

**ARTÍCULO ORIGINAL**

## **Contribución metodológica que facilita la selección de áreas para el desarrollo sustentable de sistemas agrícolas. Ejemplo para el cultivo de la caña de azúcar**

*Methodological contribution that facilitate the selection of areas for the sustainable development of agricultural systems. Their example for the cultivation of the cane of sugar*

**Javier Arcia<sup>1</sup>, Antonio Menéndez<sup>2</sup>, Eugenio García<sup>3</sup>, y Geisy Hernández Cuello<sup>4</sup>**

**RESUMEN.** Se presenta el modelo conceptual para la selección de áreas para el desarrollo de un sistema agrícola, que como rubro fundamental, tiene el cultivo de la caña de azúcar. En su concepción y ejecución se toman en consideración las premisas presentadas para su desarrollo, la preselección del área corresponde a la primera fase del desarrollo del sistema. Los conceptos presentados basan su principio en la evaluación de aspectos tales como vialidad, facilidades electro-energéticas, aptitud de los suelos, disponibilidad de agua, facilidades para establecer sistemas de riego, calidad del agua, lluvia total, máxima y mínima probable, frecuencia de años secos, evapo-transpiración, período de crecimiento, duración de la estación húmeda y probable de la zafra, rendimiento meta, pronóstico de producción de caña, duración probable de la zafra, extensión del área agrícola probable, densidad de población, competencia con otros cultivos, cercanía a centrales azucareros, necesidad de desarrollo de la región, generación de empleos y relación beneficio-costos. El ejemplo de caso presentado, corresponde a la posible ubicación de una planta con capacidad de molienda de 10 000 t de caña-día, la cual debe ser ubicada en el Estado Monagas en la República Bolivariana de Venezuela, la que forma parte de los sistemas de producción basados en el desarrollo de la caña de azúcar como alternativa para la producción de etanol en el contexto de la Alternativa Bolivariana para los Pueblos de América.

**Palabras clave:** sistemas agrícolas, caña de azúcar, producción de etanol.

**ABSTRACT.** Conceptual model to select land areas in order to develop an agricultural system appears, like major heading sugar cane crop. In its conception and implementation is taking into account, the premises presented for its development. Land area pre-selection corresponds to the first stage of the development system. The presented model is based on the evaluation of aspects like road, facilities electro-energetics, land aptitude, water availability, facilities for the establishment of irrigation systems, water quality, total, maximum and minimum rain probable, drought years frequency, evapotranspiration, crop growth period, wet season duration and harvest probable duration, goal yield, cane production prediction, competition with other crops, proximity to sugar mill, region development necessity, jobs generation and benefit-cost ratio. The concept presented here corresponds to sugar mill probable location with a capacity of 10 000 t of millable cane stalks per day, which must be located in Monagas State belonging to Bolivarian Republic of Venezuela, that comprises the production systems based on the sugar cane development for the ethanol production in the context of the Bolivarian Alternative for America.

**Keywords:** sugar cane, agricultural systems, production of ethanol.

**Recibido** 19/09/10, aprobado 30/01/12, trabajo 26/12, artículo original.

<sup>1</sup> Ing., Investigador Titular, Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Carretera CUJAE km 2½, Boyeros, Habana, Cuba, E-mail: [javier@inica.minaz.cu](mailto:javier@inica.minaz.cu)

<sup>2</sup> Dr. C., Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera CUJAE km 2½, Boyeros, La Habana, Cuba.

<sup>3</sup> Dr. C., Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera CUJAE km 2½, Boyeros, La Habana, Cuba.

<sup>4</sup> M. Sc., Universidad Agraria de La Habana, Centro de Mecanización Agropecuaria, Mayabeque, Cuba.

## INTRODUCCIÓN

La FAO, ha dedicado una atención considerable al desarrollo de procedimientos para inventariar, evaluar y planificar los recursos de tierras, tanto a nivel global, como en regiones y países concretos a través de sus programas de campo (FAO 1976, 1978, 1983, 1984, 1985), sin embargo un procedimiento integral que abarque un desarrollo agroindustrial determinado de forma integral ha sido poco implementado.

El objetivo general del trabajo está dirigido a puntualizar y contribuir metodológicamente, mediante estudio de caso, a la selección primaria de áreas como parte del desarrollo de un sistema agroindustrial, tomando como ejemplo el cultivo de la caña de azúcar destinada a la producción diversificada, en el estado Monagas de la República Bolivariana de Venezuela.

## MÉTODOS

El trabajo que se presenta corresponde a una etapa del desarrollo del diagrama conceptual para el desarrollo sustentable de sistemas agrícolas, desarrollado por Arcia et. al., 2010. Los resultados, a obtener en esta etapa de desarrollo del sistema, son un polígono general que tenga, al menos, cuatro veces el área necesaria para abastecer de materia prima, las necesidades de la planta moledora y la ubicación preliminar de ésta quien soportará el sistema agroindustrial.

