

Zonificación agroclimática del cultivo de maíz para la sostenibilidad de la producción agrícola en Carabobo, Venezuela

Barlin Orlando Olivares*

Rafael Hernández**

Alexander Arias**

Juan Carlos Molina**

Yessica Pereira**

Resumen

La zonificación representa una herramienta que permite gestionar el territorio mediante el uso sostenido de los recursos, es por ello que el objetivo de esta investigación fue definir las zonas climáticas aptas para el cultivo de maíz en el estado Carabobo, Venezuela, y de esta manera coadyuvar a la sostenibilidad de la producción agrícola de esta entidad. El estudio fue realizado considerando tres aspectos: las condiciones de suelo y clima de la zona, los tipos de relieve y los requerimientos hídricos de los cultivos, que aproximaron el comportamiento de la humedad en los suelos, de acuerdo con los balances hídricos del cultivo. Estos tres aspectos se analizaron separadamente y luego se integraron para determinar la zonificación espacial del maíz a partir de fechas óptimas de siembra. Los resultados establecen una superficie de 590 km² de tierras agrícolas aptas para el maíz, distribuida en doce de los municipios. El estudio pone de manifiesto la importancia de realizar este tipo de zonificaciones para ubicar las especies según la estación de crecimiento y realizar las labores mecanizadas, agrícolas y culturales en las épocas más adecuadas.

Palabras clave: Adaptabilidad, Cereal, Territorio, Clima, Suelo.

* Investigador. Programa Iberoamericano de Doctores en Agroalimentación de la Universidad de Córdoba (UCO), Andalucía, España, barlinolivares@gmail.com.

** Gerencia de Meteorología Aplicada, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), Venezuela.

Agroclimatic zoning of corn crop for sustainable agricultural production in Carabobo, Venezuela

Abstract

The zoning represents a tool that allows to manage the territory through the sustained use of resources. Therefore, the objective of this research was to define the climatic zones suitable for the cultivation of corn in the state of Carabobo, Venezuela, contributing to the sustainability of the agricultural production of this entity. This research was carried out considering three aspects: the soil and climate conditions of the area, relief types and crop water requirements, which showed soil moisture behavior, according to the crop water balance. These three aspects were analyzed separately and then integrated to determine the spatial zoning of corn at optimal sowing dates. The results establish an area of 590 km² of agricultural land suitable for corn, distributed across twelve municipalities. This study highlights the importance of carrying out this type of zoning to locate the species according to the growing season and perform the mechanized, agricultural and cultural work in the most appropriate periods.

Key words: Adaptability, Cereal, Territory, Climate, Soil.

Introducción

La demanda de alimentos requiere desarrollar nuevas tecnologías que permitan aumentar la producción de granos para asegurar un nivel cercano a la autosuficiencia alimentaria. En este sentido, la tendencia que ha tomado mayor fuerza e imponencia en la producción agrícola lo representa el enfoque llamado agricultura sustentable, sostenible o durable, considerando a su vez el concepto de autosuficiencia alimentaria para evitar la pérdida o la degeneración de los capitales naturales representativos como el suelo, el clima y los cultivos (Abraham et al., 2014; FAO, 2011; Astier-Calderon, Maass-Moreno y Erchevers, 2002; Olivares y Cortez, 2017).

En Venezuela la producción del maíz está dividida en tres partes, la primera en los estados occidentales como Yaracuy, Portuguesa, Barinas y Cojedes, la segunda, en los estados centrales constituidos por Aragua, Carabobo y algunas partes de Guárico, y la tercera está en los estados orientales de Monagas y Bolívar (Ovalles, Cortez, Rodríguez, Rey y Cabrera-Bisbal, 2008; García, Cabrera, Sánchez y Pérez, 2009).

Es el cereal de mayor amplitud ecológica en Venezuela, lo que ya introduce dudas sobre la posibilidad de encontrar altos valores de especialización productiva. Se cultiva en casi todo el territorio nacional, pero preferentemente bajo labranza mecanizada en la amplia faja de los llanos altos venezolanos, desde las planicies occidentales hasta las sabanas orientales (Rojas López, 2007).

A partir del año 2009 se presentó una disminución de la superficie sembrada y la producción en Venezuela, hasta alcanzar los 2,5 millones de Mg durante el año 2015, debido fundamentalmente a las políticas de precios, dificultades para la importación de semilla híbrida y retardos en su entrega (98 % de la producción nacional proviene de semilla híbrida), así como también la influencia de las situaciones climáticas adversas, las expropiaciones de tierras y el robo de cosechas (IANAS, 2017).

Considerando particularmente la situación actual en la que se encuentra el campo agrícola en la mayor parte del territorio, este no tiene la competencia suficiente para cubrir la demanda de alimentos que necesita la población ni la materia prima para la industria. En los últimos años las importaciones masivas de granos han tenido un peso significativo en el deterioro de la actividad agrícola.

Uno de los principales problemas en Carabobo se relaciona con la falta de atención a la aptitud de las tierras para los diferentes tipos de utilización, lo que puede generar serios conflictos de usos de las tierras y, con ello, bajos rendimientos de los cultivos, así como degradación de los recursos naturales de la zona (Sevilla y Comerma, 2009).

La selección de las mejores zonas agroclimáticas es de importancia significativa para la preservación biológica (Avilán, Bejaraño, Benacchio, Cañizales y Canchica, 1988), la conservación de los recursos naturales (FAO, 1997), el uso sostenible de la tierra (Olivares, Rodríguez, Cortez, Rey y Lobo, 2015) y el desarrollo agropecuario de cualquier entidad (Martínez et al., 2015; Olivares et al., 2016), debido principalmente a que los actores locales del estado de Carabobo ya pueden contar con un estudio que les indica los lugares para producir sus alimentos.

