



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Agronomía
Postgrado en Agronomía
Programa de Modelos Agroambientales



Evaluación del efecto del cambio climático sobre cultivos anuales en Venezuela (Resumen ejecutivo)

Marelia Puche

Oscar Silva

Rosemary Warnock

Maracay Julio de 2004

Evaluación del efecto del cambio climático sobre cultivos anuales en Venezuela.

Resumen ejecutivo

Marelia Puche

Ph. D. Universidad de Reading. UK.
Instituto de Ingeniería Agrícola. Facultad de Agronomía.
Universidad Central de Venezuela. puchem@agr.ucv.ve

Oscar Silva

M. Sc. en Ciencia del Suelo. UCV.
Instituto de Agronomía. Facultad de Agronomía.
Universidad Central de Venezuela. silvao@agr.ucv.ve

Rosemary Warnock

Doctora en Ciencias Agrícolas. UCV.
Instituto de Agronomía. Facultad de Agronomía.
Universidad Central de Venezuela. warnockr@agr.ucv.ve

Colaboradores:

María T. Martelo

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales.
Caracas, Venezuela.

Víctor García

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales.
Caracas, Venezuela.

Evelyn Cabrera

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas
Centro nacional de Investigaciones Agropecuarias.
Maracay, Venezuela.

Luis Alvarez

Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora.
Guanare, Venezuela.

Tabla de contenido

1.	Introducción	6
2.	Metodología.....	6
2.1.	Cultivos y localidades.	6
2.2.	Caracterización comparada de las localidades en estudio.....	7
2.2.1.	Clima.....	7
2.2.2.	Geomorfología	8
2.2.3.	Uso de la tierra	8
2.2.4.	Suelos.....	9
2.3.	Información climática actual y modelos de cambio climático empleados.....	9
2.4.	Procesamiento de información para los modelos DSSAT.....	10
2.4.1.	Información Climática actual y futura.....	10
2.4.2.	Información de suelos.....	11
2.4.3.	Información de cultivo y manejo	12
2.5.	Tratamientos de simulación.....	13
3.	Resultados y discusión.....	14
3.1.	Descripción del clima durante el ciclo de los cultivos para las condiciones actuales y futuras.	14
3.2.	Variables relacionadas con el cultivo.....	14
3.2.1.	Rendimientos simulados.....	14
3.2.2.	Longitud de Ciclo Cultivo.	17
3.2.3.	Variables relacionadas con agua.....	18
3.3.	Posible impacto en la producción nacional	19
4.	Conclusiones	20
5.	Referencias Bibliográficas	21

Índice de cuadros

Cuadro 1. Características generales de las localidades seleccionadas para la evaluación del impacto del cambio climático en el sector agrícola.	7
Cuadro 2. Zonas de Vida y promedios anuales de precipitación.	8
Cuadro 3. Clasificación geomorfológica de las localidades en estudio (terminología de Zinck, 1988).	8
Cuadro 4. Características generales de los suelos empleados en las simulaciones según localidad y cultivo.	11
Cuadro 5. Origen de los valores de suelo empleados en las simulaciones.	12
Cuadro 6. Detalles del manejo utilizado para cada cultivo.	13
Cuadro 7. Tratamientos de simulación para los lapsos actual, 2020, 2040 y 2060.	13
Cuadro 8. Reducciones en los rendimientos de los cultivos para los periodos 2020 y 2060 con relación al período actual.	15
Cuadro 9. Reducciones en la longitud del ciclo de los cultivos para los periodos 2020 y 2060 con relación al período actual.	17
Cuadro 10. Variaciones en las variables relacionadas con el uso del agua de los cultivos para los periodos 2020 y 2060 con relación al período actual.	19
Cuadro 11. Estimación de las reducciones en los rendimientos y producción según las estadísticas nacionales y las predicciones para el 2020.	20

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación espacial de las localidades seleccionadas para la evaluación del impacto del cambio climático en el sector agrícola.....	7
Figura 2. Rendimientos de maíz promedio y valores asociados a los percentiles 25 y 75 en los escenarios actual y futuros en la localidad Calabozo.....	16
Figura 3. Rendimientos de caraota promedio y valores asociados a los percentiles 25 y 75 en los escenarios actual y futuros en la localidad Santa Cruz	16
Figura 4. Rendimientos promedio de arroz y valores asociados a los percentiles 25 y 75 en los escenarios actual y futuros en la localidad Calabozo.....	17

1. Introducción.

Desde hace algunos años la comunidad internacional ha expresado su preocupación por la alteración de los ritmos climáticos naturales a nivel del planeta y las desiguales repercusiones espaciales de este fenómeno sobre la seguridad alimentaria de los pueblos, la competitividad entre rubros agrícolas, el uso eficiente y sostenible de recursos agro-ambientales y los conflictos de uso de agua. El análisis y evaluación de escenarios futuros, aun cuando implique cierto grado de incertidumbre y error, imposible de eliminar por completo en situaciones de naturaleza hipotética, permitiría una detección temprana y oportuna de temas clave y prioritarios para concentrar los esfuerzos de investigación, adaptación y mitigación.

En el presente estudio se realiza una evaluación del impacto de cambio climático sobre la agricultura venezolana, a través del análisis de la respuesta simulada de cultivos seleccionados a condiciones climáticas futuras, según dos modelos de circulación general de la atmósfera.

2. Metodología

La respuesta de diversos cultivos en varios escenarios de clima (actual y futuros) fue evaluada con los modelos del programa DSSAT (Decisión Support System for Agrotechnology Transfer) (Tsuji *et al.*, 1994) en cuatro localidades agrícolas de Venezuela. Para ello, se cumplieron las siguientes fases:

- Selección de cultivos y localidades.
- Obtención de información climática actual.
- Generación de la información climática futura.
- Aplicación de los modelos DSSAT a las diversas localidades, con cultivos y manejo representativos en los escenarios climáticos actual y futuros.

2.1. Cultivos y localidades.

Tres cultivos son primordiales en la agricultura venezolana por su importancia socio-económica y/o nutricional: maíz, caraota y arroz. El programa DSSAT contiene modelos de simulación para dichos cultivos, los cuales han sido utilizados satisfactoriamente en trabajos relacionados con el efecto del cambio climático global (Rosenzweig e Iglesias, 1998) y han sido calibrados y empleados por un grupo de investigadores nacionales (Álvarez, 2003; Comerma, 1985; Warnock, 1999).

Se seleccionaron las localidades El Tigre, Santa Cruz, Turén y Calabozo según una combinación de los siguientes criterios: a) la importancia agrícola de la zona para los cultivos seleccionados, b) la existencia de información básica climática, de suelos y cultivo, y c) la distribución sobre las diferentes grillas de 5° x 5° . En la Figura 1 se muestran las estaciones y su ubicación espacial y en el Cuadro 1 se resumen las características generales de las localidades seleccionadas. Aunque Turén se encuentra en la grilla 5, su comportamiento climático se ve muy influido por su cercanía al piedemonte, por ello se consideró que los valores de grilla 4 representarían mejor sus tasas de cambio.

