*Ciencias de la Tierra y el Espacio, enero-junio, 2013, Vol.14, No.1, pp.70- 79, ISSN 1729-3790*

# Zonificación agroclimática del cultivo de maíz en la zona más occidental de Cuba

Luisa Margarita Zayas-Valdés* (1) y Carlos Alberto González-Andarcio (1)

*(1) Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Ave. Salvador Allende y Luaces. Plaza de la Revolución, CP 10600, Cuba, E-mail: zayas@instec.cu, andarcio@instec.cu*

| Recibido: noviembre 5, 2012 | Aceptado: diciembre 30, 2012 |
|---|---|

## Resumen

El objetivo del presente trabajo es determinar las zonas óptimas para el desarrollo del cultivo de maíz en la zona occidental de Cuba, en el período 1976-2005, desde un punto de vista térmico mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica. Se determinaron los valores la Suma de Temperaturas Activas y Sumas de Temperaturas Efectivas, para las tres variedades de maíz (temprana, media y tardía). Se encontró que existen zonas óptimas para el desarrollo las tres variedades del maíz. En la variedad temprana y la tardía, las zonas óptimas ocupan toda el área de estudio, mientras que en la variedad media, con una duración del período vegetativo de 110 días, existen zonas satisfactorias y óptimas. No se encontraron zonas óptimas para el desarrollo de la variedad media del maíz cuya duración del período vegetativo es de 140 días. La temperatura media del aire no es un factor limitante para el desarrollo del cultivo estudiado.

**Palabras clave:** cultivo de maíz, zona occidental de Cuba, zonificación agroclimática

# Agroclimatic zoning of corn crop in the most western Cuba area

## Abstract

The aim of this study is to determine the optimal areas for the development of the maize crop in western Cuba, in the period 1976-2005, from a thermal point of view by using Geographic Information Systems. It was determined Values of Sum of Actives Temperatures and Sum of effective temperatures for the three maize varieties (early, middle and late). We found that there are optimal areas for development of three varieties of corn. In the early variety and latter variety, the optimal areas occupies the entire area of study, while the average variety, with a duration of the growing season of 110 days, have satisfactory and optimal areas. No zones were found optimal for the development of corn variety whose average length of growing season is 140 days. The average air temperature is not a limiting factor for crop development studied.

Keywords: corn, western Cuba, zoning, agroclimatic

## 1. Introducción

Después de la caña y el arroz, el maíz (Zea mays L.) es la gramínea más importante que se cultiva en Cuba, siendo aprovechada en el consumo humano de diversas formas y en la alimentación animal para la elaboración de pienso. Se cultiva en áreas de riego y de secano. (Gómez y Esquivel, 2011).

El maíz necesita para su desarrollo óptimo una temperatura media diaria entre 24 y 30°C según Doorenbos y Kassan (1979). Este cultivo puede desarrollarse en temperaturas medias diarias inferiores a 24°C hasta 15°C y por encima de los 30°C hasta 35°C, fuera de estos umbrales se produce la pérdida de la cosecha.

Las necesidades de temperatura, expresada como la suma de temperaturas medias diurnas para las variedades de tipo medio son de 2500 a 3000°C, mientras que las variedades tempranas necesitan alrededor de 1800°C y las tardías de 3700°C o más. Doorenbos y Kassan (1979).

Una tarea fundamental de los agrometorólogos es determinar las zonas favorables para el desarrollo de los cultivos y en este sentido se pronuncian Marrero *et al.,* (2004) cuando plantean que la agroclimatología evalúa la aptitud de los territorios, regiones o zonas, respecto a las condiciones climáticas, para la satisfacción de los requerimientos de los sistemas agrícolas para lo cual se apoyan en los índices agroclimáticos.

Además Marrero *et al.,* (2004) plantean que la zonificación agroclimática se fundamenta en el hecho de que los cultivos para su crecimiento y desarrollo requieren determinadas condiciones ambientales. También resaltan que la zonificación

agroclimática constituye una herramienta poderosa para los planificadores puesto que permite establecer con mayor exactitud la ubicación de los cultivos.