Es por ello que el interés de esta investigación es cambiar el enfoque actual de expansión de la frontera agrícola, aumentando la producción por unidad de superficie en las tierras con vocación agrícola, especialmente en las zonas donde coinciden la aptitud natural (zonificación propuesta) con el uso actual del cultivo de maíz, para obtener mejores rendimientos. De esta manera, se busca asegurar, en primer lugar, las necesidades alimentarias del país con productos estratégicos de la canasta básica familiar y, en segundo lugar contribuir directamente a la disminución de la dependencia alimentaria de productos importados. El objetivo de este estudio es definir las zonas agroclimáticas aptas para el cultivo de maíz en el estado de Carabobo, Venezuela, y de esta manera coadyuvar a la sostenibilidad de la producción agrícola de esta entidad mediante la promoción de orientaciones clave para el manejo sostenible.

Metodología

Área de estudio

El estado Carabobo está localizado en la zona centro-norte del país, entre las coordenadas geográficas 09° 48' y 10° 35' de Latitud Norte y 67° 31' y 68° 26', de Longitud Oeste (Tabla I). Está constituido por catorce municipios; posee una superficie de 4651 km² de los cuales solo el 42,53 % (1973 km²) es considerado como territorio potencial para la actividad agrícola (INE, 2011).

Predominan las regiones naturales Serranía del Litoral, Serranía del Interior y Depresión del Lago de Valencia, la cual abarca, esta última, paisajes de montañas y valles. La precipitación promedio anual para el estado Carabobo es de 1100 mm (Olivares, 2018). Los máximos valores de precipitación anual (1300 y 1500 mm) se localizan al sur del estado, en los municipios Libertador y Carlos Arvelo, mientras que los mínimos valores de precipitación anual (750 a 900 mm) se localizan en la vertiente norte de la región natural de la Serranía del Litoral, hacia el mar Caribe.

Con relación a la temperatura media del aire, los valores más altos se registran hacia el litoral del estado de Carabobo con media anual de 26,0 °C, máxima media de 32,0 °C y mínima media de 24,0 °C. Por otra parte, la evaporación total anual oscila entre 1000 y 2600 mm (Olivares, Hernández, Coelho, Molina y Pereira, 2018a).

Cuenca hidrográfica	Estación	Municipio	Norte	Este	Altitud (m.s.n.m)
Mar Caribe	El Cambur	Puerto Cabello	1148809	598736	80
	La Entrada	Naguanagua	1139635	602382	510
	Hacienda El Manglar	Puerto Cabello	1155581	613403	20
	Santa Rita	Puerto Cabello	1152833	618430	38
Lago de Valencia	Vigirima	Guacara	1142558	622845	557
	San Diego	San Diego	1137558	615956	460
	Valencia-GFV	Valencia	1126726	609967	460
	Yuma-Caserio	Carlos Arvelo	1117317	642415	460
	Colonia El Trompillo	Carlos Arvelo	1112434	634579	450
	Agua Blanca	Carlos Arvelo	1110749	627339	515
	Las Dos Bocas	Valencia	1101292	610166	550
	Bárbula	Naguanagua	1136672	607806	493
	Valencia-San Luis	Valencia	1120933	603958	470
Río Portuguesa	Guataparo El Café	Naguanagua	1135215	603369	1200
	Chirgua-Cabeceras	Bejuma	1138036	590553	770
	Guataparo C. Inglesa	Valencia	1130327	602075	530
	Montalbán	Montalbán	1129486	572502	700
	Chirgua	Bejuma	1129525	589480	740
	Bejuma-Panamericana	Bejuma	1124314	581185	650
	Los Aguacates	Valencia	1107115	605429	467
	Campo De Carabobo	Libertador	1105972	591853	500
Río Yaracuy	Canoabo	Bejuma	1139114	579052	300
	Miranda-La Trinidad	Miranda	1124954	563534	628
Río Tiznados	Manuare	Carlos Arvelo	1101914	630873	640
Río Guarico	Cartanal	Carlos Arvelo	1093824	658988	620

Tabla I. Ubicación geográfica del estado Carabobo, Venezuela.

Fuente: Olivares et al. 2018b

La capacidad agrológica que posee el estado Carabobo varía desde los suelos Clase I hasta los suelos Clase VIII, abarcando una superficie total de 5241,3 km². Los suelos aptos para cultivos abarcan 1037 km² que vienen dados por las Clases I-IV y la Clase VII, que es la que ocupa la mayor cantidad de superficie en la entidad (3511,95 km²), destinada para vegetación permanente. La Clase VIII está representada por superficies poco significativas y no son aptas para cultivos, pastos o algún tipo de explotación forestal (Mogollón y Comerma, 1994).

Componentes metodológicos de la zonificación agroecológica

De acuerdo con la metodología de la zonificación agroecológica (FAO, 1997) el módulo central o de aplicaciones básicas del estudio trata de estimar la aptitud de tierras y la productividad potencial para usos específicos, en tres grupos principales de actividades: (i) inventario de tipos de usos de tierras y sus requerimientos ecológicos; (ii) definición y cartografía de las zonas agroecológicas sobre la base de los inventarios de recursos de tierras (incluyendo clima, relieve y suelos); (iii) evaluación de la aptitud de tierras de cada zona agroecológica. La tabla II presenta la descripción de las actividades y sus componentes metodológicos.

La definición de los requerimientos del maíz se realizó por medio de los aportes de Benacchio (1982), quien compiló las necesidades hídricas, de temperatura y otros factores climáticos que afectan el desarrollo de diferentes cultivos en ambientes tropicales (Tabla III).

La duración promedio del ciclo del crecimiento del maíz es de 120-140 días. Sin embargo, la mayoría de las variedades tempranas en condiciones cálidas maduran en 90-100 días según Benacchio (1982). Para el caso del estado de Carabobo, se utilizaron indicadores agrometeorológicos para variedades de maíz de 120 días.

