

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES AGROCLIMÁTICAS DEL CULTIVO DEL MAÍZ (*Zea mays*) EN LA PROVINCIA LOS RÍOS

ASSESSING THE AGROCLIMATIC CONDITIONS FOR MAIZE (*Zea mays*) CROP
IN LOS RÍOS PROVINCE, ECUADOR

Azucena E. Bernal Gutiérrez, Andrea Cristina Cortez Espinosa, Mario Herrera Soler*

Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad de Quevedo, Provincia Los Ríos, Quevedo, Ecuador

RESUMEN

La evaluación de las condiciones agroclimáticas del cultivo del Maíz (*Zea mays*) en la provincia Los Ríos, Ecuador, es un paso decisivo hacia el uso sostenible de los servicios agroecológicos que permite la racionalización de los recursos hídricos. La caracterización del comportamiento de la suma de precipitaciones y de la evapotranspiración del cultivo del Maíz en su período de crecimiento, enmarcado entre las siembras de septiembre y diciembre, arrojó resultados que favorecen a los meses de noviembre y diciembre, con precipitaciones que alcanzan 1209 y 1556 mm, respectivamente, y evapotranspiraciones de 444 y 439 mm, respectivamente. Las sumas de precipitaciones en el mes de septiembre resultan escasas para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo. El análisis espacial reflejó que las áreas favorecidas por buenas condiciones de los recursos hídricos se elevó de un 60% del territorio con menos de 500 mm en la siembra de septiembre, al 100% del territorio con precipitaciones superiores a los 600 mm en la siembra de octubre, alcanzando en algunas zonas valores superiores a 1200 mm. Estas condiciones favorables se localizan hacia el Norte de la provincia y por encima de la estación de Pichilingue, con los mejores valores en la estación de Puerto Illa.

Palabras clave: Maíz; condiciones agroclimáticas; precipitación; evapotranspiración

ABSTRACT

Evaluating agro-climatic conditions for maize (*Zea mays*) growing in the province of Los Ríos, Ecuador is a decisive step towards sustainable agro-ecological service use, allowing water resource rationalization. The results of summing rainfall and maize evapotranspiration during its growing season, extending from September to December, providing November and December with 1209 and 1556 mm rainfall, and 444 and 439 mm evapotranspiration respectively. The sum of December rainfall is not enough to satisfy the water requirements of this crop. The spatial analysis showed that the number of areas with good conditions in water resource increased from 60% of the territory receiving less than 500 mm rainfall in September sowing season, to 100% receiving over 600 mm rainfall in October sowing season, in some zones reaching values over 1200 mm. These favorable conditions are located to the north of the province and up Pichilingue station, the best values found in Puerto Illa station.

Key words: Maize, agroclimatic conditions, precipitation, evapotranspiration

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la informática ha revolucionado muchos sectores de la ciencia, a lo cual no ha escapado la Agrometeorología, que necesita de decisiones tanto estratégicas como tácticas que le permita al agricultor tomar las medidas adecuadas y oportunamente para alcanzar los rendimientos esperados. Las nuevas tendencias de la Agrometeorología así lo exigen, pues cada vez más se aspira a contar con una herramienta de mayor aplicación. Stigter (2008) afirma que la Agrometeorología debe enfrentar los problemas del agro con un sentido más pragmático, de forma que su aplicación en las diferentes especialidades de la agricultura cuente con la gestión de la información agrometeorológica para la toma de decisiones. Esto es lo que él ha denominado "end to end", de la ciencia básica al agricultor" (Stigter, 2002). Las investigaciones en esta dirección vienen a fortalecer los sistemas de alerta con el fin de alcanzar la seguridad alimentaria necesaria, en que debe considerarse, además: las inversiones en almacenamiento de agua, desarrollo de cultivos tolerantes a la sequía y la diversificación de los sistemas agrícolas (Naylor et al., 2007; Frere y Popov, 1986). Por otra parte, permiten tomar las medidas necesarias a corto y largo plazo, en el enfrentamiento a la variabilidad del clima y el cambio climático (Hammer et al, 2001; Hansen, 2002; Challinor et al., 2004).

La variabilidad de las precipitaciones representa un riesgo significativo para aquellas regiones donde su economía depende de la producción agrícola. La toma de decisiones y la planificación del uso de la tierra debe ser apoyado por las herramientas agrometeorológicas (Mberegoy Sanga-Ngole, 2014). Es de esta manera que en muchas regiones del mundo se investiga sobre el comportamiento de las variables agroclimáticas en el período de desarrollo de los cultivos (Herrera et al., 2015) como vía para elevar la eficiencia agroproductiva.