El ejemplo de caso que se expone corresponde a la ubicación de una planta con capacidad de molida de 10000 t de caña.día, en el estado Monagas, República Bolivariana de Venezuela. El análisis para la selección de las áreas, se realizó a partir del

estudio de un entorno limitado por el Norte con los poblados de San Félix de Caicara (Municipio Cedeño), Aragua de Maturín (Municipio Piar), Quiriquire (Municipio Punceres), evaluándose tres zonas o polígonos (propuestas por las autoridades locales) con el fin de certificar las áreas que podrían servir como abastecedoras de caña. Se establece un procedimiento y la evaluación de 20 variables. La comparación de los polígonos seleccionados se realiza mediante el método campo-fuerza (Castellanos, 2004), las que lo que permitió seleccionar la mejor opción.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la selección de las áreas a vincular a cualquier sistema de desarrollo agrícola, en primera instancia, se debe tomar en consideración el alcance previsto (el cual estará, generalmente, fundamentado por objetivos gubernamentales), en segundo lugar se deben considerar las premisas preestablecidas para el desarrollo de los sistemas agrícolas y por último el área de impacto del desarrollo del sistema agrícola. En el caso del desarrollo de un sistema para la explotación agrícola de caña de azúcar, se debe tomar en primer lugar la capacidad de molida de la planta procesadora, ya que de ello dependerá el tamaño del área de abastecimiento (polígono) de la materia prima a utilizar, necesidad de fuerzas de trabajo directa e indirecta, etc. La Figura 1, muestra en detalles el desarrollo de los pasos dentro de la etapa. La descripción y método propuesto a seguir en cada uno de los pasos tomados en consideración para la selección de áreas que sustenten el desarrollo agroindustrial son:

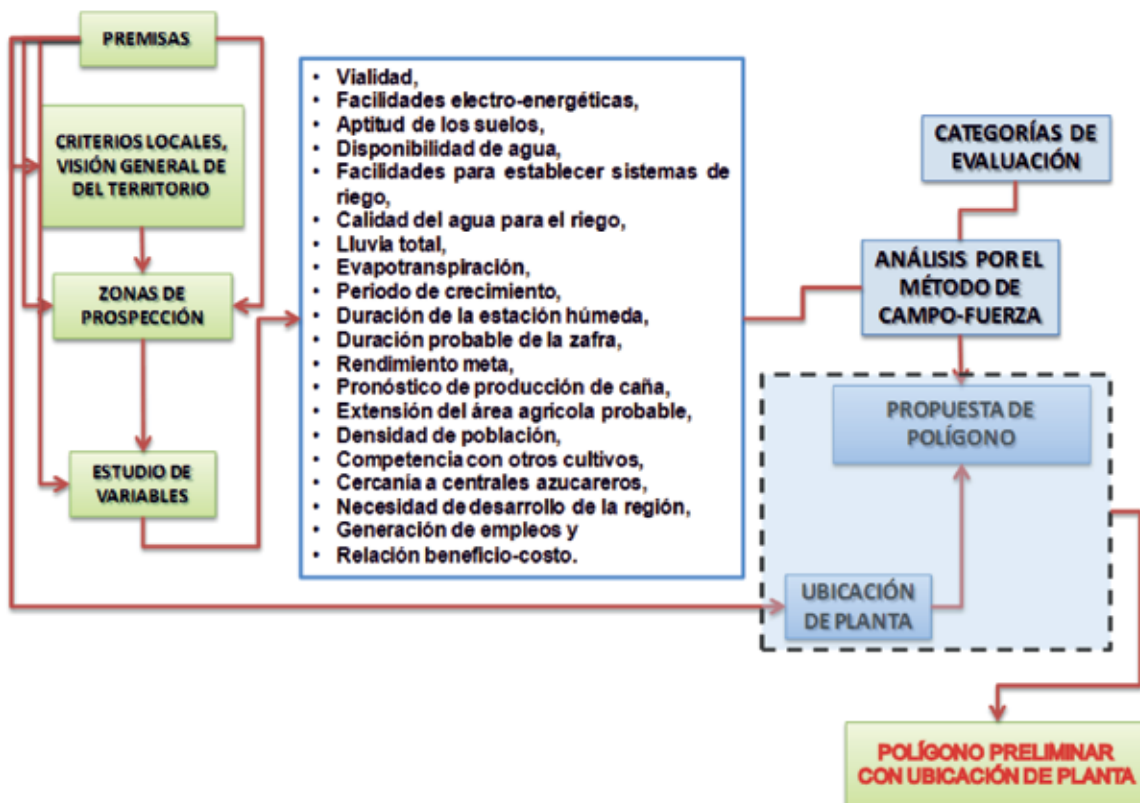


FIGURA 1. Pasos considerados que facilitan la selección de áreas para el desarrollo de sistemas agrícolas.