Fase	Datos utilizados	Descripción	Fuente
Análisis climático	Precipitación y evaporación a nivel decadiario del registro histórico (1970-2000) de 32 estaciones meteorológicas.	Control de calidad de los datos.	Parra y Cortez (2005). Olivares, Cortez, Parra, Rodríguez y Guevara (2013). Guevara (2013).
		Fechas de inicio y duraciones de los períodos de crecimiento y húmedo.	Franquín (1983).
		Balances hídricos del cultivo bajo el lenguaje de programación denominado Clipper.	Hernández, Pereira, Molina, Coelho, Olivares y Rodríguez (2017).
Análisis edáfico	Tipo de drenaje, profundidad del suelo, la textura del suelo y la pendiente del terreno.	Se determinó la Capacidad Máxima de Almacenamiento del Suelo (CMA) a través del: Mapa de clasificación por capacidad de uso de la tierra del estado de Carabobo, E: 1:100.000.	Ministerio de Obras Públicas (1971).
		Sistema de Información de las Áreas Agroecológicas (SIAA) del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.	INIA (2016).
		Sistema de Información de Suelos de la Depresión del Lago de Valencia (SISDELAV).	Viloria, Estrada y Rey (1998).
Requerimientos del cultivo	<u>Clima:</u> altitud, temperatura, precipitación, n.º de meses húmedos. <u>Suelos:</u> pendiente, drenaje, textura, fertilidad, pH, salinidad, pedregosidad, profundidad.	La definición de las necesidades hídricas, de temperatura y otros factores climáticos que afectan el desarrollo de diferentes cultivos en ambientes tropicales.	Benacchio (1982).
		Los coeficientes de cultivo (Kc).	Doorenbos y Kassam (1979). Doorenbos y Pruitt (1975).

Tabla II. Descripción de las actividades y sus componentes metodológicos para la zonificación agroecológica. Fuente: elaborado por Olivares sobre la base de las fuentes citadas.

Requerimientos edafoclimáticos		Maíz
Clima	Altitud (msnm)	Óptimo: 200-800
	Temperatura (°C)	Óptimo: 25-35
	Precipitación (mm)	Ciclo: 500-800 Anual: 600-1200
	Nº de meses húmedos	5-7
Suelos	Pendiente (%)	> 0,3 y < 5
	Drenaje	Bueno a excesivo
	Textura	Medias a ligeras
	Fertilidad	Media a alta
	pH	5,5 -7,0
	Salinidad (ds/m)	Sensible (< 1,7)
	Pedregosidad	No
	Profundidad (m)	> 0.75
Necesidades nutricionales (Kg/ha)	Nitrógeno	138
	Fósforo	65
	Potasio	114
	Calcio	16
	Magnesio	10
	Azufre	11

Tabla III. Resumen de los requerimientos del cultivo de maíz. Fuente: elaborado sobre la base de Benacchio (1982).

Zonificación agroecológica del cultivo de maíz

El principal objetivo de este tipo de metodología es comparar los requerimientos del cultivo en cuanto al suelo y clima y la “oferta” edafoclimática del área, para cuantificar cuán satisfactoriamente son cubiertos los requerimientos y, en consecuencia, qué grado de aptitud tiene el área para el cultivo del maíz. En primera instancia, se analizan separadamente las relaciones suelo- clima-cultivo, y luego se integran para obtener un resultado único (MARNR, 1989).

El resultado del balance, permitió analizar la evapotranspiración máxima del cultivo (ET_m), el rendimiento del cultivo y factor del efecto del déficit sobre el rendimiento (K_y), el coeficiente de cultivo (K_c), la relación entre la demanda de agua del cultivo (evapotranspiración real del cultivo, ET_a) y la demanda del cultivo de referencia (ETP), además del rendimiento porcentual, para una fecha estimada con garantías de humedad inicial en los suelos.

La FAO (2012) abordó la relación entre el rendimiento del cultivo y el uso del agua y propuso una ecuación sencilla que relacionaba la disminución relativa del rendi-

miento con la disminución relativa correspondiente en la evapotranspiración (ET). Concretamente, la respuesta del rendimiento a la ET se expresa como en la ecuación 1.

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) \quad (1)$$

donde (Y_a) es el rendimiento real cosechado, (Y_m) el rendimiento máximo cosechado, (k_y) el factor del efecto del déficit sobre el rendimiento, (ET_a) la evapotranspiración real del cultivo y (ET_m) la evapotranspiración máxima del cultivo.

El factor de respuesta del rendimiento (K_y) capta la esencia de las complejas relaciones que existen entre la producción y el uso del agua en un cultivo, donde ocurren procesos biológicos, físicos y químicos. La relación ha demostrado una notable validez y ha brindado un procedimiento utilizable para cuantificar los efectos de los déficits de agua sobre el rendimiento (FAO, 2012).

De acuerdo con la FAO (2012), el procedimiento de cálculo de la ecuación 1 para determinar el rendimiento real Y_a consta de cuatro pasos: i. Estimar el máximo rendimiento (Y_m) de una variedad adaptada de cultivo, según su comportamiento genético y el clima, suponiendo que los factores agronómicos (por ejemplo, agua, fertilizantes, plagas y enfermedades) no son limitantes. ii. Calcular la evapotranspiración máxima (ET_m) según metodologías establecidas y teniendo en cuenta que se han suministrado todos los requerimientos de agua del cultivo. iii. Determinar la evapotranspiración real (ET_a) del cultivo en el caso específico, de acuerdo con el suministro de agua disponible para el cultivo. iv. Evaluar el rendimiento real (Y_a) mediante la selección apropiada del factor de respuesta (K_y) para todo el período de crecimiento o en cada una de las distintas etapas de crecimiento.