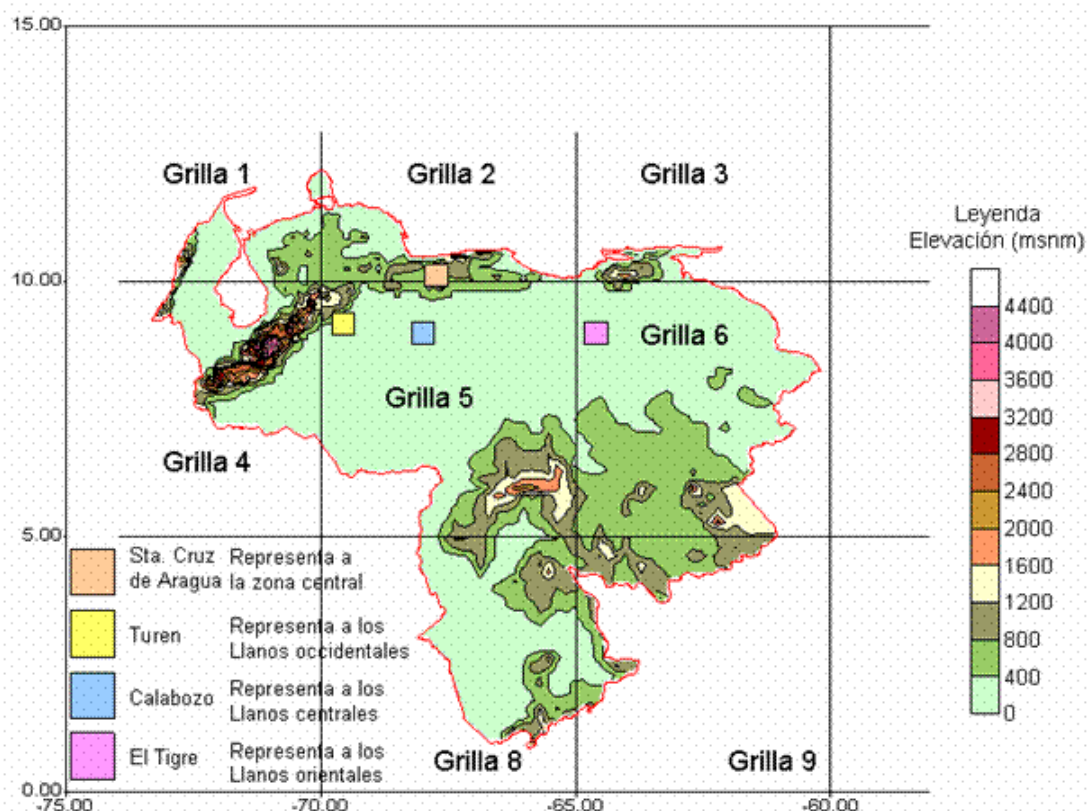


Figura 1. Ubicación espacial de las localidades seleccionadas para la evaluación del impacto del cambio climático en el sector agrícola.

Cuadro 1. Características generales de las localidades seleccionadas para la evaluación del impacto del cambio climático en el sector agrícola.

Localidad	Estado	Estación Climatológica	Serial	Latitud	Longitud	Altura (msnm)	Grilla
El Tigre	Anzoátegui	El Tigre-CIA-Guanipa	3715	8°52'	64°13'	265	6
Santa Cruz	Aragua	Santa Cruz Edafológica	0417	10°10'	67°29'	444	2
Calabozo	Guárico	Biológica de Los Llanos	3400	8°53'	67°19'	86	5
Turén	Portuguesa	Colonia Turén IAN	2277	9°15'	69°06'	275	4

2.2. Caracterización comparada de las localidades en estudio.

2.2.1. Clima.

La Zona de Vida de todas las localidades es de Bosque Seco Tropical Subhúmedo, aunque Santa Cruz y El Tigre, debido a los montos de precipitación, muy cercanos a 1000 mm/año, deben considerarse como de transición con Bosque Muy Seco (Cuadro 2). Presentan distribución estacional de las lluvias y tienen una época seca bien definida, que en general, se ubica entre diciembre y marzo. Tienen temperaturas medias alrededor de 27°C, con fluctuaciones estacionales inferiores a 3°C. Las temperaturas máximas promedio se encuentran alrededor de 31°C y las mínimas de 21°C. Las oscilaciones diarias son cercanas a 10°C. La

insolación en las diversas localidades alcanza máximos entre 7 y 9 horas (Febrero – Marzo) y mínimos entre 5 y 6 horas (Mayo – Junio).

Cuadro 2. Zonas de Vida y promedios anuales de precipitación.

Localidad	Zona de Vida	Precipitación (mm)
El Tigre	Bosque Muy Seco a Bosque Seco Tropical Subhúmedo	1040.3
Santa Cruz	Bosque Muy Seco a Bosque Seco Tropical Subhúmedo	975.5
Calabozo	Bosque Seco Tropical Subhúmedo	1242.9
Turén	Bosque Seco Tropical Subhúmedo	1279.7

2.2.2. Geomorfología.

El Tigre, Calabozo y Turén se ubican en grandes cuencas sedimentarias con fisiografía de Llano, es decir, grandes extensiones planas o ligeramente onduladas. Respectivamente, representan las condiciones de los Llanos Orientales, Centrales y Occidentales del país. Santa Cruz, en paisaje de planicie, a diferencia de las otras tres localidades, se ubica en la Serranía del Interior del Sistema de la Costa, una región de cordillera sinclinal (Zinck, 1988) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Clasificación geomorfológica de las localidades en estudio (terminología de Zinck, 1988).

Localidad	Tipo de estructura geológica	Provincia fisiográfica	Región Natural	Subregión Natural	Tipo de Paisaje
El Tigre	Cuenca Sedimentaria	Llanos	Llanos Orientales	Mesas Orientales	Altiplanicie
Calabozo			Llanos Centrales	Llanos Altos	Planicie
Turén			Llanos Occidentales	Llanos Altos	Planicie
Santa Cruz	Cordilleras geosinclinales	Sistema de la Costa	Tramo Central	Serranía del Interior	Planicie

2.2.3. Uso de la tierra.

En las cuatro localidades estudiadas se ubican cultivos anuales mecanizados, con alta aplicación de fertilizantes y plaguicidas.

El Tigre: rubros agrícolas históricamente transitorios, con riego por aspersión (pivote central) e intensas aplicaciones de fertilizantes. Actualmente se encuentran sorgo (para semilla) maíz, caraota y patilla (todos bajo riego) y ganadería de doble propósito (pastos naturales e introducidos, con o sin riego) (Silva, 1996 a y b).

Santa Cruz: debido a la buena calidad de sus suelos y favorables condiciones climáticas, puede encontrarse una gran variedad de cultivos mecanizados, como maíz, caraota y hortalizas en general. Además, se encuentra una variedad de frutales sin carácter comercial (XIII CVCS, 1995).

Calabozo: arroz bajo riego de inundación; y en escalas menores, maíz, sorgo y leguminosas; ganadería de doble propósito asociada al cultivo del sorgo (Mireles y Escobar, 1993).

Turén: arroz bajo riego en monocultivo; maíz de secano, en monocultivo o en rotación con leguminosas u oleaginosas; ganadería de doble propósito (Comerma *et al.*, 1988; Rojas, 1981; Zoppi, 2002)).