- *Criterios de autoridades, instituciones gubernamentales y especialistas regionales en la explotación de sistemas agrícolas para el desarrollo de la caña de azúcar.*  
En este paso se toman, analizan y se consideran las premisas que presentan los diferentes entes participantes, en el caso específico del estado Monagas, estas se detallan en el Cuadro 1. A partir de estas premisas, se sustentará todo el trabajo posterior de desarrollo del sistema agrícola y por consiguiente la preselección de áreas, como parte de una primera etapa de desarrollo.
- *Análisis de las condiciones agroecológicas en toda la re-*

*gión que potencialmente podrá ser desarrollado el sistema agrícola.*

En este paso se analiza la información existente en el territorio, estableciendo a partir de ella indicadores que definirán el área tal es el caso de rendimiento meta, período de crecimiento, duración probable de la zafra, pronóstico de producción, etc.

- *Selección de polígonos, a partir de variables, en los que se consideren con mayor concurrencia de factores favorables para el desarrollo de un sistema de producción de caña de azúcar.*

**CUADRO 1. Ejemplo de premisas para el desarrollo de un sistema de producción agrícola en el estado Monagas**

**Sociales**

- **Se evitará la influencia negativa de la planta sobre las condiciones de vida de la población cercana a ella, y por tanto, su tecnología responderá a este requisito. Se tratará de que no existan centros poblados a una distancia menor de 5 km. de la misma.**
- **Es un proyecto de desarrollo rural integral que contempla en su área de influencia el policultivo y la asistencia técnica y organizativa a productores cañeros y no cañeros, contribuyendo a una nueva cultura en el campo.**

**Económicas**

- **Selección de áreas con potencial agroecológico para producir caña de azúcar que garanticen un rendimiento medio de 80 t/ha por ciclo de cosecha y como mínimo 150 días de zafra.**
- **Disponibilidad de red eléctrica accesible, infraestructura vial y comunicacional.**
- **Favorecer la ubicación de la planta en el área del polígono que requiera menos inversiones en drenaje, movimiento de tierra y facilite la distribución de la vinaza tratada hacia los campos con un mínimo de gastos.**

**Ambientales**

- **Emplear la vinaza en fertirrigación, para lo cual se deben concentrar las áreas a beneficiar lo más cercano posible a la planta.**
- **Disponibilidad de agua de buena calidad para uso agroindustrial.**

**Territoriales**

- **Concentrar el 30 por ciento del área de producción de caña de azúcar en un radio menor o igual a 10 km. de la planta y lograr que el resto no supere los 35 km. de distancia hasta la misma.**
- **Incluir y beneficiar a la mayor cantidad de productores con una superficie mínima dedicada al cultivo de la caña de azúcar de 20 ha y no mayor de 130 ha.**

Las variables evaluadas (Cuadro 2), se analizan de forma iterativa. La comparación de los polígonos seleccionados se hace mediante el método campo-fuerza, a partir de los elementos evaluados, se deja definido (en primera aproximación) el polígono, sobre el cual se profundizará el desarrollo previsto. Se tiene, considerando los requerimientos técnicos y las premisas presentadas, la primera ubicación de la planta que procesará la materia prima.

**CUADRO 2. Variables consideradas para el desarrollo agrícola donde el rubro fundamental es la caña de azúcar**

<b>vialidad</b>	<b>disponibilidad de agua</b>	<b>duración probable de la zafra</b>
densidad de población	facilidades para establecer sistema de riego	competencia con otros cultivos
necesidad de desarrollo de la región	calidad del agua para el riego	cercanía a centrales azucareros
generación de empleos	lluvia total	relación beneficio-costos
extensión del área agrícola probable	evapotranspiración	periodo de crecimiento
facilidades electroenergéticas	rendimiento meta	duración de la estación húmeda
aptitud de los suelos	pronostico de producción de caña	

- *Localización del área en estudio.*  
Se realiza a partir de un entorno limitado. Su conformación geográfica se establece conjugando intereses locales y características edafológicas muy generales. La Figura 2, presenta la distribución geográfica de los polígonos a evaluar.