Estudios agroclimáticos realizados a diferentes niveles de probabilidad deben marchar junto a un manejo que responda a las tradiciones que antaño se practicaron en las diferentes regiones y aseguraban el equilibrio del ecosistema al conservar intacta la armonía entre los elementos del entorno. Stigter (2002) esquematiza este accionar mediante el siguiente diagrama (Figura 1):

*Autor para correspondencia: Mario Herrera Soler
Correo electrónico: mariohscu@gmail.com

Recibido: 13 de febrero de 2017

Aceptado: 21 de julio de 2017

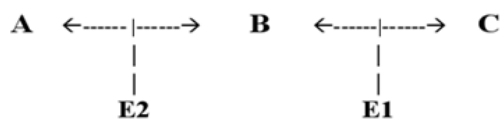


Figura 1. Interrelación entre las condiciones de producción, el entorno productivo y el servicio agrometeorológico.

Figure 1. Relations between productive conditions, environment and agrometeorological services.

donde:

A – sistemas de producción agrícolas sostenibles

B - Las estrategias adaptables locales (caudal de conocimiento basado en el conocimiento tradicional y las tecnologías indígenas)

+ el conocimiento contemporáneo agrupa (basado en la ciencia y la tecnología)

+ los ambientes de la política apropiados (basado en las preocupaciones sociales y las consideraciones medioambientales científicamente sustentadas y operando a través del mercado existente)

C – Apoyo de los sistemas de servicios agrometeorológicos: los datos + la investigación + el educación/entrenamientos/extensión + las políticas

E1 – Acción de los sistemas de apoyo agrometeorológico para la mitigación de los impactos de los desastres

E2 – Servicio agrometeorológico de apoyo a las acciones de los productores

La lógica viene sustentada por el principio de que las condiciones de manejo que crean vulnerabilidades en los sistemas agrícolas producen impactos en el entorno, lo que a su vez es base para que se produzcan desastres. Son muchas las teorías que sustentan que no es sólo la elevada frecuencia de los fenómenos extremos lo que está causando desastres, si no la vulnerabilidad existente provocada por las acciones antrópicas. En la Figura 1 se hace hincapié en el apoyo que puede brindar el servicio agrometeorológico a través de la educación en el uso de esta información y su adaptación a las tecnologías tradicionales. Entre las acciones antrópicas que pueden estimular la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas se encuentra:

La adaptación de los espacios a los cultivos en prospección.

La selección de cultivos de alto potencial productivo con poca resistencia a las condiciones del entorno.

La débil coherencia agroecológica entre las condiciones agroclimáticas y los requerimientos del cultivo.

La falta de información climática en las regiones agrícolas, por ausencia de información o por su elaboración deficiente.

Lo anterior se hace patente en el anterior diagrama (Figura 1), que resalta la conexión existente entre las acciones que se llevan a cabo en el entorno productivo y las modificaciones asociadas a estas acciones y sus consecuencias sobre la vulnerabilidad del entorno y del sistema en sí.

Por otra parte, tenemos que aquellos servicios que cuentan con informes espaciales resultan más eficientes, al poder complementar las respuestas temporales, lo que en materia agrícola tiene mucha utilidad por la amalgama de suelos que pueden existir en una superficie con idénticas condiciones climáticas.

Encontrar el mejor período de siembra de los cultivos, en función de elevar la eficiencia en cuanto a la satisfacción de las necesidades hídricas, es contribuir a la seguridad alimentaria, a la racionalización de los recursos hídricos y a reducir los efectos erosivos sobre el suelo por los impactos del riego innecesario. Es hacia esa dirección que están dirigidos los objetivos de este trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología del presente trabajo se fundamenta en la evaluación agroclimática de los períodos de siembra en función del comportamiento de las precipitaciones y de la evapotranspiración del cultivo del Maíz en diferentes períodos de siembra. La investigación se apoya en la aplicación del software Agroclim-Map (Herrera, 2000; Herrera, M. y González, C., 2007; González et al, 2012; Frere y Popov, 1986), que presenta resultados en forma de tablas, gráficos y mapas del comportamiento de la suma de precipitaciones y de evapotranspiración de referencia en el período de crecimiento del cultivo del Maíz.