El *Estudio FAO: Riego y Drenaje* N° 33 recomendó procedimientos para estimar el máximo rendimiento a partir de datos locales disponibles de rendimientos máximos de cultivos o basados en el cálculo de la biomasa máxima y el índice de cosecha correspondiente, mediante el enfoque de zona ecológica (Kassam, 1977). Posteriormente, se estableció un criterio general de adaptabilidad de acuerdo a la relación Y_a/Y_m (Tabla IV).

Grado de Aptitud	Rangos (Y_a/Y_m)
Apta	$Y_a > 75\% Y_m$
Moderadamente Apta	$50\% Y_m < Y_a < 75\% Y_m$
Marginalmente Apta	$25\% Y_m < Y_a < 50\% Y_m$
No Apta	$Y_a < 25\% Y_m$

Tabla IV. Rangos de adaptabilidad de la relación Y_a/Y_m . Fuente: Kassam, 1977.

Luego, se calcularon los requerimientos hídricos de los cultivos (ETa) para cada rango de aptitud, tanto para el ciclo vegetativo como para las etapas críticas, y se compararon con la oferta climática del área, definida como la precipitación efectiva del 75 % de probabilidad de ocurrencia.

Posteriormente, se calculó un índice de adaptabilidad climática total (ecuación 2) según los lineamientos del MARNR (1989) para determinar el grado de aptitud (Tabla V). Para el maíz, la respuesta del rendimiento diferirá en gran medida dependiendo de la etapa en la que ocurra el estrés hídrico. Normalmente, las etapas de floración y formación del rendimiento son sensibles al estrés, mientras que el estrés que ocurre durante las fases de maduración tiene un impacto limitado, al igual que en la fase vegetativa, siempre que el cultivo pueda recuperarse del estrés en las etapas subsiguientes.

$$IT = 0.4 * ICV + 0.6 * IFC \quad (2)$$

donde (IT) es el índice de adaptabilidad total, (ICV) el índice del ciclo vegetativo y (IFC) el índice de la fase crítica.

Grado de Aptitud	Rangos (IT)
Apta	>2.26
Moderadamente Apta	1.51-2.25
Marginalmente Apta	0.76-1.50
No Apta	< 0.76

Tabla V. Rangos de adaptabilidad según el clima. Fuente: MARNR (1989)

Finalmente, se realizó la zonificación espacio-temporal de los cultivos de forma gráfica superponiendo los mapas de aptitud suelo-cultivo y de clima-cultivo mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) Arcview v.3.2. (ESRI, 1996); se consideraron como no aptas aquellas zonas que presentaron esta característica en cualquiera de los dos criterios estudiados.

Planteamientos para el manejo sostenible de la producción agrícola

Para describir los planteamientos de los componentes del manejo sostenible de la producción agrícola en la zona de estudio, se utilizó el modelo basado en fuerzas motrices, presión, estado, impacto y respuesta (FPEIR), desarrollado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 1993), el cual ha sido adoptado por FAO/LADA (2009). Esta metodología constituyó una herramienta para identificar las opciones de manejo del conjunto de problemas ambientales detectados en la zona.

Resultados y discusión

Aptitud de las tierras

Las tierras aptas para el cultivo de maíz se encuentran en la mayoría de los valles de los ríos del estado de Carabobo. Son suelos bien drenados, fértiles, planos con pendientes del terreno menores al 5 %, de formación aluvial, con deposición coluvio-aluvial y lacustrina. Estos suelos se adaptan no solo al maíz sino también a una considerable variedad de cultivos, aunque la limitación de suelo obliga a un manejo más cuidadoso.

La ETa se estimó en 378 mm durante los 120 días de duración de todas y cada una de las fases fenológicas del rubro. Este dato permitió establecer la aptitud de las tierras agrícolas del estado de Carabobo para el rubro maíz, considerando las características edafo-climáticas de la entidad (Tabla VI).

El municipio del estado de Carabobo con mayor superficie de tierras aptas para el cultivo de maíz es Valencia, en donde se asienta la ciudad capital de la entidad, estas tierras con potencial agrícola del municipio se encuentran en tipos de paisaje de valles en el centro y centro-norte, montañas y colinas hacia el Norte, Oeste y Sur, con lluvias medias anuales entre 1000 y 1300 mm.

Se contabilizaron 101 km² de superficie apta. Hacia el Norte existen tierras aptas para la siembra entre la segunda década de mayo y la tercera de junio, hacia el sur entre la segunda década de mayo y la segunda del mes de julio, en el centro norte la fecha de siembra únicamente se tiene para la tercera década de mayo, mientras que el resto de las tierras agrícolas aptas se estimaron con fecha de siembra de la primera década de julio hasta la segunda década del mes de agosto (Fig. 1).

Municipio / Superficie (km ²)	Apto (A1)	Moderadamente Apto (A2)	Marginalmente Apto (A3)	No Apto (NA)	Total
Diego Ibarra	79	0	0	34	113
San Joaquín	74	0	0	35	109
Guacara	72	0	8	85	165
San Diego	58	0	17	35	110
Naguanagua	13	81	6	84	184
Los Guayos	16	0	0	40	56
Puerto Cabello	0	0	0	85	85
Juan José Mora	0	0	0	295	295

Miranda	16	46	0	110	172
Montalbán	23	0	0	92	115
Bejuma	25	9	0	126	160
Libertador	84	185	0	124	393
Valencia	101	31	3	157	292
Carlos Arvelo	30	178	0	284	492
Total	591	530	34	1586	2741

Tabla VI. Superficie (Km²) de la aptitud de cultivo de maíz por municipio del estado Carabobo. Fuente: elaborado por Olivares.