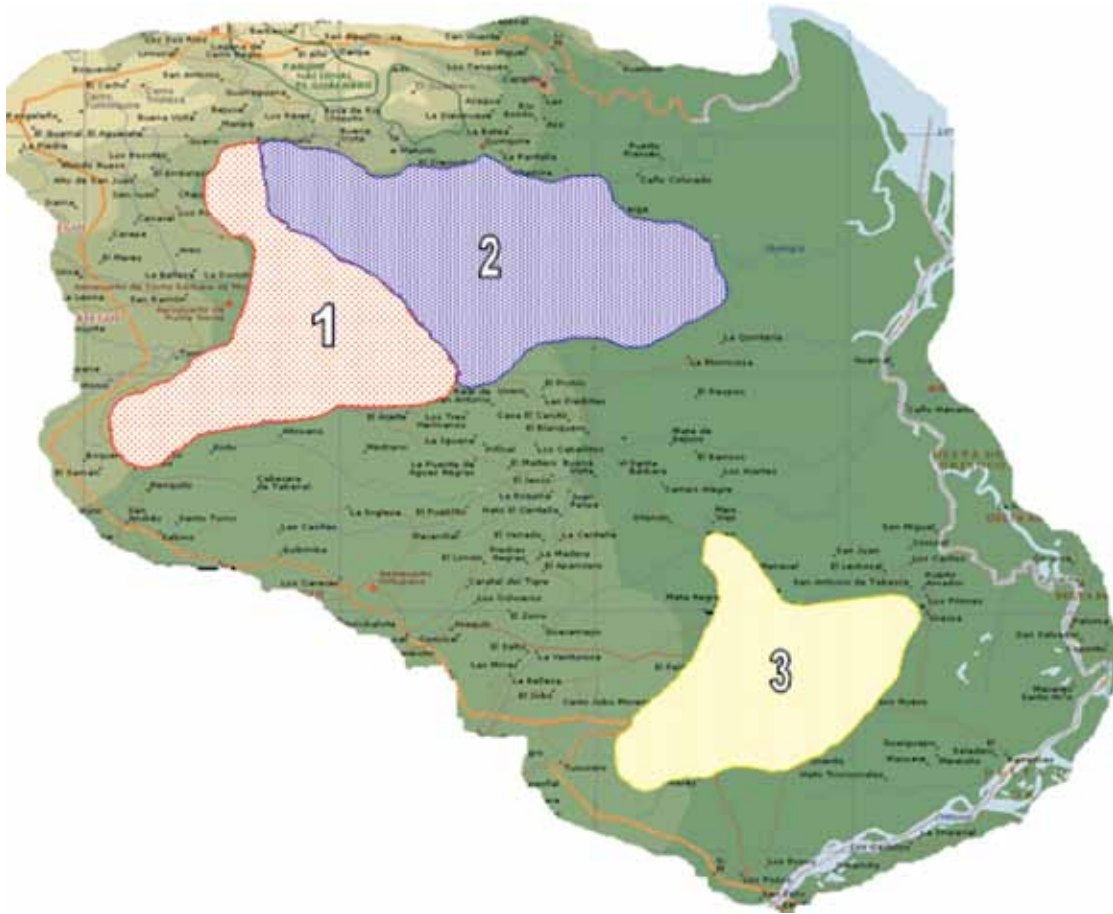


FIGURA 2. Ubicación de los polígonos evaluados con el fin de certificar las áreas que podrían servir como abastecedoras de caña.

• *Condiciones edafológicas en el estado Monagas. Aptitud de los suelos.*

La distribución y extensión de los suelos responden a factores tales como clima, relieve y material de origen, por lo que los suelos que formarán parte del área de abastecimiento cañero del central azucarero del estado Monagas, corresponderán a características geo-morfológicas y climáticas del territorio, y el análisis generalizado de la fisiografía, relieve, suelos predominantes y capacidad de su uso constituyen los elementos de partida (desde el punto de vista edáfico), para enmarcar áreas de posible explotación del cultivo de la caña de azúcar. Para ello se toma la información existente. Las Figuras 3, 4 y 5, muestran la analizada en el caso del estado Monagas. Posteriormente se evalúa la información existente relacionada con la fertilidad, aptitud de las tierras, etc. Se realizan recorridos de campo y apertura de calas que permiten validar la información recopilada. Con la información obtenida se establecen análisis de frecuencia de contenidos de elementos en el suelo, relación de las principales variables que interactúan con su fertilidad, etc. En todos los análisis de la información se llevará a satisfacer las demandas de capacidad de molida de la planta, duración de zafra y alcanzar los rendimientos deseados según las premisas.

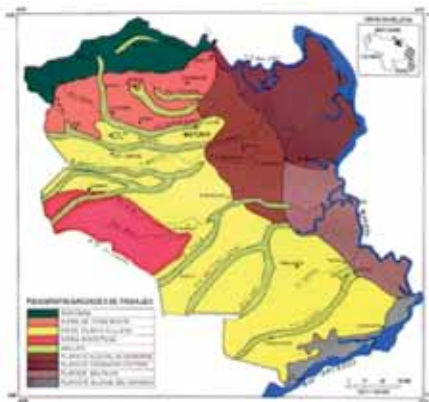


FIGURA 3. Mapa fisiográfico del estado Monagas.



FIGURA 4. Mapa del relieve predominante en el estado Monagas.