2.2.4. Suelos.

El Tigre: suelos profundos, arenosos y arenofrancos en superficie. Generalmente presentan incremento de arcilla a lo largo del perfil, como los Kandistults (localmente de los subgrupos Typic y Arenic). También se encuentran suelos arenosos en todo el perfil (Ustipsamments). Los suelos son pobres en disponibilidad y retención de nutrimentos, de acidez moderada y alta, de baja materia orgánica y pobre estructura (Comerma y Chirinos, 1977; Luque y Avilán, 1976; Luque y Tenías, 1974; Silva, 1999).

Santa Cruz: suelos profundos, con texturas francas (en sus variaciones arenosas, limosas y arcillosas), alto contenido de materia orgánica, alto contenido y capacidad de retención de nutrimentos, reacción neutra y alcalina y bien estructurados. Se clasifican como Ustropepts, Haplustolls (ambos con subgrupos Typic y Fluventic) y Argiustolls (subgrupo Typic) (Wagner *et al.*, 1988; XIII CVCS, 1995).

Calabozo: los suelos de mayor importancia económica están ubicados en el Sistema de Riego del Río Guárico y del Valle de río Tiznados. En general, son de textura arcillosa (más de 45% de arcilla) en todo el perfil, compuestos de arcillas expansibles. Se clasifican como Entic Chromusterts, generalmente en las familias texturales muy finas (Barrios y Adams, 1996; Useche *et al.*, 1976). En posiciones más altas, se encuentran suelos con menor contenido de arcilla, de texturas franco arcillosas (Mireles y Barrios, 1991). Son ligeros y moderadamente ácidos en superficie con incrementos de pH en profundidad, la materia orgánica tiene niveles de medios a altos, con fósforo y calcio altos, nitrógeno bajo y buena capacidad de retención de nutrimentos.

Turén: suelos de textura variable según la forma de terreno, francas en los bancos altos (Fluvaquentic Ustropepts; Fluventic Haplustolls), franca a franco-arcillo-limosa en las napas altas (Fluvaquentic Ustropepts), franco-arcillo-limosa en las napas bajas (Aquic Ustifluvents) y arcillo-limosas a arcillosas en las cubetas (Vertic Tropaquepts). Por lo general tienen alto contenido de limo, lo que los hace susceptibles a la formación de costras, sellado y compactación. Contenido y retención de nutrimentos bajos y medios, materia orgánica media a alta, variable dentro del perfil y reacción neutra a ácida (en los bancos y napas) y alcalina (en las cubetas) (Comerma *et al.*, 1988; Cano *et al.*, 1974; Rosales, 1972).

2.3. Información climática actual y modelos de cambio climático empleados.

Los datos climáticos actuales usados en el trabajo fueron suministrados por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN).

En cuanto a condiciones climáticas futuras, se utilizaron las condiciones de precipitación y temperatura predichas por dos modelos de circulación general de la atmósfera seleccionados a

partir de evaluaciones previas del MARN de un grupo de dieciséis, en tres escenarios climáticos (Pesimista, Intermedio y Optimista).

Los dos modelos empleados fueron el británico (**UKTR**) y el canadiense (**CCC-EQ**), aplicados en el escenario climático intermedio (escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero SRES-A2 y sensibilidad media de 2,5°C). En términos generales, estos modelos predicen incrementos de la temperatura promedio y disminución de la precipitación con relación a la situación actual.

A lo largo del texto se referirá como “modelo de cambio climático” a la aplicación de un modelo de circulación general de la atmósfera en un escenario climático dado, en este caso, el intermedio. Con ello, se simulan los valores promedio de precipitación y temperatura media para lapsos de 30 años en grillas de superficie 5° x 5°. (Figura 1).

Los lapsos escogidos por el MARN fueron:

Lapso 2005-2035	Referenciado en adelante por su punto medio, 2020
Lapso 2025-2055	Referenciado en adelante por su punto medio, 2040
Lapso 2045-2075	Referenciado en adelante por su punto medio, 2060.

2.4. Procesamiento de información para los modelos DSSAT.

2.4.1. Información Climática actual y futura.

Escenario actual.

Se emplearon valores de precipitación, radiación global, temperatura máxima y mínima de 20 años de registros diarios del periodo 1971-1990. En Turén, debido a la escasez de datos de radiación, se utilizaron nueve años de registro de la estación Araure. En todas las localidades, los registros de precipitación presentaron una mínima cantidad de datos faltantes. La radiación global, temperatura máxima y temperatura mínima presentaron porcentajes mayores (entre 10 y 40%). Para completar las series, se utilizó el generador de datos WGEN de DSSAT (Richardson y Wright, 1984).

Escenarios futuros.

Se generaron seis nuevas series de datos diarios, con longitud de 20 años cada una, correspondientes a los tres lapsos futuros (2020, 2040 y 2060) para cada uno de los dos modelos de cambio climático (UKTR y CCC-EQ). Se consideraron cambios en la precipitación y temperatura, pero no en la concentración de CO₂ ni en la radiación.

En el caso de la precipitación se aplicó la tasa de cambio predicha por los modelos climáticos a cada uno de los días para los 20 años de registro.

Para convertir el cambio en la temperatura media (ΔT_{med}) estimado por los modelos de cambio climático en valores diarios de temperaturas máximas y mínimas, se aplicaron proporciones a los valores actuales. Para ello, se asumió que el incremento de la temperatura mínima ($\Delta T_{mín}$) es el doble que el de la máxima ($\Delta T_{máx}$) (IPCC, 2001):

$$\Delta T_{\min} = 2\Delta T_{\max};$$

$$T_{\text{med}} = (T_{\max} + T_{\min})/2;$$

Por lo tanto, queda:

$$\Delta T_{\max} = 0,666 \Delta T_{\text{med}}$$

$$\Delta T_{\min} = 1,333 \Delta T_{\text{med}}.$$

2.4.2. Información de suelos.

La información de suelos empleada representa a perfiles típicos de los sitios de estudio. La información de los suelos de Turén, Calabozo y Santa Cruz fue obtenida de la base de datos de suelo de FONAIAP (En formato SCS-NSSL). La información de El Tigre necesaria para DSSAT se compiló complementariamente de dos fuentes: Caraballo (1990) y FONAIAP (1995).

En el Cuadro 4 se muestran las características generales de cada suelo. En todos los casos, se consideró que la información de suelo disponible fue adecuada, en calidad y cantidad, para: a) ser empleada eficazmente por DSSAT para el balance hídrico y b) representar la variabilidad vertical del suelo en tanto ésta afecta el desarrollo de las plantas. En el Cuadro 5 se muestra el origen de los valores de suelo empleados.

Cuadro 4. Características generales de los suelos empleados en las simulaciones según localidad y cultivo.

Localidad/cultivo	El Tigre	Santa Cruz	Calabozo		Turén
	Caraota y maíz	Caraota y maíz	Maíz	Arroz	Maíz
Clasificación	Typic Kandistult	Fluventic Ustropepts limosa fina	No disponible		Fluventic Haplustoll francosa gruesa, sílcea
Textura	a/FAa/Aa	(F-FA)/FAL	FA/A	A	Fa/FL
Profundidad de descripción (cm)	200	215	150	150	200
Número de Capas	7	7	4	4	6

Cuadro 5. Origen de los valores de suelo empleados en las simulaciones.