Las condiciones edafoclimáticas analizadas para la zonificación de maíz en el municipio Libertador son aptas para el cultivo en 84 km², y su fecha de siembra estimada se ubica en la tercera década de mayo hacia el centro y Norte de la localidad de Campo de Carabobo, mientras que hacia el este y sureste del municipio la fecha corresponde entre la primera década de julio y la segunda del mes de agosto, para la obtención de rendimientos entre 95 y 100 % (Fig. 1).

Por otra parte, se tiene que 185 km² de los suelos son moderadamente aptos para el cultivo de maíz en el municipio Libertador, en su mayoría se ubican al oeste, suroeste y noroeste del municipio, en zonas correspondientes a valles, colinas y montañas de la Depresión del Lago de Valencia, Serranía del Interior y del Litoral, además de regímenes pluviométricos anuales promedio de 1300 a 1100 mm; las fechas de siembra estimadas van desde la segunda y tercera década de mayo en el oeste y centro, hasta la primera década de julio únicamente en sectores del este.

Existen unas tierras agrícolas al norte del municipio, cuya fecha de siembra se estimó entre la primera década de junio y la primera del mes de julio. La disponibilidad hídrica en estas áreas es inferior a 242 mm durante los 60 días de la fase crítica del cultivo, por lo que el rendimiento al final del período estará por debajo de 95 %.

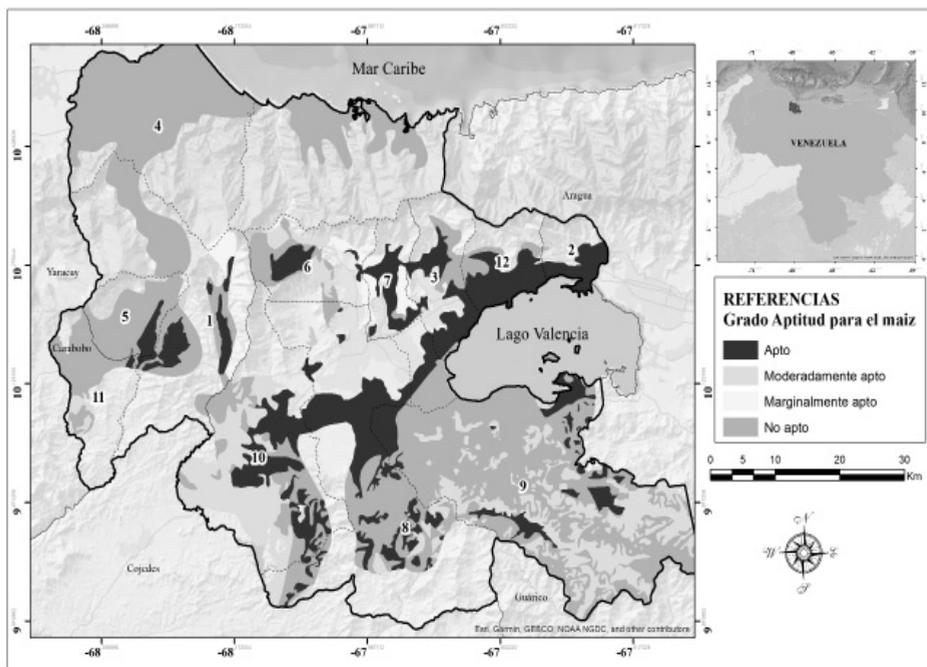


Figura 1. Zonificación agroecológica del cultivo de maíz en Carabobo, Venezuela. Se indican los municipios: 1. Bejuma; 2. Diego Ibarra; 3. Guacara; 3. Juan José Mora; 4. Montalbán; 5. Naguanagua; 6. San Diego; 7. Valencia; 8. Carlos Arvelo; 9. Libertador; 10. Miranda; 10. San Joaquín. Fuente: elaborado por Olivares.

Por otra parte, la mayor extensión de suelos dispuestos para el desarrollo de actividades agropecuarias en el estado de Carabobo se encuentra en el municipio Carlos Arvelo, al Suroeste de la entidad; emplazados en paisajes de llanura lacustrina y valle en el Norte, cerca del Lago de Valencia, montañas y colinas hacia el centro, Sur, Este y Oeste, pertenecientes a la región natural de la Serranía del Interior y parte de la Depresión del Lago de Valencia. De estos suelos, 30 km² son aptos para el cultivo de maíz, ya que la disponibilidad hídrica y las condiciones edáficas de los mismos permiten el desarrollo del cultivo durante su fase crítica de 60 días de duración; la fecha de siembra estimada se ubica en la segunda década de mayo para la zona centro del municipio, mientras que existen otras áreas adyacentes a laderas de las montañas en el centro del municipio con fecha de siembra en la segunda década del mes de junio.

Los suelos moderadamente aptos para el cultivo de maíz abarcan 178 km² del municipio, se ubican en diversas áreas, en donde predominan los paisajes de montañas y colinas, con regímenes de precipitación media anual por debajo de 1300 mm. La fecha de siembra en las zonas moderadamente aptas se estima para la segunda década de mayo en el sur del municipio, mientras que la fecha para las

tierras agrícolas del Norte se estimó entre la segunda y la tercera década del mes de agosto, con un máximo rendimiento a obtener de 95 %.

En las zonas bajo estudio, el período crítico del cultivo de maíz coincide con el período de mayor precipitación, lo que garantiza una buena disponibilidad de agua. En el momento de la cosecha, el período de lluvia está culminando, lo cual permite que estos cultivos de ciclo corto completen su madurez fisiológica y que las máquinas cosechadoras y mano de obra puedan realizar la cosecha con facilidad (Olivares y Zingaretti, 2018). En este orden de ideas, si la siembra se realiza muy temprano (abril), se corre el riesgo de que el cultivo no disponga de suficiente humedad en su período crítico y, por lo tanto, sus rendimientos serán bajos. Si se siembra muy tarde entonces habrá exceso de humedad asociado con anegamiento, poca disponibilidad de oxígeno en el suelo y bajos rendimientos (Casanova, 2005; Cortez et al., 2016).