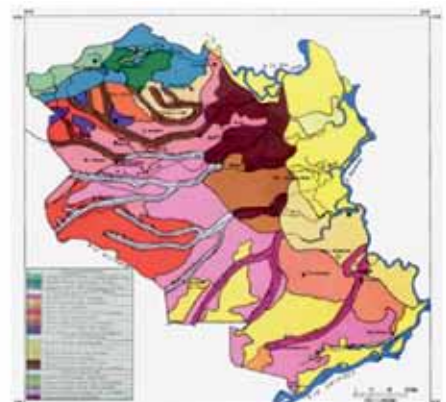


FIGURA 5. Suelos predominantes en el estado Monagas.

• **Condiciones climáticas en el estado Monagas**

El estudio del clima se realiza a partir de la información de precipitaciones y evaporación suministrada. En el estudio de caso analizado la información climatológica proviene de 22 pluviómetros de los que fueron seleccionados 14, por considerarse representativos de las áreas evaluadas en los 3 polígonos estudiados. En todos los casos los datos representan series con el mayor número de años disponibles. Se

calcula para cada mes la lluvia mínima y máxima probable, así como la mediana. En el caso de la evapotranspiración se considerará el 70% de la evaporación libre medida en evaporímetros clase A. La distribución espacial (aproximada) de los pluviómetros aparece en la Figura 6.

La lluvia total anual máxima y mínima probable, relacionadas con las necesidades anuales de la caña de azúcar se muestra en la Figura 7.

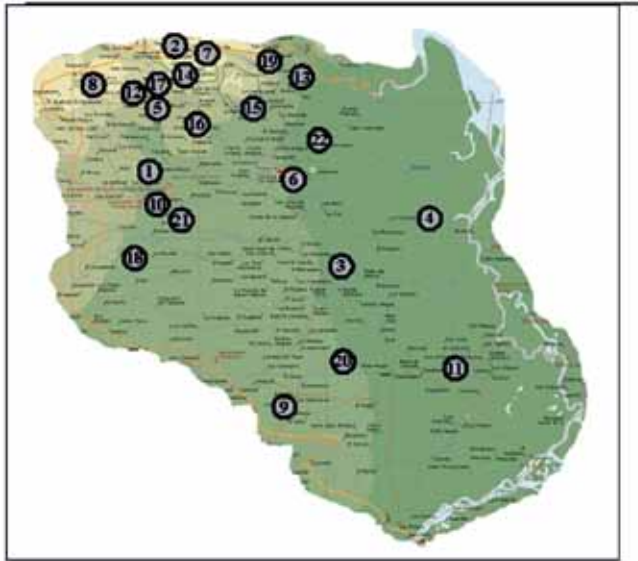


FIGURA 6. Red pluviométrica analizada en el estado Monagas.

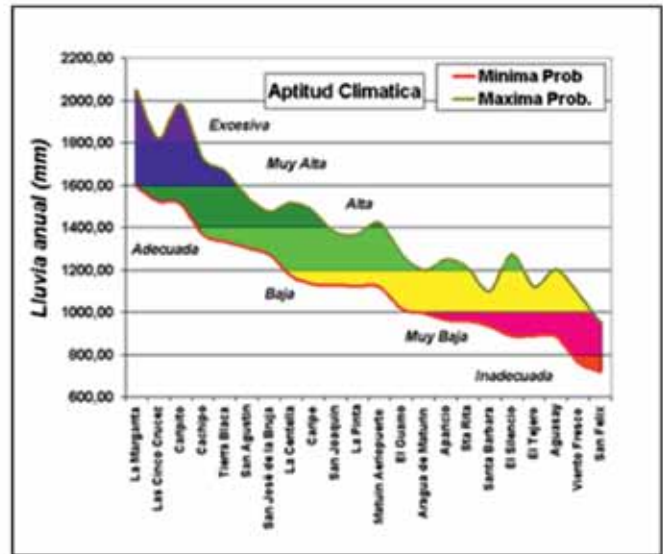


FIGURA 7. Lluvia total anual, máxima y mínima probable, para todos los pluviómetros analizados.

Otro criterio que se evalúa es la frecuencia en que ocurren años secos, considerando como un año seco aquel en que el cultivo se afecta significativamente si no cuenta con riego. El criterio de medida utilizado fue el porcentaje de ocurrencia de años de lluvia “Muy baja”. La Figura 8 muestra un ejemplo de los histogramas de frecuencia generales de los residuos de la lluvia total anual, los números negativos representan años inadecuados (donde el cultivo requeriría riego) y el valor los m<sup>3</sup>/ha de agua necesarios para alcanzar producciones aceptables.