En la Figura 2 se muestra el mapa de la provincia Los Ríos, localizada hacia el interior del Ecuador, cercana a la costa, lo que le imprime un carácter de alta humedad a la región, la que en un alto porcentaje está rodeada de zonas montañosas y determinan la pluviosidad reinante que llega a ser significativa (Figura 2). El trabajo se desarrolló en la provincia Los Ríos, Ecuador, que ocupa un territorio de unos 6.254 km², siendo la décimo quinta provincia del país por extensión. Limita al norte con Santo Domingo de los Tsachilas, por el este con Cotopaxi y Bolívar, al noroccidente con Manabí y al oeste y al sur con Guayas. La investigación se realiza sobre el cultivo del Maíz (*Zea mays*), simulándose las siembras desde la pri-



Figura 2. Mapa de la provincia Los Ríos y su ubicación en el territorio ecuatoriano.

Figure 2. Location of the study area and position in Equatorian territory

mera década del mes de septiembre hasta la primera década del mes de diciembre, con un intervalo mensual entre cada siembra. El período evaluado coincide con las siembras que se realizan en la región, por considerarse un período óptimo para las campañas de siembra. Se consideraron las observaciones de las precipitaciones por décadas de 29 estaciones: 14 estaciones de la red meteorológica y 15 estaciones virtuales, que se obtuvieron por el método del inverso de la distancia y que aparecen distribuidas a lo largo de toda la provincia y hacia el exterior de ésta. Se calculó la evapotranspiración de referencia por Penman-Monteith en todas las estaciones de la provincia. Se considera la Capacidad de Agua Disponible y Fácilmente Utilizable para cada grupo de suelos, el cual se elaboró desde mapas de 1:25000.

Para la elaboración de los datos se utilizó el software Agroclim-Map (Herrera y González, 2007), calculándose la cantidad total de precipitaciones y la evapotranspiración de referencia para cada una de las etapas de siembra referidas anteriormente y para un período de 30 años. Se evaluó la probabilidad acumulada de las precipitaciones para cada uno de los períodos de siembra referidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de la suma de precipitaciones anuales y la suma de la evapotranspiración de referencia promedios se presentan a través de mapas del territorio de la provincia, que resulta en sumas anuales de precipitaciones que fluctúan entre 1667 y 2622 mm, mientras que la suma de la evapotranspiración de referencia lo hace en el intervalo comprendido entre 1082 y 1298 mm. Estos resultados se alcanzan para las estaciones hacia el interior de la provincia, mientras que los rangos que presentan los mapas consideran además, las estaciones en el exterior de la provincia. Se refleja que aunque existen las condiciones para que la evapotranspiración sea elevada, a causa de las suficientes existencias de humedad en el suelo, los escenarios de alta humedad en la atmósfera y los nublados impiden que se alcancen altas tasas de evapotranspiración (Figura 3).

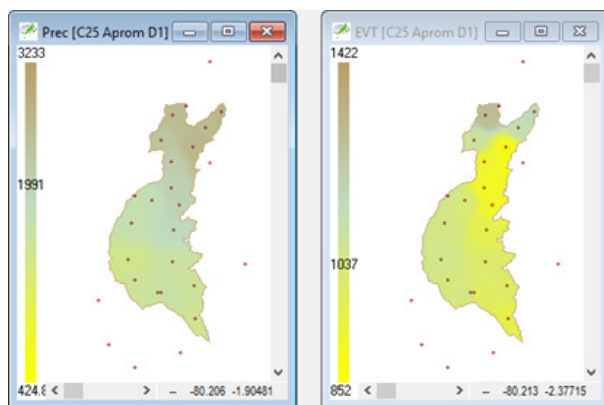


Figura 3. Comportamiento de la suma de precipitaciones y de la evapotranspiración anual en cuatro períodos de crecimiento del cultivo del Maíz (*Zea mays*).

Figure 3. Spatial distribution of the mean annual precipitations and evapotranspiration during the observed and projected periods.

En el período de siembra considerado, las sumas de precipitaciones resultaron en ascenso progresivo entre un mínimo en el mes de septiembre, con un rango entre 156 y 823 mm y una media de 446 mm, y un valor máximo en el mes de diciembre, con un rango entre 200 y 2151 mm, para una media de 1556 mm. En la Tabla 1 se muestran los valores resultantes en cada uno de los períodos de crecimiento del maíz.

Tabla 1. Suma de precipitaciones promedios en el período de crecimiento del maíz.