Valores	Origen de la información
Densidad aparente	Obtenido de registros.
Carbono Orgánico	
Arcilla	
Limo	
Esqueleto grueso	
pH	
Límites de humedad	Estimada por DSSAT según la información granulométrica y densidad aparente.
Conductividad hidráulica	
Capacidad de Intercambio de Cationes	No requerido para las simulaciones (no se consideraron limitaciones de nutrimentos).
Nitrógeno	

2.4.3. Información de cultivo y manejo.

Los cultivos seleccionados fueron maíz (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) y caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) porque representan la base del suministro de carbohidratos y proteínas del venezolano y se cuenta con experiencias de calibración para variedades locales utilizando los programas de DSSAT.

Los parámetros fisiológicos requeridos por DSSAT para cada cultivo fueron obtenidos de investigaciones previas realizadas en Venezuela (Álvarez, 2003; Comerma, 1985; Warnock, 1999). Las variedades o híbridos para las evaluaciones fueron seleccionados de acuerdo a la existencia de información nacional sobre sus parámetros fisiológicos y su uso en las localidades de estudio (Cuadro 6).

En general se estableció un manejo agronómico típico para cada localidad, con relación a fechas de siembra, densidades de siembra y prácticas de riego.

Para maíz y caraota, se empleó riego automático al alcanzar el umbral de agotamiento de 50%, hasta reponer la humedad al 100%, aplicado a una profundidad de 30 cm, con una eficiencia de 1. Para arroz se empleó riego complementario (40 mm en 4 aplicaciones).

En ningún caso se consideraron limitaciones por fertilidad de suelos y plagas.

Cuadro 6. Detalles del manejo utilizado para cada cultivo.

Cultivo	Cultivar	Densidad
Maíz	PB-8	5.6 pl/m ²
Caraota	Montalbán, Ecotipo Mesoamericano indeterminado.	30 pl/m ²
Arroz	FONAIAP 1	160 kg/ha

2.5. Tratamientos de simulación.

A partir de la combinación de datos climáticos, de suelos, cultivo y de manejo preponderante en cada localidad, se consideraron los tratamientos de simulación resumidos en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Tratamientos de simulación para los lapsos actual, 2020, 2040 y 2060.

Localidad	Cultivo	Manejo	
		Fecha de siembra	Agua
El Tigre	Maíz	15 de Junio	Con riego
	Caraota	15 de Enero	Con riego
Santa Cruz	Maíz	15 de Junio	Sin riego
	Caraota	11 de Septiembre	Sin riego
Calabozo	Maíz	15 de Mayo	Sin riego
	Arroz	1 de Mayo	Riego complementario
Turén	Maíz	15 de Mayo	Sin riego
	Arroz	1 de Mayo	Riego complementario

3. Resultados y discusión.

3.1. Descripción del clima durante el ciclo de los cultivos para las condiciones actuales y futuras.

En general se obtuvo que, con la excepción del CCC-EQ en Santa Cruz, las estimaciones de las condiciones futuras serán de menor precipitación durante el ciclo de los cultivos. Además, ambos modelos en todas las localidades, estimaron temperaturas máximas y mínimas más elevadas y oscilaciones térmicas diarias más pequeñas. En ambos modelos las variaciones se incrementaron desde el 2020 hasta el 2060. En la mayor parte de los casos, UKTR predijo mayores variaciones en la precipitación y las temperaturas que CCC-EQ.

En todas las localidades, durante el ciclo de los cultivos, la precipitación se reduce entre 2 y 46 mm en el período 2020 y entre 4 y 131 mm para el período 2060. Las mayores disminuciones se presentaron para maíz en El Tigre y Calabozo con el empleo de UKTR. Contrariamente, Santa Cruz, con el empleo de CCC-EQ constituye una excepción, pues la precipitación aumentaría entre 12 y 24 mm en el período 2020 y entre 21 y 30 mm en el período 2060.

En cuanto a temperatura máxima, los incrementos durante el ciclo de los cultivos se encuentran alrededor de 0.4°C para el período 2020, y 1°C para el 2060. Las variaciones de la temperatura mínima son mayores que las de las máximas. En el período 2020 aumentan entre 0.5 y 1.1°C. En el 2060 aumentarían entre 1.5 y 3°C. Como consecuencia de estas variaciones, se reduce la oscilación térmica diaria, entre 0.2 y 0.5°C para el período 2020 y 0.7 y 1.2°C para el 2060.

3.2. Variables relacionadas con el cultivo.

3.2.1. Rendimientos simulados.

Para maíz y caraota, las simulaciones en las condiciones actuales arrojaron valores de rendimiento aceptablemente ajustados a los valores reales para cada una de las localidades, lo cual es indicativo del buen funcionamiento de los modelos de DSSAT.

En cuanto a maíz, los rendimientos simulados concuerdan con los obtenidos en ensayos experimentales en condiciones de secano con aplicación de fertilizantes y con los valores considerados como rendimiento alto por los productores del área (Cabrera *et al.*, 1997; Godoi *et al.*, 1996; MAC, 1979; Marcano *et al.*, 1995; Zoppi, 2002).

En el caso de caraota, los rendimientos actuales predichos se aproximan a los obtenidos en ensayos de investigación y considerados buenos por productores empresariales (Barrios y Rojas, 1996; Benacchio, 1975; Díaz *et al.*, 2000; García, 1996; Guerra y Landaeta, 1996; Valenzuela, 2002; Warnock, 1999).

En Venezuela se han efectuado evaluaciones de los modelos de caraota y arroz que concluyen sobre el adecuado funcionamiento de los mismos (Álvarez, 2003; Warnock, 1999).

Los tres cultivos mostraron una tendencia similar a lo largo de las condiciones futuras predichas por los dos modelos climáticos, en general, los rendimientos mostraron una tendencia decreciente, con mayor expresión en las condiciones climáticas predichas por UKTR (Cuadro 8). Los modelos no presentaron variaciones significativas en el índice de cosecha, y éste se mantuvo alrededor de 0.3 en maíz de 0.4 en caraota y 0.5 en arroz.

Cuadro 8. Reducciones en los rendimientos de los cultivos para los períodos 2020 y 2060 con relación al período actual.

	2020	2060
Maíz:	2.3 a 4.4 %	6.2 a 12.0 %
Caraota:	2.2 a 13.4%	8.7 a 43.2%
Arroz:	4.4 a 3.1%	11.8 a 7.6%

Las reducciones de rendimiento ocurren independientemente de incrementos o disminuciones en la precipitación. En contraste, en todas las localidades existe correspondencia entre las reducciones de rendimientos y los incrementos de temperatura máxima y mínima. De ello, puede inferirse que las reducciones en los rendimientos de los cultivos se deben a los incrementos en temperatura. Comparando con las condiciones actuales, se obtuvieron los siguientes intervalos en la reducción de los rendimientos:

Destaca que la sensibilidad de los cultivos ante cambios en el clima fue diversa según la localidad y los modelos climáticos. Para maíz con CCC-EQ, las variaciones de rendimiento entre localidades fueron más homogéneas que con UKTR. Para caraota, las variaciones porcentuales entre localidades son mayores: en El Tigre, de acuerdo a los dos modelos y lapsos de tiempo, habrá mayor impacto de los cambios climáticos que en Santa Cruz. Para el arroz, Turén, con rendimientos actuales ligeramente menores que los de Calabozo, presenta reducciones de rendimientos ligeramente mayores.