López-Bellido (1991) afirma que la temperatura determina el área de cultivo del maíz y el agua define su potencial de producción.

Es por ello que el objetivo que tiene el presente trabajo es determinar las zonas óptimas para el desarrollo cultivo maíz en la zona más occidental de Cuba, en el período 1976-2005, desde un punto de vista térmico.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), en este sentido, constituyen una herramienta muy útil ya que permiten determinar, representar y evaluar espacialmente las zonas climáticas que cumplen con los requerimientos de estos cultivos, de forma tal que estos logren completar todas sus fases fenológicas o ciclo vegetativo y puedan alcanzar rendimientos elevados.

Para la determinación de las zonas favorables se tienen en cuenta los índices agroclimáticos: Suma de Temperaturas Activas y Suma de Temperaturas Efectivas.

La suma de temperaturas es un método de análisis térmico que se cita ampliamente en la literatura agrícola y se utiliza para caracterizar las condiciones térmicas locales. Según Chirkov (1979), las sumas de temperaturas fueron introducidas en la agrometeorología por Eeomiur en 1734 y han tenido amplia utilización como índice del consumo diario y sumario de calor por las plantas. (Zayas, 2009)

Por otro lado Gastiazoro (1992) plantea que el concepto de que las plantas tienen un "requerimiento de temperatura" para completar su ciclo, data del siglo XVIII, pero el mayor impulso a la teoría de acumulación energética o sumas de temperaturas necesarias para que un cultivo complete su ciclo, proviene de los últimos 70 años. A dicha acumulación se la designa de varias maneras: Suma de Unidades de Crecimiento, Sumatoria de Temperaturas, Sumatoria de Unidades Calóricas, Sumatoria de Grados-Día, etc.

Palenzuela (1982), citada por Zayas (2009), diferencia dos tipos de suma de temperaturas utilizadas para evaluar las condiciones agrometeorológicas de los cultivos agrícolas, ellas son:

(1) La suma de temperaturas activas. Expresada esta por las sumas de las temperaturas medias diarias del aire o del suelo, las cuales son superiores a los ceros biológicos establecidos para determinado periodo de desarrollo de las plantas.

(2) La suma de temperaturas efectivas. Expresada esta por la suma de las temperaturas medias diarias del aire o del suelo, disminuido en la magnitud del cero biológico establecido para determinado periodo de desarrollo de las plantas.

Gastiazoro (1992) también destaca que existen distintos métodos para estimar las sumas térmicas: el método directo, el residual, el exponencial, el termofisiológico, Weather Bureau, etc.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Cultivo

En el presente trabajo se estudian las variedades temprana, media y tardía del maíz.

Teniendo en cuenta el rango óptimo para el desarrollo de las distintas variedades del cultivo del maíz planteadas por Doorenbos y Kassam (1979) se definen las escalas siguientes:

**Tabla I.** Desarrollo del cultivo de maíz (variedad temprana) según la suma de temperaturas activas

| Suma de temperaturas activas (°C) | Desarrollo del cultivo | Color asignado en la representación espacial |
|---|---|---|
| < 1600 | insuficiente | rosado |
| 1600 -1800 | satisfactorio | amarillo |
| 1800 -2500 | óptimo | verde |
| 2500-2700 | satisfactorio | Naranja |
| > 2700 | insuficiente | violeta |

**Tabla II.** Desarrollo del cultivo de maíz (variedad media) según la suma de temperaturas activas

| Suma de temperaturas activas (°C) | Desarrollo del cultivo | Color asignado en la representación espacial |
|---|---|---|
| < 2300 | insuficiente | rosado |
| 2300 -2500 | satisfactorio | amarillo |
| 2500 -3000 | óptimo | verde |
| 3000-3200 | satisfactorio | Naranja |
| > 3200 | insuficiente | violeta |

**Tabla III.** Desarrollo del cultivo de maíz (variedad tardía) según la suma de temperaturas activas

| Suma de temperaturas activas (°C) | Desarrollo del cultivo | Color asignado en la representación espacial |
|---|---|---|
| < 3500 | insuficiente | rosado |
| 3500 -3700 | satisfactorio | amarillo |
| > 3700 | óptimo | verde |

Las tablas anteriores se emplearon para la representación de las zonas de desarrollo del cultivo del maíz.

