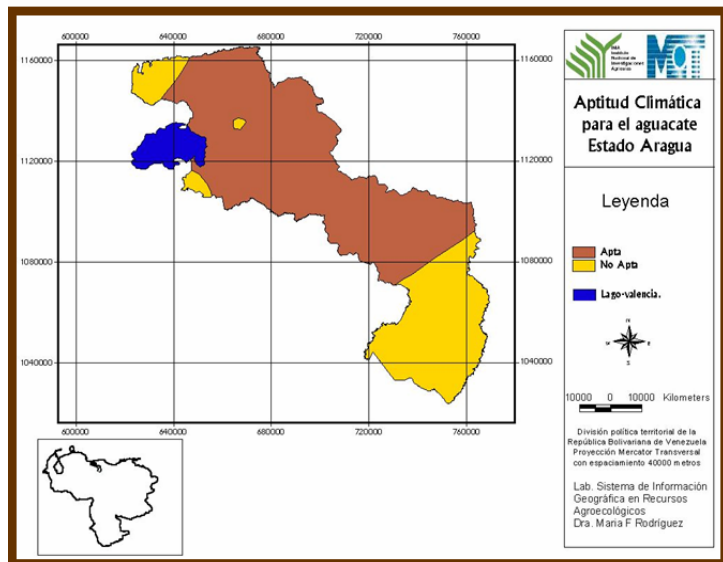


Figura 1. Aptitud climática para el cultivo del aguacate en el estado Aragua, Venezuela

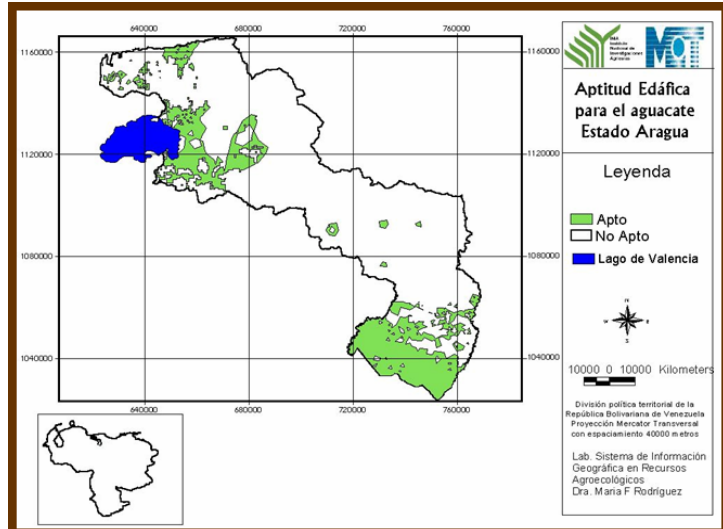


Figura 2. Aptitud edáfica para el cultivo del aguacate en el estado Aragua, Venezuela

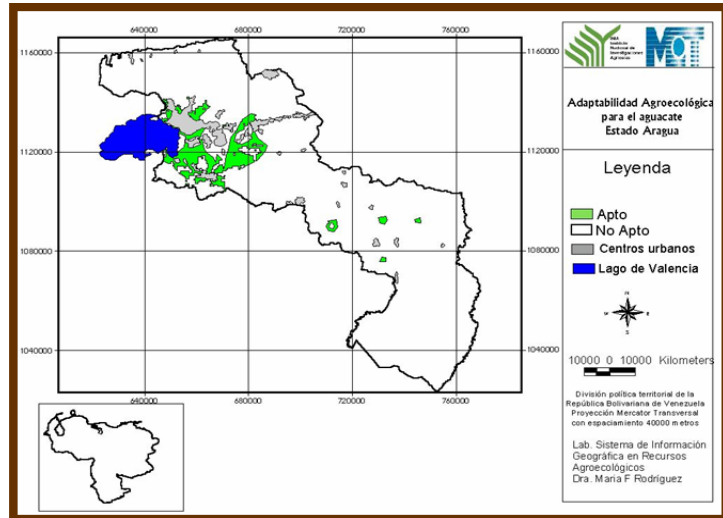


Figura 3. Adaptabilidad agroecológica del cultivo del aguacate en el estado Aragua, Venezuela

En el Cuadro 3 se observa que más del 70 % del estado no presenta limitantes climáticas para el desarrollo del cultivo del aguacate, no así para las condiciones edáficas donde sólo un 22 % del estado resulta favorable para el desarrollo del cultivo. En la zona bajo estudio otros rubros agrícolas compiten con el aguacate, donde se tiene un claro dominio del área cosechada de cereales, seguidos de la caña de azúcar y el banano, entre otros rubros de menor importancia (MPC, 2003).

Cuadro 3. Áreas aptas y porcentaje que representan para el cultivo del aguacate en el estado Aragua según los criterios agroecológicos evaluados en una extensión de 7212 km²

Variable	Área (km ²)	Porcentaje
Aptitud térmica	6924	96
Aptitud hídrica	5225	73
Aptitud edáfica	1553	22

CONCLUSIONES

Se establecieron como zonas aptas para el cultivo del aguacate, desde el punto de vista climático, aproximadamente 5225 km² del área total del territorio evaluado y 1553 km² desde el punto de vista edáfico. De la superposición de los mapas climáticos y edáficos resultó que sólo 523 km² son agroecológicamente aptos para el cultivo, ubicados principalmente hacia las áreas planas del occidente del estado Aragua.

Los sistemas de información geográficos (SIG) resultaron una herramienta fundamental para este tipo de estudio debido a su versatilidad en la obtención de los mapas finales y el cálculo de áreas potenciales para el desarrollo del cultivo.

LITERATURA CITADA

1. Álvarez, F. 1979. El aguacate. Ministerio de Agricultura. Madrid.
2. MPC (Ministerio de Producción y Comercio).
3. Anuario Agropecuario. Dirección de Estadística del MPC. Caracas.
4. Avilán, L., L. Rodríguez y J. Ruiz. 1996. Comportamiento floral de variedades de aguacate en Venezuela. *Agronomía Tropical* 46(3): 275-287.
5. Avilán, L., F. Leal y D. Bautista. 1997. El Aguacatero. Principios y Técnicas para su Producción. Editorial Espasande. Caracas.
6. Barbeau, F. 1992. The production and market of avocado. *Tropical Fruits Newsletter* 3: 8.
7. Campos Aranda., D. 2005. Agrometeorología Cuantitativa de Cultivos. Editorial Trillas. México D.F.
8. Díaz, A. J. 1979. El cultivo del Aguacate. División de Agricultura. Banco de México. México DF.
9. Galán-Sauco, V. 1988. Los Frutales tropicales en los subtrópicos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
10. Medina, J., E. Bleinroth, J. Tango y W. Leite do Canto. 1978. Abacate. Campinas, Instituto de Tecnologías de Alimentos. Governo de Sao Paulo. 212 p.
11. Sedyama-Chohaku, G., J.C. Ferraira-Melo, A. Rosa-Dos Santos, A. Ribeiro, M. Heil-Costa, P. Hamakawa, J. Nogueira-Da Costa y L. Costa. 2001. Zoneamiento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorología* 9(3): 501-509.
12. Silva, G.B. y P.V. Azevedo. 2000. Potencial edafoclimático da "Chapada Diamantina" no estado da Bahia para cultivo de *Citrus*. *Revista Brasileira de Agrometeorología* 8(1): 133-139.