En general, el análisis exploratorio de las variaciones temporales de la distribución geográfica de la especialización productiva del maíz en Venezuela lleva a la conclusión de que esos cambios reflejan tanto una declinación temporal como una redistribución territorial de sus valores durante el período 1984-2004 (Rojas López, Mora y Tovar, 2010).

Es posible establecer que las inestables políticas agrícolas del Estado, el inadecuado ajuste de las limitadas áreas productoras a la zonificación agroecológica de los cultivares, la diversificación agrícola regional y las precarias condiciones gerenciales de los productores son algunos de los factores que concurren de múltiples formas para explicar tanto las disminuciones de la concentración territorial como de la intensidad productiva del cereal en las entidades federales del país, incluyendo a Carabobo (Rojas López, 2007; Rojas López et al., 2010).

Según Casanova (2000), los suelos de buena fertilidad natural para el maíz se encuentran en Aragua, Portuguesa y Yaracuy, mientras que en las restantes entidades los suelos son de menor fertilidad para el cultivo. Básicamente, lo que estos estudios revelan es una reducida aptitud natural del territorio nacional para lograr altos rendimientos maiceros sin el aporte de importantes suplementos tecnológicos, especialmente de riego, mecanización y fertilizantes. De acuerdo con la aptitud natural de las tierras, no solo son limitadas en extensión para el cultivo, sino que también existe poca correspondencia entre la especialización productiva y la zonificación agroecológica del rubro.

Orientaciones para el manejo sostenible de la producción agrícola

En general el manejo de la gramínea bajo estudio en el estado de Carabobo se basa en la relación tecnológica de prácticas convencionales y tradicionales, con

una evidente predominancia de las segundas sobre todo en aquellas zonas donde predominan las tierras moderadamente aptas y marginalmente aptas. La resiliencia de los productores se deriva de la aplicación de manejo tradicional; en este sentido, el conjunto de prácticas propuestas en este estudio son usadas globalmente para el buen uso y manejo de la tierra, con alta transcendencia en la agricultura tropical.

Por lo tanto, existen oportunidades de innovación tecnológica en el manejo agroecológico. Hay interés de los productores agrícolas en innovar para lograr mayores rendimientos y rentabilidad, y confianza en los productos de investigación desarrollados por organismos como el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.

La incorporación de tecnologías tales como riego, uso de especies tolerantes a mal drenaje, baja fertilidad o acidez, obras de drenaje, manejo racional de fertilización, uso de fertilizantes alternativos y prácticas de manejo conservacionista, entre otras (Rey, 2015; INIA, 2016), permitiría superar algunas de las restricciones que presenta el estado de Carabobo. La presente lista muestra alguna de esas orientaciones.

- Adecuar las combinaciones de cultivos principales (cereales) con los de segundo ciclo (oleaginosas y leguminosas), con labranza y manejo de cobertura apropiada.
- Asociaciones, rotaciones o secuencias de cultivos para cortar el ciclo de las plagas y enfermedades, y el reciclaje de nutrientes.
- Uso de semilla de calidad fitosanitaria y genética.
- Uso de fertilizantes y enmiendas (cales, yeso y roca fosfórica), planificado en función del análisis de suelo, calibrado con el balance nutricional de los cultivos.
- Prácticas de conservación y recuperación de suelos y aguas, con siembras en curvas de nivel, uso de coberturas, aplicación de enmiendas orgánicas, barreras vivas, terrazas, zanjas de desviación, barbechos, entre otras.
- Riego y drenaje planificado, controlado en función del tipo y calidad del agua, balance hídrico con sensores de humedad, nivelación, canales de drenaje.

La mayoría de los grandes productores agrícolas de la zona se caracterizan por producir con fines comerciales, sujetos a las exigencias del mercado y con una gran influencia del modelo imperante basado en el uso y aplicación excesiva de una cantidad de insumos químicos costosos.

El problema generado en la zona se agrava aún más porque no encuentran alternativas de cambio hacia un modelo productivo menos insumo-dependiente debido principalmente a que la investigación y el desarrollo de los sistemas agrícolas no ha priorizado la generación de tecnologías de bajo costo adecuadas y con enfoque agroecológico, para las condiciones de escasez de capital que caracteriza a los

pequeños productores. En este sentido, la agroecología proporciona las bases para la creación de tecnologías que de manera directa o indirecta estén relacionadas con el entorno natural y económico de los productores, representando una estrategia adecuada para la solución de esta problemática.

Con este tipo de estudios, lo que se busca es impulsar una nueva manera de sensibilizar en materia agroecológica que permita a las propias comunidades reapropiarse de sus saberes tradicionales incorporando en ellos las bases para un desarrollo sustentable. La tabla VII muestra el uso de bioinsumos para el control de las principales plagas y enfermedades del cultivo de maíz.

Plaga y enfermedad	Tecnología sustentable requerida para combatir	Cambios tecnológicos para favorecer la disminución
Gusano cogollero, <i>Spodoptera frugiperda</i> . Gusano de la mazorca <i>Heliothis zea</i> .	Socializar la información sobre técnicas de monitoreo de la plaga para la liberación de enemigos naturales a tiempo oportuno, como <i>Bacillus thuringiensis</i> , avispas parasitoides (<i>Trichogramma</i> y <i>Telenomus</i>) y nematodos entomopatógenos.	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar las aplicaciones calendario. • Incrementar el monitoreo. • Producir en forma masiva las avispas parasitoides (<i>Trichogramma</i> y <i>Telenomus</i>) y nematodos entomopatógenos.
<i>Rhizoctonia</i> spp.	Usar <i>Trichoderma</i> spp.	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar las aplicaciones calendario. • Incrementar el monitoreo. • Usar cepas de <i>Trichoderma</i> seleccionadas de acuerdo con la zona. • Establecer aplicaciones antes de la siembra, continuar las aplicaciones cada ocho días, previo al cuajado del grano. Si aún se observan estructuras en la mazorca, aplicar en forma aérea.