Para obtener la producción máxima del cultivo del maíz se necesitan entre 500 y 800 mm de agua a lo largo del período vegetativo. (Doorenbos y Kassam, 1979). Teniendo en cuenta que esta condición se satisface para los meses del período lluvioso en Cuba se decide tomar como fecha inicial del período vegetativo el 1ro de mayo y la fecha final se establece de acuerdo a la variedad (temprana, media o tardía) del cultivo. La duración del período vegetativo han sido extraídas de Estudio FAO de Riego y Drenaje número 33 de Doorenbos y Kassan (1979).

**Tabla IV.** Duración del período vegetativo del maíz para las temperaturas medias diarias superiores a 20°C

| Variedad del maíz | Duración del período vegetativo (días) | Fecha de inicio del período vegetativo | Fecha final del periodo vegetativo |
|---|---|---|---|
| Temprana | 80 | 1ro de mayo | 19 de julio |
| Media | 110 | 1ro de mayo | 18 de agosto |
| Media | 140 | 1ro de mayo | 17 de septiembre |
| Tardía | 170 | 1ro de mayo | 17 de octubre |

## 2.2 Zona de estudio

La zona de estudio para la realización de este trabajo es la zona más occidental de Cuba, que ocupa el territorio de la antigua provincia Pinar del Río (Fig. 1).

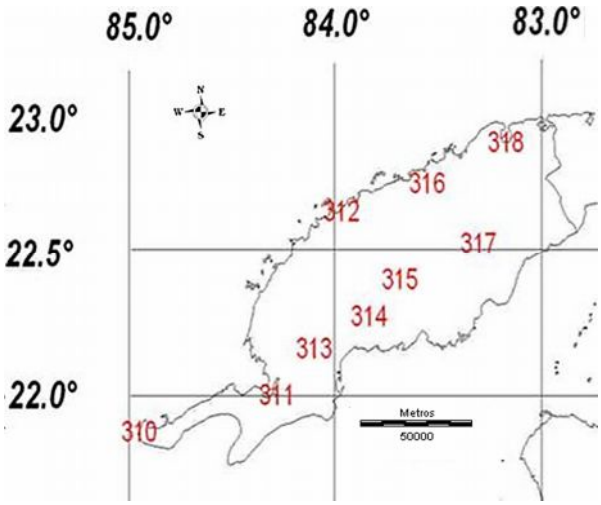



**Fig. 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio**

**Tabla V.** Características de las localidades de ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio

| Estación meteorológica | Latitud | Longitud | Altura (m) | Municipio de ubicación |
|---|---|---|---|---|
| Cabo de San Antonio (310) | 21º 51'59''N | 84º 57'05''O | 8.00 | Sandino |
| La Bajada (311) | 21º 55'17''N | 84º28'39'' O | 12.00 | Sandino |
| Santa Lucía (312) | 22º 40'59''N | 83º 58'41''O | 23.62 | Minas de Matahambre |
| Isabel Rubio (313) | 22º 08'55' N | 84º 06'51''O | 27.51 | Sandino |
| San Juan y Martínez (314) | 22º 16'40''N | 83º 49 46''O | 30.00 | San J. y Martínez |
| Pinar del Río (315) | 22º 22'57''N | 83º 41'06''O | 36.74 | Pinar del Río |
| La Palma (316) | 22º 45'59''N | 83º 33'41' O | 47.39 | La Palma |
| Paso Real de San Diego (317) | 22º 33'46''N | 83º 18'27''O | 43.97 | Los Palacios |
| Bahía Honda (318) | 22º 55'57''N | 83º 10'14''O | 3.07 | Bahía Honda |

## 2.3 Datos empleados

Para el cálculo de los índices se emplearon los datos de temperatura medias decadales (periodo de 10 días) pertenecientes a las estaciones de la zona de estudio (Fig. 1), de la base de datos del Centro de Meteorología Agrícola del Instituto de Meteorología (INSMET) y un mapa con las curvas de nivel.