Table 1. Accumulative precipitation maximum, mean and minimum during the observed and projected periods.

Períodos de siembra	Suma máxima de precipitaciones (mm)	Suma media de precipitaciones (mm)	Suma mínima de precipitaciones (mm)
Sep - Dic	823.1	446	156.6
Oct - Ene	1249	810	186.5
Nov - Feb	1700	1209	195.5
Dic - Mar	2151	1556	200.5

En la Tabla 1 se refleja que los valores de las precipitaciones tienden a tener una distribución que favorece a los valores altos, lo que se manifiesta en los valores medios que tienden hacia los máximos en cada uno de los rangos expuestos. Se deriva de los valores de la Tabla 1 que existe un marcado aumento de la cantidad de precipitaciones disponibles. Las condiciones de septiembre pueden ser de marcada escasez, en comparación con las condiciones de diciembre, que pueden resultar excesivas si se desarrolla sobre suelos pesados y de poco drenaje.

En el análisis del comportamiento de la suma de precipitaciones, resulta importante reconocer como se establece su distribución en el espacio, lo que permite identificar las áreas con condiciones afines a los requerimientos del cultivo del Maíz.

La siembra de septiembre determina que la suma de precipitaciones alcance sumas menores de 500 mm en más del 60% del territorio, en el período de crecimiento del cultivo. Estas condiciones se localizan hacia el Sur de la provincia, por debajo de las estaciones de Balzar y Pichilingue.

La siembra de octubre logra mejores condiciones, en comparación con el mes anterior, Esta condición de mejoría se repetirá hasta el mes de diciembre de forma sistemática. En esta ocasión, la suma de precipitaciones supera los 600 mm en todo el territorio, alcanzando en las zonas hacia el Norte sumas superiores a los 1200 mm, las que se localizan por encima de la estación de Pichilingue, alcanzando los valores mayores en la estación Puerto Illa.

La siembra de noviembre alcanza sumas superiores a 950 mm en todo el territorio objeto de estudio, donde más del 40 % de espacio alcanza sumas de precipitaciones en el período de crecimiento del maíz superiores a 1200 mm. Estas condiciones sitúan a este mes de siembra en una posición privilegiada en cuanto a su potencialidad para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo del Maíz (Figura 4).

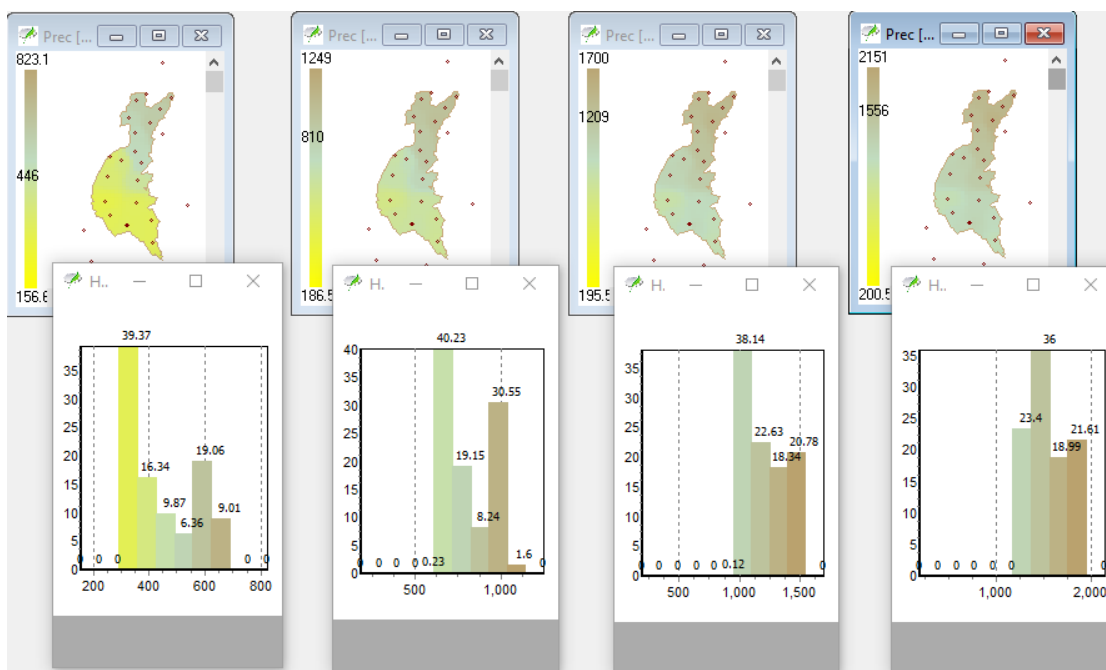


Figura 4. Distribución espacial y temporal de la suma de precipitaciones promedio, en el período de crecimiento del maíz para las siembras de septiembre, octubre, noviembre y diciembre y su distribución porcentual en el territorio.