Tabla VII. Uso de bioinsumos y cambio de enfoque tecnológico para el control de plagas y enfermedades. Fuente: elaborado por Olivares sobre la base de INIA (2016).

Conclusiones

Los resultados del estudio contribuyen a zonificar la aptitud agroclimática del territorio para el maíz en Carabobo, Venezuela, integrando la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, la aptitud de uso con base en aspectos físico-químicos del suelo y las posibles restricciones asociadas con la fecha óptima de siembra.

Las condiciones de suelo y clima tomadas en cuenta para la zonificación del cultivo de maíz en el estado de Carabobo inciden en la determinación de 590 km² de tierras agrícolas aptas, distribuidas en doce de los municipios de la entidad, en donde se destacan los suelos de los valles y llanura lacustrina de la Depresión del Lago de Valencia, parte importante del municipio Libertador y centro sur del municipio Carlos Arvelo.

El presente trabajo ayudará a establecer bases teórico-conceptuales para el manejo sostenible de cultivos en función de las condiciones físico-naturales del estado de Carabobo. Teniendo en cuenta que los trabajos sobre esta temática son escasos en el país, los productores e instituciones públicas o privadas cuentan con esta zonificación como pilar fundamental para futuros trabajos e investigaciones científicas aplicadas.

Las orientaciones para el manejo sostenible buscan fomentar la diversificación productiva dentro de la estrategia de potenciación de recursos propios y el desarrollo de prácticas de producción agroecológica compatibles con el medioambiente y con la conservación de los espacios rurales. Este estudio plantea la necesidad de la selección de cultivos y sistemas de manejo para hacer un uso óptimo de la oferta climática y minimizar los riesgos asociados al clima. Es muy importante realizar este tipo de zonificaciones de cultivo para ubicar las especies según la estación de crecimiento y realizar las labores mecanizadas, agrícolas y culturales en las épocas más adecuadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Desarrollo Agrario de la Gobernación del estado Carabobo, Venezuela, así como el valioso apoyo técnico de los investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas: Adriana Cortez, Juan Carlos Rey y María Fernanda Rodríguez.

Referencias

Abraham, B., Araya, H., Berhe, T., Edwards, S., Gujja, B., Khadka, R. B. ... & Uphoff, N. (2014). The system of crop intensification: reports from the field on improving agricultural production, food security, and resilience to climate change for multiple crops. *Agriculture & Food Security*, 3(1), 4. DOI: 10.1186/2048-7010-3-4

Astier-Calderon, M., Maass-Moreno, M. & Erchevers, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, (36), 605-620. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/302/30236511/>

Avilán, Y, Bejaraño, W, Benacchio, S, Cañizales, A. & Canchica, W. (1988). *Zonificación agroecológica del cultivo de maíz (Zea mays) en el país*. Maracay: FONAIAP (Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias). Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

Benacchio, S. (1982). *Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el trópico americano*. Maracay: FONAIAP. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

Casanova, E. (2000). La fertilización y nutrición mineral del maíz en Venezuela. En: H. Fontana & C. González (Eds.), *El maíz en Venezuela*. Caracas: Fundación Polar.

Casanova, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. Caracas: Editorial del Consejo de desarrollo científico y humanístico.

Cortez, A., Rodríguez, M. F., Rey, J. C., Ovalles, F., Gonzalez, W., Parra, R. M., ... & Marquina, J. (2017). Variabilidad espacio temporal de la precipitación en el estado Guárico, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 33(3), 292-310. Recuperado de http://revfacagronluz.org.ve/PDF/julio_septiembre2016/v33n3a20161526.pdf

Doorenbos, J. & Kassam, A.H. (1979). *Yield response to water*. (Estudio de Riego y Drenaje nro. 33). Roma: FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).

Doorenbos, J. & Pruitt, W.O. (1975). *Guidelines for predicting crop water requirements*, (Estudio de Riego y Drenaje nro. 24). Roma: FAO.

ESRI (Environmental Systems Research Institute). (1996). Arc View GIS. The geographic information system for everyone (3.2). [Software].

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1997). *Zonificación agroecológica. Guía general*. (Boletín de suelos de la FAO, nro. 73) Roma: FAO.

FAO. (2011). *Escasez y degradación de tierras y el agua: creciente amenaza para la seguridad alimentaria*. Roma: FAO.

FAO. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. (Boletín de suelo y drenaje de la FAO nro. 66). Roma: FAO.

FAO/LADA. (2009). *Manual de Evaluación Local de la Degradación de Tierras Áridas (LADA-L)*. Roma: FAO.

Franquín, P. (1983). *Modelos estadísticos sobre potenciales del período de crecimiento de cultivos*. Información Climática para el Desarrollo. Reviviendo la Revolución Verde. Maracay: FONAIAP-BID.

García, P, Cabrera, S, Sánchez, J. & Pérez, A. (2009). Rendimiento del maíz y las épocas de siembra en los Llanos Occidentales de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 59(2), 161-172. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000200005&lng=es&tlng=es

Guevara, J.M. (2013). *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos*. Caracas: Consejo de desarrollo científico y humanístico.

Hernández, R, Pereira, Y., Molina, J.C., Coelho, R., Olivares, B. & Rodríguez, K. (2017). *Calendario de siembra para las zonas agrícolas del estado Carabobo en la República Bolivariana de Venezuela*. Sevilla: Editorial Universidad Internacional de Andalucía.

IANAS (Red Interamericana de Academias de Ciencias, México). (2017). *Retos y oportunidades de la seguridad alimentaria y nutricional en las Américas El punto de vista de las Academias de Ciencias*. México: IANAS.