La variabilidad interanual de los rendimientos puede ser evidenciada mediante el valor de la diferencia entre los rendimientos asociados a las probabilidades 75% y 25%. Estos valores no muestran una tendencia general para cultivos, modelos climáticos y localidades. Para maíz, con CCC-EQ, en Santa Cruz y El Tigre se aprecia, una tendencia hacia la disminución de la variabilidad interanual de los rendimientos, es decir, en los escenarios futuros se obtuvieron rendimientos ligeramente más estables, aunque más bajos, que en la actualidad. No obstante con UKTR sólo se aprecia esta tendencia en Calabozo hasta el 2040 y en Santa Cruz y Turén, hasta el 2020. A manera de ejemplo se muestra Calabozo (Figura 2). En caraota, al contrario que en maíz, con UKTR se observan incrementos en la variabilidad de los rendimientos en ambas localidades y con CCC-EQ sólo en el Tigre. En Santa Cruz con CCC-EQ se mantienen variaciones interanuales similares a las actuales (Figura 3). Para arroz, los modelos discrepan claramente sobre el comportamiento de la variabilidad interanual de los rendimientos futuros. Como ejemplo se muestra el caso de Calabozo, en la Figura 4, donde se observa que según UKTR, los rendimientos se hacen más estables, mientras que con CCC-EQ la variabilidad aumenta ligeramente.

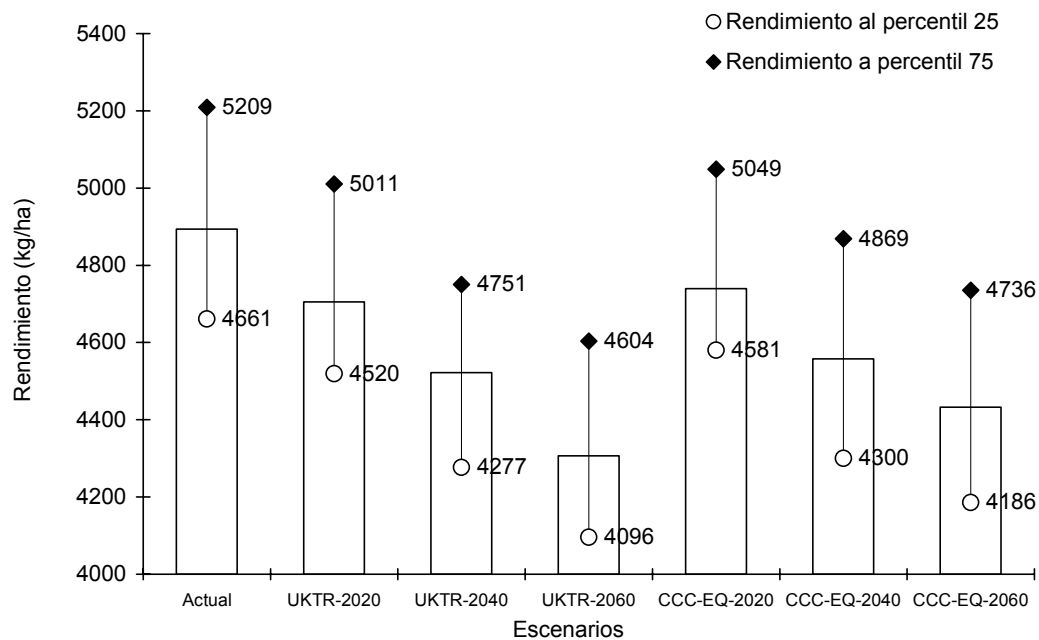


Figura 2. Rendimientos de maíz promedio y valores asociados a los percentiles 25 y 75 en los escenarios actual y futuros en la localidad Calabozo.

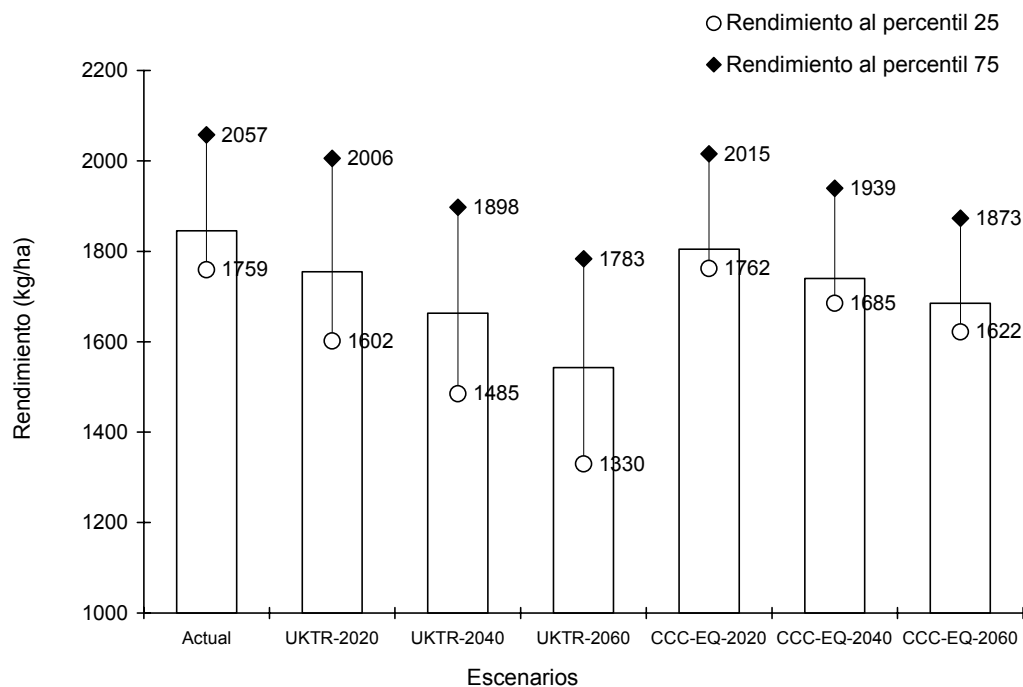


Figura 3. Rendimientos de caraota promedio y valores asociados a los percentiles 25 y 75 en los escenarios actual y futuros en la localidad Santa Cruz.