Figure 4. Temporal and spatial distribution of the Mean Accumulative Precipitation (Prec) during the observed and projected periods. Frequency histograms (X-axis: annual Prec. mm); Y-axis: observed frequency (%)).

La siembra de diciembre es la mejor en cuanto a las mayores sumas de precipitaciones, las que pueden resultar perjudiciales por rebasar umbrales de riesgo. La suma de precipitaciones resulta superior a 1250 mm para todo el territorio. En ocasiones estas condiciones pueden resultar de alto riesgo por exceso, por lo que hay que seleccionar zonas con suelos ligeros y de buen drenaje, que impidan el anegamiento de las aguas por lluvias excesivas.

Comportamiento de la suma de la evapotranspiración del cultivo del Maíz (*Zea mays*) en cuatro períodos de crecimiento.

La evapotranspiración tiene un comportamiento similar en los cuatro períodos de siembra, lo que está fuer-

temente influenciado por la temperatura del aire que es determinante en estas condiciones geográficas, la que se mantiene sin fuertes desviaciones durante el año (Tabla 2).

La diferencia mayor en la evapotranspiración alcanza los 32 mm entre el mes de septiembre y el de diciembre, lo cual es reflejo de la pobre variación (Figura 4). Las mayores tasas de evapotranspiración se localizan hacia el Norte de la provincia, alcanzando su mayor valor a la altura latitudinal de Puerto Illa. La distribución de la evapotranspiración tiende hacia los menores valores, lo que se manifiesta en la media que se aproxima, en todos los casos hacia los mínimos (Figura 5).

Tabla 2. Suma de la evapotranspiración promedio en el período de crecimiento del Maíz.

Table 2. Accumulative evapotranspiration maximum, mean and minimum during the observed and projected periods.

Períodos de siembra	Suma máxima de la evapotranspiración de cultivo (mm)	Suma media de la evapotranspiración de cultivo (mm)	Suma mínima de la evapotranspiración de cultivo (mm)
Sep - Dic	559,2	461	375
Oct - Ene	606	452	365
Nov - Feb	617,8	444	356,1
Dic - Mar	631,4	439	352

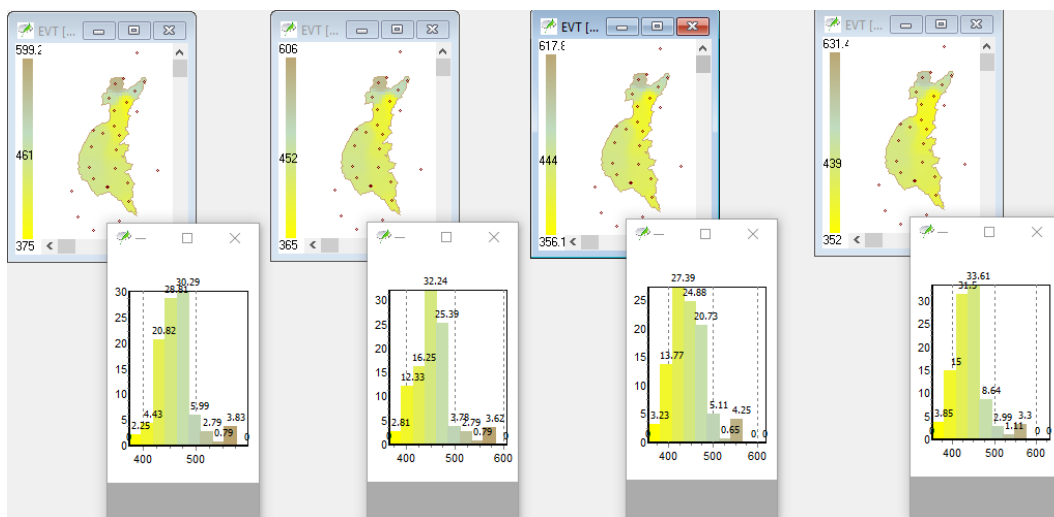


Figura 5. Distribución temporal y espacial de la suma de la evapotranspiración promedio del cultivo del Maíz (*Zea mays*), para las siembras de septiembre, octubre, noviembre y diciembre y su distribución porcentual en el territorio.