INE (Instituto Nacional de Estadística, Venezuela). (2011). Informe Geoambiental del Estado Carabobo (en línea). Recuperado del sitio de Internet del INE <http://www.ine.gov.ve>.

INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Venezuela). (2016). *Aproximación agroecológica para el nuevo modelo de producción agrícola en Venezuela*. Maracay: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.

Kassam, A.H. (1977). *Net biomass production and yield of crops. Present and potential land use by agro-ecological zones project*. Roma: FAO.

MARNR (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, Venezuela). (1989). *Metodología para zonificación de cultivos*. Caracas: DGISAV, MARNR.

Martínez, F. E., Deantonio, L.Y., Aguilera, E., Araujo, G., Ortiz, L., Rojas, E.O, Gamboa, M & Boshell, F. (2015). Aptitud agroclimática e identificación de nichos productivos de bajo riesgo a deficiencias hídricas para aguacate en El Tambo, Colombia. En Actas VIII Congreso Mundial de la Palta. *Manejo de técnicas y de cultivo* (342-348). Lima, Perú

MOP (Ministerio de Obras Públicas). (1971). Capacidad de Uso de las Tierras del Estado Carabobo. Mapa escala 1:100.000. Caracas: Dirección General de Recursos Hidráulicos del Publicación, MOP.

Mogollón, L. & Comerma, J. (1994). *Suelos de Venezuela*. Caracas: EXLIBRIS.

Olivares, B. & Cortez, A. (2017). *La extensión agrícola en territorios indígenas Kari'ña de Venezuela: Hacia el desarrollo local sostenible con identidad*. Saarbrücken, Alemania: Editorial Académica Española.

Olivares, B. O. & Zingaretti, M. L. (2018). Análisis de la sequía meteorológica en cuatro localidades agrícolas de Venezuela mediante la combinación de métodos multivariados. *Cuadernos de Investigación UNED*, 10(1), 192-203. DOI: 10.22458/urj.v10i1.2026

Olivares, B. (2018). Condiciones tropicales de la lluvia estacional en la agricultura de secano de Carabobo, Venezuela. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 86-102. DOI: 10.17163/lgr.n27.2018.07

Olivares, B., Cortez, A., Lobo, D., Parra, R., Rey, J.C. & Rodríguez, M.F. (2016). Estudio de la sequía meteorológica en localidades de los Llanos de Venezuela mediante el índice de precipitación estandarizado. *Revista Acta Nova*, 7(3), 266-283. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892016000100004

Olivares, B., Cortez, A., Parra, R., Rodríguez, M. & Guevara, E. (2013). Aplicación de procedimientos estadísticos para el control de calidad de las series de precipitación mensual de los llanos orientales venezolanos. *Revista de la Facultad Agronómica*, 30(3), 367-391. Recuperado de http://revfacagronluz.org.ve/PDF/julio_septiembre2013/v30n3a2013367391.pdf

- Olivares, B., Hernández, R., Coelho, R., Molina, J.C. & Pereira, Y. (2018a). Análisis espacial del índice hídrico: un avance en la adopción de decisiones sostenibles en territorios agrícolas de Carabobo, Venezuela. *Revista Geográfica de América Central*, 60 (1), 277-299. Recuperado de <http://revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/download/10464/12939?inline=1>
- Olivares, B., Hernández, R., Coelho, R., Molina, J.C. & Pereira, Y. (2018b). *Analysis of climate types: Main strategies for sustainable decisions in agricultural areas of Carabobo, Venezuela*. *Scientia Agropecuaria*, 9(3): 359 – 369.
- Olivares, B., Rodríguez, M.F, Cortez, A., Rey, J.C. & Lobo, D. (2015). Caracterización físico natural de la comunidad indígena de Kashaama con fines de manejo sostenible de la tierra. *Revista Acta Nova*, 7(2), 141-162. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892015000200005&lng=es&nrm=iso
- OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). (1993). *Environmental Indicators: Basic Concepts and Terminology*. (Background paper nro. 1). París: OECD.
- Ovalles, F., Cortez, A., Rodríguez, M., Rey, J., & Cabrera- Bisbal, E. (2008). Variación geográfica en el impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 58(1), 37-40.
- Parra, R., & Cortez, A. (2005). Control de calidad de series de precipitación de las series de precipitación del INIA Venezuela en el periodo 1970-2000. *Revista Argentina de Agrometeorología*, (5-6), 63-73.
- Rey, J.C. (2015). Limitaciones y potencialidades de los suelos de Venezuela. *INIA-Divulga* 31, 61-66.
- Rojas López, J. (2007). Las tierras de alta calidad agrológica en Venezuela: un reto al desarrollo rural sostenible. *Derecho y Reforma Agraria*, 33, 131-146.
- Rojas López, J., Mora, E. M. & Tovar, A. (2010). Análisis exploratorio de las variaciones temporales y espaciales de la especialización productiva del maíz en Venezuela (1984-2004). *Agroalimentaria*, 16(30), 61-75. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542010000100004&lng=es&nrm=iso
- Sevilla, V. & Comerma, J. (2009). Caracterización de la cuenca del Río Canoabo en el estado Carabobo, Venezuela. II. Suelos y Tierras. *Agronomía Tropical*, 59(2),

149-160. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000200004&lng=es&nrm=iso

Viloria, J., Estrada, C. & Rey, J.C. (1998). Sistema de Información de Suelos de la Depresión del Lago de Valencia (SISDELAV). *Venesuelos*, 6(1-2), 2-9.

Fecha de recepción: 28 de marzo de 2018

Fecha de aceptación: 8 de agosto de 2018

© 2018 por los autores; licencia otorgada a la Revista Universitaria de Geografía. Este artículo es de acceso abierto y distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia Atribución-NoComercial 2.5 Argentina de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/ar/deed.es_AR