## 2.4 Softwares

Se utilizó el software para la aplicación de la geoestadística Surfer 7 y el Sistema de Información Geográfica (SIG) Idrisi Andes. Con el primero se hizo una interpolación lineal de la temperatura media a través del módulo Grid y con el segundo se confeccionó el Modelo Digital de Elevación (MDE) mediante los módulos: Tin, Tinraster e Intercon.

El mapa de curvas de nivel se llevó a puntos de altitud a través del módulo Lintopnt, para poder generar posteriormente las redes vectoriales de triángulos irregulares a través del módulo Tin. Este permite crear una superficie suave y continua que se aproxima a la forma del terreno del que se extraen los datos originales (Martín, 2010). Luego el fichero vectorial se rasterizó con el módulo Tinsurf y finalmente se multiplica por la máscara de la provincia (solo con valores de 0 y 1), a través de OVERLAY, puesto que la imagen creada por el TINSURF calcula los valores para todo el rectángulo de la imagen.

La imagen interpolada de la temperatura se importa al Idrisi y luego se le substrae la imagen raster que representa la altura de la región (MDE), la cual debe estar multiplicada por el factor de variación de la temperatura con la altura. Lo que se obtiene es una imagen raster con los valores de temperaturas según la altura del píxel. Este procedimiento se realizó 36 veces, o sea, para cada década año. EL SIG Idrisi permite a través del módulo Macro Modelador reducir la repetición manual de esa operación.

Una vez obtenidos los mapas de distribución espacial de la temperatura media del aire para cada década se calcularon los índices en dependencia de la fecha de siembra de los cultivos. Las fórmulas de los índices se introdujeron en la calculadora de Idrisi.

## 2.5 Índices agroclimáticos

Los índices agroclimáticos utilizados para determinar las zonas óptimas del maíz son: la Suma de Temperaturas Activas (1) y la Suma de Temperaturas Efectivas (2).

Ecuaciones para el cálculo de los índices:

$$\sum_{i=1}^{n} Ta = \sum_{i=1}^{n} n * (Tm - \ 0) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{n} Te = \sum_{i=1}^{n} n * (Tm - Tmb) \quad (2)$$

Donde **n** es el número de días del ciclo vegetativo del cultivo y depende de la variedad del cultivo, **Tm** es la temperatura media diaria y **Tmb** es la temperatura del mínimo bilógico del cultivo. Se ha empleado para la obtención de los mapas de la Suma de Temperaturas Efectivas, como temperatura del mínimo biológico del cultivo 24°C debido a que es la temperatura por encima de la cual el cultivo del maíz comienza a desarrollarse en óptimas condiciones.

El método empleado para la obtención de la Suma de Temperaturas Activas es el directo que según Gastiazoro (1992) consiste en la suma de todos los valores de temperaturas medias diarias que superen el nivel térmico de 0ºC durante un período dado, que puede ser un mes, un año o el lapso entre dos fases fenológicas, en el caso de este estudio n toma valores de días de duración del ciclo vegetativo: 80, 110, 140 y 170 días, correspondientes a las variedades de maíz que se estudian. En este método no se computan los valores de temperaturas inferiores a 0ºC, lo cual en Cuba no representa dificultad pues no se experimentan temperaturas medias del aire de este valor ni cercanas.

## 3. Discusión y resultados

Se obtiene las sumas de temperaturas para el cultivo del maíz, específicamente para la variedad temprana. En el caso de la Suma de Temperaturas Activas (Fig.2) el mayor valor que se obtiene es de 2199°C y el menor valor es de 1787°C, este último coincide con las zonas montañosas del occidente de Cuba y se debe a la disminución de la temperatura con la altura.

En toda la zona de estudio el maíz pueda desarrollarse bien, pues se logra acumular una temperatura de más de 1800°C que según se planteó al inicio era la ideal para la variedad temprana de maíz. Esto coincide con lo planteado por Kulikov y Rudnev (1989): "en Cuba la temperatura del aire no constituye un factor limitante para el desarrollo de los cultivos agrícolas". Lo mismo sucede con las variedades media y tardía, siendo inferior en las zonas montañosas. (Figs. 3, 4 y 5).