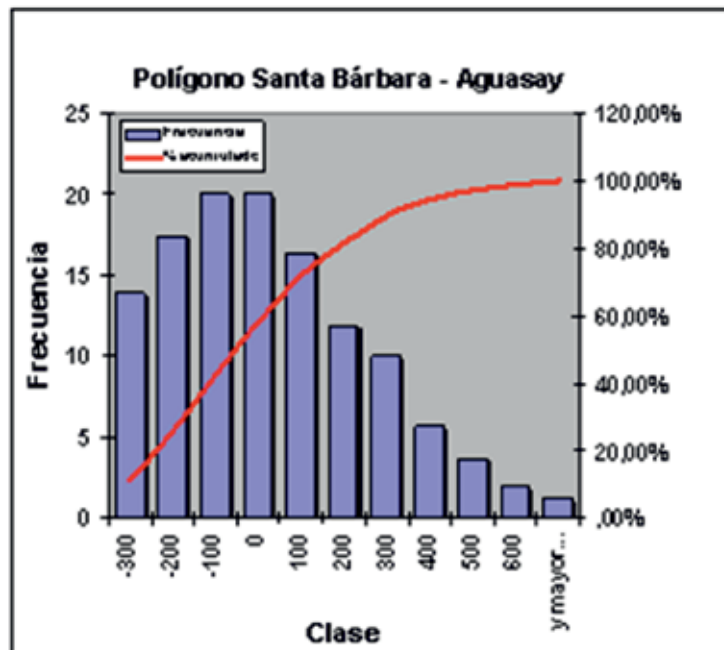


FIGURA 8. Probabilidad de ocurrencia de años con necesidades de suministro adicional de agua para el cultivo de la caña de azúcar. Ejemplo Polígono 1.

La distribución de las precipitaciones es otro de los factores a evaluar, pues determinan la velocidad y el tiempo en que el cultivo crece (producción de biomasa) condicionando así el nivel de producción esperado o rendimiento meta. Las mismas se determinaran a partir de la construcción de diagramas climáticos para cada pluviómetro, donde se analiza la precipitación mediana mensual contra la evapotranspiración media y 50 % de la evapotranspiración media. Cuando la lluvia sobrepasa 50 % se considera que el cultivo crece y cuando es inferior que el crecimiento se detiene. Igualmente cuando la

lluvia sobrepasa la evapotranspiración media se considera que se inicio el periodo húmedo y cuando está por debajo este se da por concluido. Un ejemplo de diagrama con pluviómetros de unos de los polígonos se presenta en la Figura 9. A partir de lo diagramas, se establecen las fechas de comienzo del periodo de humedad y de crecimiento. Un ejemplo, de un polígono, se muestra en el Cuadro 3, donde se muestran la probabilidad de comienzo y conclusión de cada período climático, estableciendo así la duración probable de la zafra.

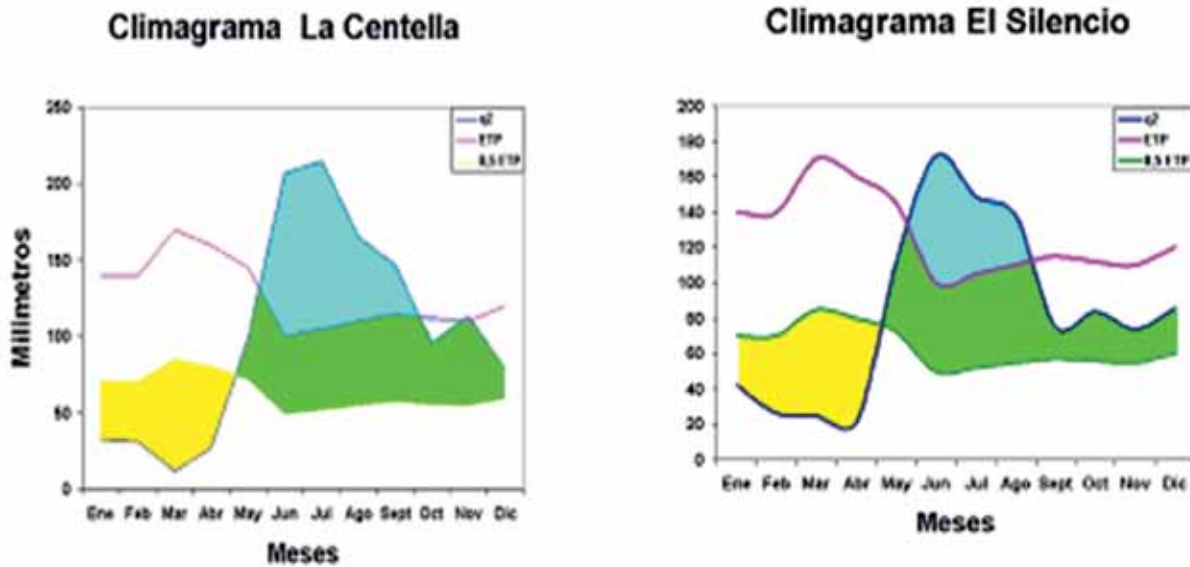


FIGURA 9. Climagramas de los pluviómetros comprendidos. Ejemplo en el polígono 3.