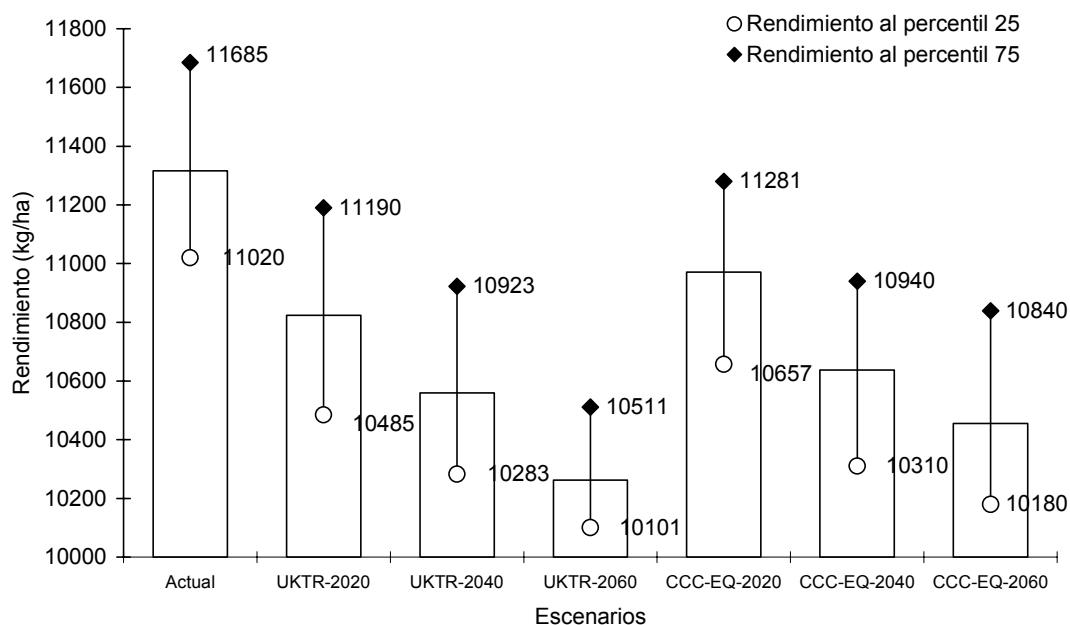


Figura 4. Rendimientos promedio de arroz y valores asociados a los percentiles 25 y 75 en los escenarios actual y futuros en la localidad Calabozo.

3.2.2. Longitud del Ciclo del Cultivo.

Aunque los modelos de cambio climático mostraron diferencias en las temperaturas predichas, la longitud del ciclo y el tiempo a floración se redujeron ligeramente (Cuadro 9).

Cuadro 9. Reducciones en la longitud del ciclo de los cultivos para los períodos 2020 y 2060 con relación al período actual.

	2020	2060
Maíz:	1.8 a 2.7%	5.4 a 6.9%
Caraota:	0 a 0.3%	0.3 a 0.6%
Arroz:	2.3 a 3.1%	5 a 6.6%

Para maíz y arroz, la longitud del ciclo (días desde la siembra hasta la madurez fisiológica), presenta disminuciones menores a 7% en el 2060 con ambos modelos de cambio climático, esto puede explicarse debido al incremento de la temperatura, que acelera los procesos de desarrollo del cultivo. En caraota, se presentan reducciones más pequeñas que en maíz, y en todos los casos inferiores a 1%.

Estas variaciones porcentuales representan para el 2020, menos de 3.8 días en maíz, menos de 1 día en caraota y menos de 4.2 días en arroz. Igualmente, en todos los cultivos, las reducciones en el tiempo a floración son pequeñas e inferiores a 2 días en el 2020.

3.2.3. Variables relacionadas con agua.

El comportamiento de la evapotranspiración acumulada potencial (ETCP) y real (ETCR), durante el ciclo de cultivo presenta diferencias entre modelos, cultivos y localidades, aunque en general, las variaciones en el futuro con relación al lapso actual son pequeñas (Cuadro 10).

En general, las variaciones obtenidas con ambos modelos (UKTR y CCC-EQ) fueron similares. La evapotranspiración acumulada (potencial y real) disminuyen menos de 6% en todas las localidades y cultivos, excepto en caraota, que presenta incrementos de hasta 4% en la ETCP. La ETCR del cultivo de caraota aumenta, con excepción de UKTR en Santa Cruz.

En términos de lámina de agua total del ciclo, las variaciones representan montos de 11.5 mm de reducción (en arroz) y 2.9 mm de incremento (en caraota) durante el período 2020. En el 2060, ocurren reducciones de hasta 28.7 mm (en arroz) e incrementos de hasta 12.4 mm (en caraota).

Las disminuciones en evapotranspiración acumulada potencial son explicables por el acortamiento del ciclo de los cultivos, ya que equivalen a la evapotranspiración de uno a tres días, similares a las reducciones predichas en la duración de los ciclos. Las disminuciones en evapotranspiración acumulada real se deben, además, a la reducción en la disponibilidad de agua por disminución de la precipitación.

Los aumentos de ETCP en caraota se deben al aumento de la temperatura. En este cultivo, las reducciones del ciclo fueron pequeñas, por lo que no compensaron el aumento en la demanda

evaporativa. En El Tigre, el incremento de ETCR se debe al uso de riego, mientras que en Santa Cruz, al incremento de precipitación predicho por CCC-EQ.

En cuanto al déficit (ETCP – ETCR) (Cuadro 10. Variaciones en las variables relacionadas con el uso del agua de los cultivos para los períodos 2020 y 2060 con relación al período actual.), no se puede generalizar una tendencia. En todos los casos las variaciones del déficit son pequeñas, para el 2020 representan diferencias iguales o inferiores a 2 mm (6.4%) con relación al lapso actual. Para el 2060 representa incrementos de hasta 6.5 mm (16.7%). Considerando los valores de evapotranspiración acumulada y las duraciones del ciclo, esto representa la demanda de agua de menos de dos días.

Para maíz, en Calabozo y Santa Cruz, el déficit se incrementa en el futuro. En Turén, con UKTR se predicen disminuciones y con CCC-EQ aumentos del déficit. En caraota los cambios en las variables relacionadas con el uso de agua son aún más pequeños que en maíz. Se observa que el déficit con UKTR se incrementa. En contraste, con CCC-EQ el déficit disminuye en Santa Cruz, lo cual era de esperarse porque este modelo estima incrementos de la precipitación en esta localidad. En arroz, por tratarse de un cultivo con riego complementario, la demanda de agua es totalmente cubierta y en todos los casos, ETCP es igual a ETCR, por lo cual no existe déficit.

Cuadro 10. Variaciones en las variables relacionadas con el uso del agua de los cultivos para los períodos 2020 y 2060 con relación al período actual.

		Actual (mm)	Variación (%)	
			2020	2060
Maíz:	ETCP	432 a 476	-0.6 a -1.9	-2.4 a -4.9
	ETCR	402 a 439	-0.5 a -2	-3.1 a -5.1
	Déficit	22 a 38	-1.4 a 6.4	-2.4 a 8.6
Caraota:	ETCP	300 a 312	0.4 a 0.9	1.4 a 4
	ETCR	228 a 260	-0.3 a 0.8	-0.9 a 2.4
	Déficit	39 a 83	-0.2 a 5.1	-2.6 a 16.7
Arroz:	ETCP y ETCR ¹	500 a 541	-1.3 a -2.3	-2.9 a -4.3

1. No existe déficit debido al uso de riego complementario en todas las simulaciones.

Las variaciones interanuales (diferencia entre los valores asociados a las probabilidades 75% y 25%) de los valores de ETCP, ETCR y déficit son de mayor magnitud que los cambios en los valores promedio, es decir, las variaciones entre años dentro de un mismo lapso son superiores a las variaciones promedio entre lapsos.