**Fig. 2. Suma de Temperaturas Activas del maíz, variedad temprana.**

En las variedades media y tardía lo mayores valores de temperaturas activas alcanzan hasta 3887°C en la variedad media para 140 días de duración del período vegetativo, 3047°C en la variedad media de 110 días y 3820°C en la variedad tardía. Los valores mínimos de la suma de temperaturas activas para estas variedades de maíz son de 3158°C, 2476°C y 4702°C respectivamente. (Figs. 3, 4 y 5).

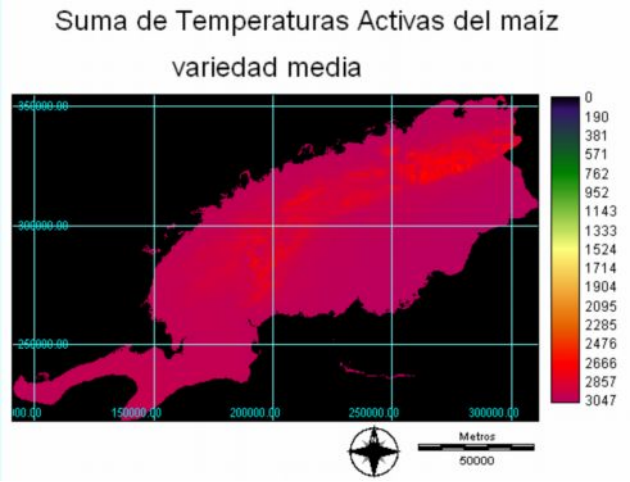



**Fig. 3. Suma de Temperaturas Activas del maíz, variedad media (110 días)**

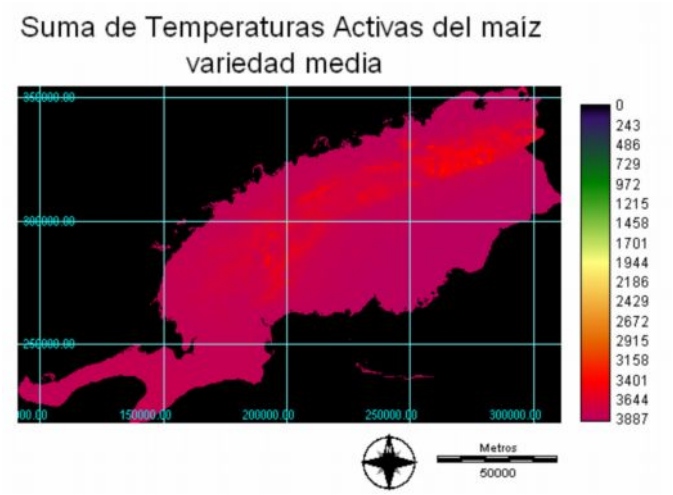



**Fig. 4. Suma de Temperaturas Activas del maíz, variedad media (140 días)**

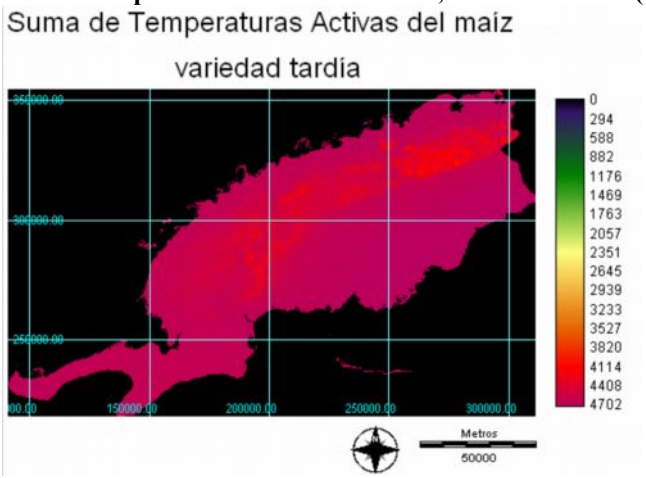



**Fig. 5. Suma de Temperaturas Activas del maíz, variedad tardía**

Si se analiza la Fig. 6 se puede percibir que la Suma de Temperatura Efectivas oscila entre los 19°C y los 279°C para la variedad temprana del cultivo del maíz donde, de manera similar a la Suma de Temperatura Activas, se aprecian lo valores menores en las