CUADRO 3. Fechas de comienzo y terminación de los periodos húmedos y de crecimiento y periodo de zafra

Pluviómetro	Polígono 1. Santa Bárbara – Aguasay								
	Periodo Húmedo			Periodo de Crecimiento			Período de zafra		
	Inicio	Final	Días	Inicio	Final	Días	Comienzo	Terminación	Duración
Viento Fresco	28-May	10-Sep	105	15-May	10-Dic	209	10-Dic	28-May	169
El Tejero	29-May	15-Sep	109	15-May	20-Dic	213	20-Dic	29-May	160
Aguasay	25-May	20-Sep	118	02-May	18-Dic	230	18-Dic	25-May	158
Santa Bárbara	17-May	28-Jul	72	30-Abr	01-Ene	245	01-Ene	17-May	137
San Félix	08-Jun	29-Ago	82	20-May	30-Nov	193	30-Nov	08-Jun	190

El Cuadro 4, muestra la variación del rendimiento meta de acuerdo con el clima observado en el área de estudio, a partir del cual se comparan las necesidades de área para el abastecimiento de la planta industrial de los polígonos en evaluación (Cuadro 5).

CUADRO 4. Rendimiento meta esperado para seco y riego en el estado de Maturín

Pluviómetro	Días Crecimiento	Rendimiento Base (t/ha)	Potencial Crecimiento	Rdto. Meta (t/ha)		
				Secano	Incre	Riego
Polígono 1. Santa Bárbara–Aguasay						
Viento Fresco	209	89,57	0,77	68,97	19,31	88,28
El Tejero	213	91,29	0,77	70,29	18,91	89,20
Aguasay	230	98,57	0,72	70,97	18,71	89,68
Santa Bárbara	245	105,00	0,57	59,85	22,05	81,90
San Félix	193	82,71	0,57	47,15	25,86	73,00

**CUADRO 5. Resumen de las condiciones climáticas y su relación con los rendimientos**

Polígono	Días Zafra	Caña a Moler (t)	Rendimiento Meta (t/ha)	Área Necesaria (ha)	
				Neta	Bruta
Santa Bárbara – Aguasay (1)	162,8	1 139,600	63,45	22 450,74	37 417,91
Aragua – Maturín (2)	137,5	962,500	86,23	13 952,51	23 254,18
Temblador – Uracoa (3)	148,0	1,036 000	70,53	18 360,98	30 601,63

Una comparación relativa cualitativa y cuantitativa de los polígonos evaluados se muestra en el Cuadro 6, dicha evaluación se llevó a cabo comparando el comportamiento ante cada uno de los indicadores considerados entre los tres polígonos estudiados, estableciéndose para la evaluación, tanto un criterio porcentual como de «campo-fuerza» (diferencia entre casos favorables y desfavorables). Las variables de vialidad, densidad de población, cercanía a centrales azucareros, extensión del área agrícola probable, se evalúan dando puntuación en cada polígono tomando en consideración los parámetros tecnológicos que satisfacen la planta a establecer.

**CUADRO 6. Comparación de los polígonos estudiados**

Indicadores	Polígonos Evaluados		
	Polígono 1	Polígono 2	Polígono 3
Vialidad	Regular	Buena	
Facilidades electroenergéticas	Regular	Buena	
Aptitud de los suelos	Regular	Alta	Regular
Fertilidad	Regular	Alta	
Disponibilidad de agua		Alta	Regular
Factibilidad para establecer sistema de riego	Alta	Alta	Alta
Calidad del agua	Buena	Buena	Buena
Lluvia total	1201,54	1164,00	1125,35
Evapotranspiración		1398,23	
Periodo de crecimiento (días)	245	213	
Estación húmeda (días)	72	109	82
Duración probable de zafra (días)	163	138	148
Rendimiento meta		86	70
Pronóstico de producción de caña (t)	1 139600	962500	1 036000
Área agrícola probable (ha)	22 450,74	13 952,51	18 360,98
Densidad de población (habitantes por km <sup>2</sup> )	8.02		10.13
Competencia con otros cultivos	Media	Leve	Media
Cercanía a otros ingenios			
Necesidad de desarrollo de la región	Alta	Alta	Alta
<b>Evaluación</b>			
	30	70	25
Porcentual	45	15	40
	20	10	30
Campo fuerza (Favorables–Contrarios)	10	60	-5

Las Figuras 10 y 11 muestran un ejemplo de la densidad de viales en el estado. Se observa que la mayor cantidad de circunstancias favorables a la selección de uno de ellos recae en el polígono 2.