Los modelos de cultivo empleados atribuyen reducciones de los rendimientos a la reducción del ciclo, disminución de la tasa de fotosíntesis, incremento de la tasa de respiración, déficit de agua y cambios en índice de cosecha. En todos los casos estudiados, se obtuvieron reducciones de rendimiento a pesar de las distintas condiciones de disponibilidad de humedad, y variaciones poco apreciables del índice de cosecha y de la duración del ciclo de cultivo. De ello se infiere que las disminuciones en los rendimientos obedecieron principalmente a reducciones en la tasa de fotosíntesis e incremento de la respiración debido al incremento de la temperatura, especialmente la mínima.

3.3. Posible impacto en la producción nacional.

Aunque las disminuciones en los rendimientos promedio de los cultivos sean pequeñas, es conveniente obtener aproximaciones sobre su impacto en la producción nacional. Como un estimado del efecto que el cambio climático ocasionaría sobre los rendimientos y, consecuentemente, sobre la producción nacional de los cultivos en estudio, en el Cuadro 11 se muestran los valores resultantes de aplicar la mayor reducción porcentual estimada por los modelos de cultivo a los rendimientos promedio reportados en las estadísticas agrícolas del país (IESA, 2003a y b). Para el lapso 2020, se obtienen diferencias en la producción nacional alrededor de 38000 Mg para el maíz, 2000 Mg para caraota y 29000 Mg para arroz.

Se requiere más información acerca de la economía y evolución tecnológica de los rubros para emitir juicios acerca de los niveles de impacto económico y social que implican las variaciones de rendimiento. Sin embargo, para caraota preocupa el alto valor de reducción simulada de rendimientos para 2020 (-13.4%) por su potencial efecto sobre la disponibilidad de proteínas baratas para los estratos económicos de bajos recursos. Es recomendable efectuar evaluaciones de la variabilidad interanual de los rendimientos considerando los umbrales económicos de rendimiento de los diferentes cultivos y evaluar el efecto por el enriquecimiento de la atmósfera con CO₂.

Cuadro 11. Estimación de las reducciones en los rendimientos y producción según las estadísticas nacionales y las predicciones para el 2020.

	Rendimiento promedio nacional (Mg/ha) ¹	Producción total promedio anual (Mg) ¹	Reducción simulada de rendimientos en 2020 (%)	Rendimiento estimado en 2020 (Mg/ha)	Producción estimada en 2020 (Mg)	Diferencia de producción (Mg)
Maíz	3.0	872483	-4.4	2.9	834094	38389
Caraota	0.8	16924	-13.4	0.7	14656	2268
Arroz	4.5	654492	-4.4	4.3	625694	28798

1. Valores obtenidos de IESA (2003a y b).

4. Conclusiones.

Según los modelos de cambio climático empleados, en la mayoría de las localidades se presentarán reducciones en la precipitación y aumentos de la temperatura, en especial, de la temperatura mínima. En general, UKTR estimó mayores variaciones durante el ciclo de los cultivos que CCC-EQ.

Se destaca que en todas las combinaciones localidad – cultivo – modelo de cambio climático se estiman reducciones en el rendimiento de los cultivos, incluso en aquellas donde se predice aumento en la precipitación.

Los incrementos en la temperatura mínima parecen ser el factor principal en las reducciones de los rendimientos, mientras que las variaciones en precipitación, y otras variables asociadas al balance hídrico, afectarían en poca medida el rendimiento de los cultivos. Las reducciones de

rendimiento pueden obedecer principalmente al incremento de las pérdidas por respiración debido a las temperaturas nocturnas más elevadas.

El ciclo de los cultivos se reducirá en poca medida, lo cual se traduce en ligeras reducciones en la demanda y consumo de agua. Sería conveniente ampliar el estudio a cultivos de ciclo largo o permanentes y a localidades donde la disponibilidad de agua durante el ciclo de los cultivos sea más restringida.

Entre las medidas para contrarrestar los efectos del cambio climático, especialmente en zonas tropicales bajas, debería considerarse el desarrollo de variedades menos sensibles a las altas temperaturas. Las medidas basadas en cambios de manejo de los cultivos, como variaciones en las fechas de siembra y en las prácticas de riego, no parecen ser soluciones al problema. Otra alternativa general sería la reubicación de cultivos en zonas más altas, aunque, en estos casos, sería de suma pertinencia considerar los riesgos de degradación por efecto de las más altas pendientes, entre otros factores.

Debe tenerse presente que los resultados expuestos son producto de una serie de métodos predictivos en cuanto a cambio climático y respuesta de los cultivos, que, al estado actual de conocimiento, presentan incertidumbres. Por ello, se recomienda evaluar una mayor diversidad de localidades, escenarios de cambio climático y métodos predictivos de respuesta de cultivo.

5. Referencias Bibliográficas.

- Álvarez, L. 2003. Optimización de la fertilización nitrogenada y del manejo del agua de riego en la producción de arroz mediante el modelo de simulación CERES-rice. Tesis Doctoral. Doctorado en Ciencias Agrícola, Postgrado en Agronomía. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 243 p.
- Barrios, J. y A. Rojas. 1996. Crecimiento y rendimiento de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) en un suelo franco durante la época de salida de lluvias (septiembre-diciembre). Tesis de grado Ing. Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 91 p.
- Barrios, M. y M. Adams. 1996. Uso de fertilizantes nitrogenados en arroz irrigado en un suelo de la serie Calabozo. *VENESUELOS* 4(1 y 2):28-35.
- Belizzia, A.; N. Pimentel y R. Bajo. 1976. Mapa Geológico Estructural de Venezuela. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Ediciones Foninves.
- Benacchio, S. y W. Pineda. 1975. Análisis del primer ciclo de siembras en una rotación intensiva de cuatro cultivos. 1 aspectos fenológicos y rendimientos. *Agronomía Tropical* 25(1):49-71.
- Cabrera, S; A. Pérez y F. Morillo. 1997. Evaluación del rendimiento de cultivares de maíz bajo tres densidades de siembra. *Revista Investigación Agrícola*. Volumen 2. <http://www.redpav-fpolar.info.ve/danac/volumen2/art3/index.html>.
- Cano, M; F. Granados y W. Yépez. 1974. Estudio agroecológico tipo reconocimiento del estado Portuguesa, sector la Chaconera – Río Portuguesa – Caño Turén. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias – Fundación para el Desarrollo de la Región Centro-occidental.
- Caraballo, L. 1990. Manejo del riego en soya sembrada en un suelo arenoso de la Mesa de Guanipa, Venezuela. *Agronomía Tropical*. Serie Edafológica. 40 (1-3): 35-56.
- Cárdenas, P. 2003. Variabilidad Climática Observada en el Siglo XX, Informe Técnico. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Caracas. Mimeo.
- Comerma J. y A. Chirinos. 1977. Características de algunos suelos con y sin horizonte argílico en las Mesas Orientales de Venezuela. *Agronomía Tropical*. 37(2):181-206.
- Comerma J. 1985. Validación del balance hídrico del modelo CERES-maíz, en la zona de Maracay, Edo. Aragua, Ven. FONAIAP, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 11 p.
- Comerma, J.; S. Torres; D. Lobo; N. Fernández; R. Delgado y L. Madero. 1988. Aplicación del Sistema de Evaluación de Tierras de la FAO, 1985, en la zona de Turén, Venezuela. Cuadernos de Agronomía. UCV. Maracay. 26p. 14 mapas.
- Díaz, C.; N. Figueroa y R. Warnock. 2000. Estudio del crecimiento y desarrollo de la caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo diferentes densidades de población. III. Rendimiento y sus componentes. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 27(2):105-117. Maracay, Venezuela.
- Folland, T. K. and T. R. Kart. 2001. Observed Climate Variability and Change. In: *Climate Change 2001. The Scientific Basis*. Eds: J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, D. Xiaosu and K. Maskell. University Press, Cambridge. Great Britain. Pp.99-182.
- FONAIAP, 1995. Taller: Aspectos físicos de los suelos de las sabanas orientales y su efecto sobre la productividad. Compilado por M. Sindoni; L. Caraballo y T. Rodríguez. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Publicación especial N° 30. El Tigre. 56 p.
- Frómata, L.; B. Rodríguez; M. Caballero y L. Rancel. 1979. Descripción y estudio de la interrelación de algunos factores físicos en los suelos de la Estación Biológica de los Llanos cerca de Calabozo, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 29(4) 349-365.