zonas montañosas y los superiores en las llanas. En este caso se substrae a la temperatura media el valor de 24°C debido a que es la temperatura por encima de la cual el cultivo del maíz comienza a desarrollarse en óptimas condiciones.

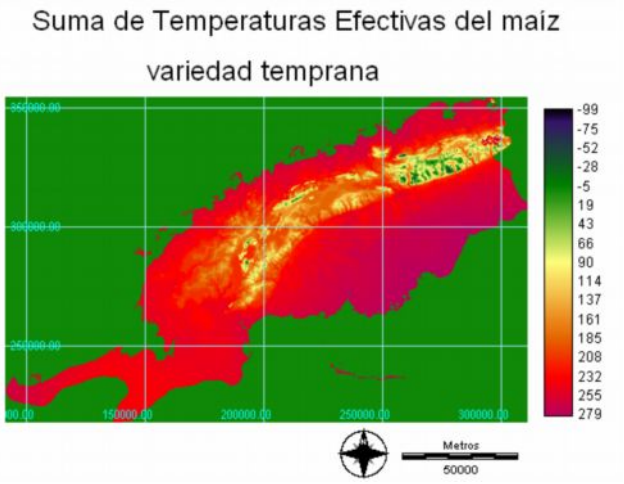



**Fig. 6. Suma de temperaturas efectivas del maíz, variedad temprana**

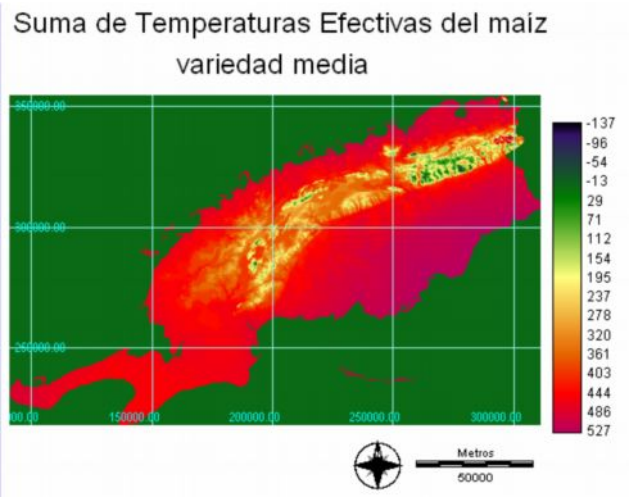



**Fig. 7. Suma de temperaturas efectivas del maíz, variedad media**

En el caso de la variedad media del cultivo del maíz para 140 días de duración del período vegetativo los valores de temperaturas efectivas oscilan entre los 29°C y 527°C. (Fig.7) La variedad tardía de este cultivo tiene temperaturas efectivas entre los 14°C y 630°C. (Fig. 8)

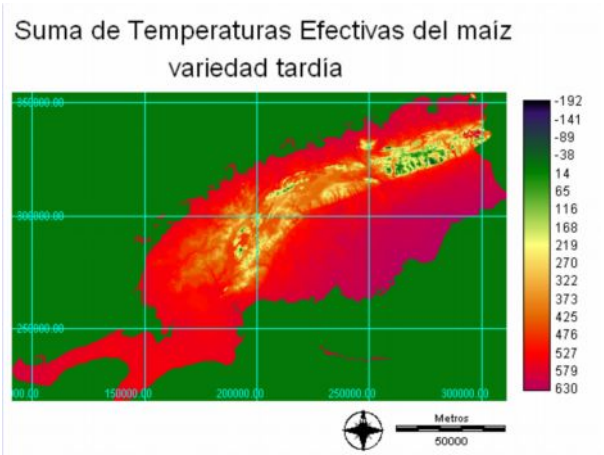



**Fig. 8. Suma de temperaturas efectivas del maíz, variedad tardía**

Para la obtención de las Figs. 9,10, 11 y 12 se hizo una división de la suma de temperaturas activas del maíz por clases para agrupar las zonas donde el desarrollo del cultivo es insuficiente, satisfactorio u óptimo.