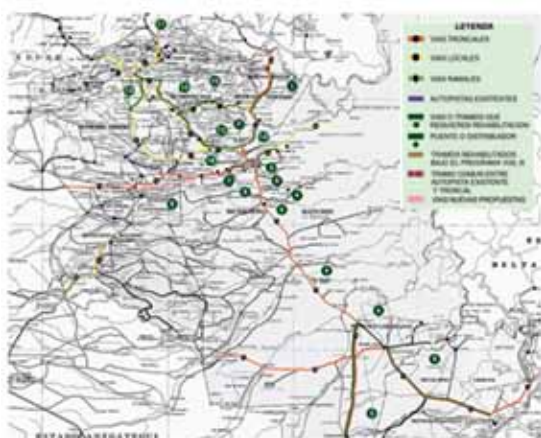


FIGURA 10. Red vial estado Monagas



FIGURA 11. Sistema integral de transmisión eléctrica

Se sugiere, en el estudio de caso presentado, y tomando como criterios los elementos de ubicación de plantas agroindustriales establecidos por diferentes autores (Dale y Charles, 1979; Max y Klaus, 1991 y Mayo Abad 1998) que el montaje de la planta debe ser próximo al poblado denominado La Toscana, limitrofe con los Municipios Maturín, Cedeño y Punceres, ya que en esa zona confluyen el mayor número de características positivas, como son; vialidad equidistante de las diferentes zonas en que se desarrollará mayormente el cultivo y que no sobrepasen los 30 km, sistema eléctrico bien difuso y subestación próxima, disponibilidad de agua, cercanía de centros poblados equidistantes que podrían tributar mano de obra, cercanía a la capital del estado que facilitaría la incorporación de fuerza de trabajo especializada, dirección Norte-Noreste de los vientos predominantes, lo que independientemente de las medidas que se establezcan, no afectará, por los residuos producidos a grandes poblaciones, entre otras características favorables.



FIGURA 12. Polígono propuesto para el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar, donde podría desarrollarse más de 95% del área de abastecimiento del central en el estado Monagas, con propuesta tentativa de la planta.

## CONCLUSIONES

Los pasos a seguir para la selección de áreas para el desarrollo sustentable de sistemas agrícolas, para el cultivo de la caña de azúcar son:

- ✓ Precisar criterios de autoridades, instituciones gubernamentales y especialistas regionales para el desarrollo de la caña de azúcar
- ✓ Análisis de las condiciones agroecológicas en toda la región que potencialmente podrá ser desarrollado el sistema agrícola
- ✓ Selección de polígonos, a partir de variables, en los que se consideren con mayor concurrencia de factores favorables para el desarrollo de un sistema de producción de caña de azúcar.

- ✓ Localización del área en estudio
- ✓ Evaluación de las condiciones edafológicas. Aptitud de los suelos
- ✓ Evaluación de las condiciones climáticas

Como resultado de la aplicación del método en el estudio de caso se presenta la posible área de abastecimiento, donde podría desarrollarse más del 95% de la materia prima, corresponde al Polígono 2 (Aragua-Maturín).

El montaje de la planta debe ser próximo al poblado denominado La Toscana, limitrofe con los Municipios Maturín, Cedeño y Punceres, ya que en esa zona confluyen el mayor número de características positivas (Figura 11).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARCIA, J., MENÉNDEZ, A., SANTANA, M., VILLEGAS R., PÉREZ, E., GARCÍA E. Y MACHADO, I.: Principios metodológicos para el establecimiento de sistemas agrícolas. En: **Memorias XVII Congreso Científico Internacional del INCA**, San José de las Lajas, 22-26 noviembre, La Habana, Cuba, 2010.
2. CASTELLANOS, J: *Análisis del campo de fuerzas*, Boletín electrónico Qualinet, Red de gestión integral y calidad, (en línea) Disponible en: <http://ediserver.mba-sil.edu.pe/mbapage/cdi/BoletinesElectronicos.htm> [Consulta: marzo 16 2004].
3. DALE, F. R. & CHARLES, C. W.: *Strategy of Process Engineering*, pp. 188-194, Edición Revolucionaria, La Habana, Cuba, 1979.
4. FAO: *A framework for land evaluation*, Soils Bulletin 32. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 1976.
5. FAO: *Guidelines: land evaluation for irrigated agriculture*, Soils Bulletin 55. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 1985.
6. FAO: *Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture*, Soils Bulletin 52. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 1983.
7. FAO: *Land evaluation for forestry*, Forestry paper 48. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 1984.
8. FAO: *Report on the Agro-ecological zones project*, World soil Resources Report 48, Vol. 1: Methodology and results for Africa, Rome. Italy. 1978.
9. MAX, S. P. AND KLAUS, D. T.: *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, pp. 341-421, Fourth Edition, McGraw-Hill International Editions, USA, 1991.
10. MAYO, A. O.: *Técnicas básicas de optimización*, Tesis (para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias), La Habana, Cuba, 1998.