Figure 5. Temporal and spatial distribution of the Mean Accumulative Evapotranspiration (ET₀) during the observed and projected periods. Frequency histograms (X-axis: annual ET₀ mm; Y-axis: observed frequency (%)).

CONCLUSIONES

La suma de precipitaciones tiende al aumento sistemático desde la siembra de septiembre hasta la de diciembre, resultando en diferencias que pueden alcanzar más de 1000 mm, lo que puede ser determinante en el éxito agroproductivo. Las épocas de siembra con las mejores condiciones son las de octubre, noviembre y diciembre, considerando en esta última el riesgo de que sean excesivas en algunos años. Es importante considerar el porcentaje de las áreas que se pueden beneficiar o perjudicar en las diferentes épocas de siembra con el comportamiento de la suma de precipitaciones, lo que es concluyente en los resultados que se alcancen en la cosecha global en la provincia. Los resultados alcanzados en la evapotranspiración del cultivo del Maíz indican, que no existen diferencias entre las épocas de siembra analizadas, lo que le da el total protagonismo a la suma de precipitaciones en cuanto a los resultados agroproductivos a alcanzar.

REFERENCIAS

- Challinor, A.J.; Slingo, J.M.; Wheler, T.R.; Craufurd, P.Q.; and Grimes, D.I. 2003. Toward a combined seasonal weather and crop productivity forecasting system: determination of the working spatial scale. *J. Appl. Meteorol.* 42, 175-192.
- Frere, M. and G. F. Popov. 1986. Early agrometeorological crop yield assessment. *Plant Production and Protection*. Paper N. 73. FAO, Rome. 150 p.
- González, C.A., Moutahir, H., Herrera, M., Zayas, L., Touhami, I. and Bellot, J.F. (2012) *Agroclim-Map*, a GIS Application for Agroclimatic Systems Analysis. *Proceedings of the International Conference of GIS Users, Taza GIS- Days, Morocco*, 23-24 May 2012, 491-493.
- Hammer, G. I.; Hansen, J.W.; Phillips, J.G.; Mjelde, J.W.; Hill, H.; Love A. and Potgieter, A. 2001. Advances in application of climate prediction in agriculture. *Agric. Syst.* 70, 515-553.

- Hansen, J. W. 2002. Realising the potential benefits on climatic prediction to agriculture: issues, approaches, challenges. *Agric. Syst.* 74, 309-330.
- Herrera, M. y González, C. (2007) *AgroClim: Un software para la ciencia y la docencia*. Premio Relevante en Fórum Provincial, Ciudad Habana, Cuba.
- Herrera, M.; Moutahir, H.; González, C.; Chirino, E.; Bellot, J. 2015. Assessing the Crop Growing Period According to the Climate Change Forecasts for Marina Baixa (SE Spain). *Agricultural Sciences*, 2015, 6, 1079-1088 Published Online September 2015 in *SciRes*. <http://www.scirp.org/journal/as> <http://dx.doi.org/10.4236/as.2015.69103>.
- Herrera, M.S. (2000) *Contribución metodológica a la zonificación agroclimática de la caña de azúcar: Caracterización agroclimática de las áreas cañeras de la provincia La Habana*. *Disertación PhD, Universidad Agraria de la Habana, La Habana*.
- Mberego, Seth and Sanga-Ngole, Kazadi (2014). Using locally captured climatic information for guiding local-level agriculturalists in Africa: a case study of Makonde district in Zimbabwe. *Journal of land use science* 2014 v.9 no.2 pp. 178-194.
- Naylor, R., Battisti, D., Vimont, D., Falcon, W., Burke, M. 2007. Assessing risks of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2007 v.104 no.19 pp. 7752-7757.
- Stigter, C.J. 2002. Opportunities to improve the use of climate forecasts. & (ii) Climate related extreme events: adaptation options. *Asian Climate Training Workshop on "Climate Information Applications"*, Asian Disaster Preparedness Center (ADPC), Bangkok, Thailand, Bullet points + 18 + 20 pp., available on CD-ROM.
- Stigter, C.J. 2008. A contemporary history of a new approach to applied agrometeorology. *Agromet Vision and INSAM*.