- García, J. 1996. Fenología de cuatro variedades de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) sembrada en dos localidades y dos fechas del periodo septiembre-enero. Tesis de grado Ing. Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 56 p.
- Godoi R; V Barrientos y E. Paterniani. 1996. Tres Ciclos de la metodología de selección recurrente entre y dentro de familias de medios hermanos con semillas remanentes en una variedad experimental de maíz (*Zea mays* L.). Revista Investigación Agrícola DANAC. Volumen 1. <http://www.redpav-fpolar.info.ve/danac/volumen1/art5/index.html>.
- Guerra, A. y G. Landaeta. 1996. Crecimiento y rendimiento de cuatro variedades de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) a diferentes poblaciones durante la época de sequía. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 42 p.
- IESA, 2003a. Producción vegetal: cereales. <https://servicios.iesa.edu.ve/agronegocios/PPDVegetal/PPDCereales.htm>. Consultada el 03/Oct/03.
- IESA, 2003b. Producción vegetal: leguminosas. <https://servicios.iesa.edu.ve/agronegocios/PPDVegetal/PPDleguminosas.htm>. Consultada el 03/Oct/03.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. The Scientific Basis-Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report (TAR) of the IPCC. Cambridge University Press. United Kingdom. 881 P.
- Luque, O. y R. Avilán. 1976. Clasificación con fines de fertilidad de los suelos de la mesa de Guanipa, estado Anzoátegui. IV Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maturín. Agosto de 1976.
- Luque O. y J. Tenías. 1974. Avance de un estudio agrológico semidetallado de la Mesa de Guanipa, sector El Tigre – San José de Guanipa. II Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Mérida. Diciembre de 1974.
- Marcano, F; C. Ohep y D. Francisco. 1995. Efecto de la labranza y del nitrógeno en algunos componentes del rendimiento, macroporosidad del suelo, densidad radical y producción del maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía Tropical* 44(1):5-22.
- Ministerio de Agricultura y Cría (MAC). Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 1979. Seis años de pruebas regionales de maíz en Venezuela (1971-1976). Boletín Técnico No. 9. 52 p.
- Mireles, M y M. Barrios. 1991. Sistemas de producción agrícola del valle del río Tiznados. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias – Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Serie C 37. 34 p.
- Mireles, M y M. Escobar. 1993. Sistemas de producción agrícola en el área de influencia del sistema de riego de río Guárico. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias – Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Serie C. 84 p.
- MMH, 1970. Léxico estratigráfico de Venezuela. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Publicación especial 4. Editorial Sucre. 757 p.
- Priestley, C. and R. Taylor. 1972. On the Assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Monthly Weather Review* 100:81-92.
- Richardson, C.W. and D.A. Wright. 1984. WGEN: A model for generating daily weather variables. US Department of Agriculture. Agricultural Research Service. ARS-8. 83 p.
- Ritchie, J.T. 1994. Classification of crop simulation models. In: Crop modeling and related data requirements. P.F. Uhlir and G.C. Carter Ed. 3-14.
- Rojas, E, ed. 1981. Identificación y caracterización preliminar de los principales sistemas de producción agrícola de Turén. CIDIAT, Mérida, Venezuela. 51 p.
- Rosales, A. 1972. Estudio Agrológico detallado y clasificación de tierras con fines de riego del asentamiento San Miguel, Colonia Turén, estado Portuguesa. Ministerio de Obras Públicas. Guanare, agosto de 1972.

- Rosenzweig, C. and A. Iglesias. 1998. The use of crop models for international climate change impact assessment. In *Understanding Options for Agricultural Production*. Tsuji, Hoogenboom and Thornton, Eds. Kluwer Academic Publishers. 267 – 292.
- Silva, O. 1996a. Caracterización territorial de la Altiplanicie Oriental. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. CIAE Anzoátegui. El Tigre. Venezuela. Mimeo. 42 p.
- Silva, O. 1996b. Caracterización de los sistemas de producción en el sistema agrario Alto Río Tigre. Área de mesas del estado Anzoátegui. Informe de Avance. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. CIAE Anzoátegui. El Tigre. Venezuela. Mimeo. 13 p.
- Silva, O. 1999. Evaluación hidrológica y agronómica de tres suelos con diverso espesor de horizonte arenoso mediante simulación. Congreso Latinoamericano de Ciencia del Suelo. Pucón, Chile. Disco compacto para PC.
- Tsuji, G.Y.; G. Uehara; and S. Balas. 1994. DSSAT v3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 244 p.
- Useche R.; A. Rodríguez y J. Lugo. 1976. Dos formas de aplicación de N, P y K en arroz de riego sembrado en un Vertisol. *Agronomía Tropical*. 26(5): 383-391
- Valenzuela, J. 2002. Evolución del área foliar y captación de energía solar en *Phaseolus*. Facultad de Agronomía. UCV. Tesis de Grado Ing. Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 91 p.
- Wagner, M; A. Barrios; G. Medina y L. Guenni. 1988. Evaluación de un modelo de riego en caraota en la estación experimental de Santa Cruz, estado Aragua. *Agronomía Tropical*. 38 (1-3): 109 – 133.
- Warnock, R. 1999. Uso del modelo CROPGRO-bean para impulsar la producción de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) en Aragua. Trabajo de Ascenso. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 85 p.
- XIII CVCS, 1995. Giras de campo. XIII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maracay, Venezuela, 15 al 20 de Octubre de 1995.
- Zinck, A. 1988. Descripción del ambiente geomorfológico con fines de caracterización de perfiles de suelo. CIDIAT, Mérida.
- Zoppi, P. 2002. Evaluación de posibilidades de uso del modelo FAO de seguimiento y pronóstico agrometeorológico de cosecha, en la Colonia Agrícola de Turén. Tesis de Pregrado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 106 p.