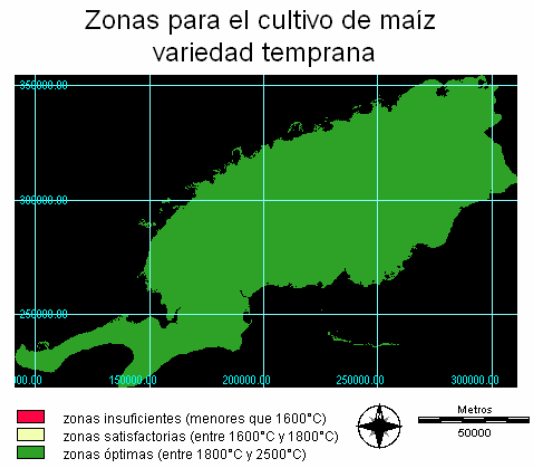



**Fig. 9. Zonas para el cultivo del maíz, variedad temprana**

Las zonas óptimas (representadas por el color verde) para la variedad temprana (Fig. 9) ocupa toda la zona de estudio.

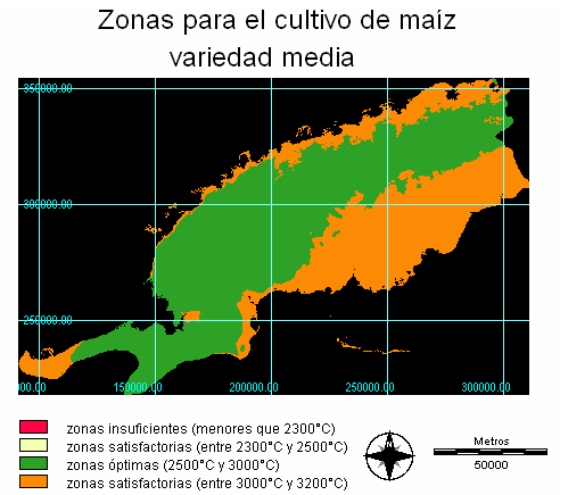



**Fig. 10. Zonas para el cultivo del maíz, variedad media (110 días)**

Para la variedad media del maíz, con una duración del período vegetativo de 110 días (Fig. 10), se encuentra un área de zonas óptimas para el desarrollo de esta variedad de 6596.4km$^2$ y un área de 4367.2km$^2$ de zonas satisfactorias con valores de Temperaturas Activas entre 3000°C y 3200°C.

Sin embargo para la variedad media del maíz cuyo periodo vegetativo tiene una duración de 140 días (Fig. 11), se debe decir que los valores superan los 3200°C, por lo que según la clasificación que se hizo se considera la zona de estudio insuficiente para el desarrollo de esta variedad, esto no significa que el cultivo no se desarrolle, sino que no son los valores óptimos de temperatura para el mismo.

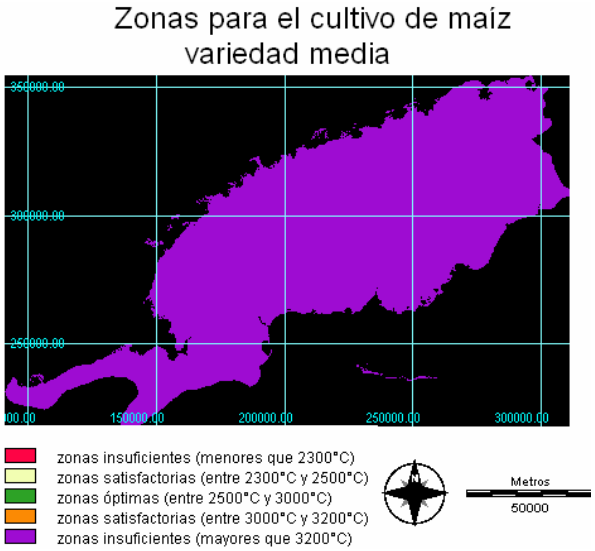



**Fig. 11. Zonas para el cultivo del maíz, variedad media (140 días)**

En la clasificación de la variedad tardía del maíz (Fig. 12) se puede ver que la zona de estudio es propicia para el desarrollo del cultivo, o sea, es una zona óptima ya que sus valores superan los 3700°C que requiere esta variedad. Obsérvese que el color verde es el que representa las zonas óptimas que al igual que la variedad temprana abarca toda la zona occidental de Cuba.




**Fig. 12. Zonas para el cultivo del maíz, variedad tardía**

Se recomienda realizar el mismo análisis para escenarios climáticos futuros, en todo el país y para otros cultivos de interés.

## Conclusiones

Se determinaron los valores de los índices agroclimáticos estudiados: Suma de Temperaturas Activas y Sumas de Temperaturas Efectivas, para las tres variedades de maíz (temprana, media y tardía) en la zona más occidental de Cuba.

Existen zonas óptimas para el desarrollo las variedades temprana, media y tardía del maíz. En la variedad temprana y la variedad tardía, las zonas óptimas ocupan toda el área de estudio, mientras que en la variedad media, con una duración del período vegetativo de 110 días, existen zonas satisfactorias y óptimas. No se encontraron zonas óptimas para el desarrollo de la variedad media del maíz cuya duración del período vegetativo es de 140 días.

La temperatura media del aire no es un factor limitante para el desarrollo del cultivo estudiado.

Se recomienda realizar el mismo análisis de los índices de temperaturas activas y efectivas para escenarios climáticos futuros, en todo el país y para otros cultivos de interés.

## Referencias

**Chirkov, Yu. I., (1979):** Agrometeorología. [en ruso]. L. Gidrometeoizdat. Leningrado. 320 p.

**Doorenbos, J., Kassam, A.H., (1979):** Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage 33, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.

**Gastiazoro, J. (1992):** Estadísticas Meteorológicas de la Facultad de Ciencias Agrarias 1981-1990. Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola. UN Comahue. Facultad de Ciencias Agrarias. Cinco Saltos. Río Negro. Argentina. [En línea]. Consultado: 15/06/2012. Disponible en: http://www.redagraria.com.ar/investigacion/fca_unc/clima-fenol_fca_unc/apunte_fenologia/6_temp_para_crec_desarrollo.html

**Gómez, J., Esquivel, M. (2011):** Agroclimatología del maíz en México. [En línea]. Consulta: 4 abr. 2011. Disponible en: http://huertofenologicounam.com/articulos/Agloclimatologia_maiz_Mexico.doc

**Kulikov, V. y G.V. Rudnev, (1989):** Agrometeorología Tropical. Editorial Científico Técnica. La Habana. 256 p.

**López-Bellido, C. (1991):** Cultivos herbáceos. Vol. 1. Cereales. 500 p.

**Marrero, P., O. Cruz, M. Herrera (2004):** Notas de Agrometeorología. [En línea]. Consulta: 4 abr. 2011. Disponible en: http://www.google.com.cu/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fbiblioteca.ihatuey.cu%2Flinks%2Fagronomia%2Fagroecult.pdf&ei=E0FRTf-EOsrQtwen7ojACQ&usg=AFQjCNGvxY1oxFXkq9hEv_sJB9BYUGowKw

**Martín, J., (2010):** Cursos de Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio. Universidad de Alicante – Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. España – Cuba. 66 p.

**Palenzuela, E., (1982):** Guía climática abreviada para los especialistas de la agricultura. Instituto de Meteorología. Academia de Ciencias de Cuba, La Habana. 255 p.

**Zayas, L., (2009):** Estudio de Acontecimientos Físicos y Biológicos Asociados al Comportamiento de la Temperatura del Aire en Pinar del Río. Instituto Superior de tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana [Tesis de grado], 46 p.