

# EFECTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE MAÍZ (*Zea mays*, L.)

COSTANZO, M.; BONEL, B.; MONTICO, S.

Cátedra Manejo de Tierras  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Universidad Nacional de Rosario  
E-mail: bonel@arnet.com.ar

---

## Resumen

---

En este trabajo se evaluó el impacto del fenómeno ENSO (fases Niña, Niño y Neutro) sobre la producción de bioenergía a partir de granos de maíz en diferentes condiciones edafoclimáticas (Argiudol típico, norte de Buenos Aires; Perludert árgico, noroeste de Entre Ríos y Hapludol éntico, norte de Buenos Aires) y de manejo de la fertilidad nitrogenada: ingresos energéticos (IE) de 3.877, 7.753 y 15.506 MJ.ha<sup>-1</sup>. Los egresos energéticos (EE) se estimaron a partir de la simulación de rendimientos utilizando el software DSSAT v.4, transformando posteriormente los valores obtenidos a energía a través de un coeficiente. Se realizó el análisis de los parámetros estadísticos básicos, análisis de varianza y comparación de medias. En los escenarios analizados los años Niña y los planteos con mayores IE presentaron EE más variables. A su vez los EE fueron significativamente menores ( $p < 0,05$ ) en años Niña, obteniéndose solo en tres de cada diez años EE superiores al promedio histórico. La correlación entre las precipitaciones y los EE fueron altas en los años Niñas y bajas en años Niño. Se hallaron diferentes efectos de los niveles de IE sobre los EE según escenario edafoclimático y fase ENSO considerada. La relación IE/EE fue menor en años Niña respecto de Neutro y Niño en todos los escenarios, disminuyendo a su vez al aumentar los IE. Los resultados demuestran que la consideración de la variabilidad interanual del clima regional sobre la obtención de materia prima para la cadena bioenergética es relevante para el logro de planteos sustentables.

**Palabras Clave:** El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) - bioetanol – modelos ecofisiológicos

# EFFECT OF CLIMATIC VARIABILITY ON BIOENERGY PRODUCTION FROM MAIZE (*Zea mays*, L.)

## Summary

---

In this work, we tested the impact of the ENSO phenomenon (phases La Niña, El Niño and Neutro) on bioenergy production from corn grains grown in different soil and climatic conditions (Typical Argiudolls, north of Buenos Aires; Argic Peludert, northwest of Entre Rios and Entic Hapludol, north of Buenos Aires) and under different nitrogen fertilization practices: energy inputs (EI) of 3.877, 7.753 and 15.506 MJ.ha<sup>-1</sup>. The energy outputs (EO) were estimated from the simulation of yields obtained with the DSSAT v.4 software, and the values were subsequently converted into energy using a coefficient. The analysis of basic statistical parameters, analysis of variance, and comparison of mean values were performed. More variable EO values were found during La Niña years and under higher EI. Also, significantly lower EO values ( $p < 0,05$ ) were found in La Niña years—EO values above the historical average were found in only 3 out of 10 years. The correlation between precipitation and the EO was high in the La Niña years, and low in the El Niño years. EI had different effects on the EO under the different soil and climate conditions and ENSO phase considered. The relation EO/EI was lower in La Niña years than in Neutro and El Niño years under all conditions, in turn decreasing with increasing EI. Results show that, in order to develop sustainable models, it is relevant to consider the effects of year-to-year variability in regional climate on the production of raw material for the bioenergy chain.

### Key words:

El Niño-Southern Oscillation (ENSO) - bioethanol - ecophysiological models

## Introducción

---

Desde hace tiempo se viene considerando al bioetanol como un combustible limpio y amigable para el medio ambiente. El mercado de bioetanol en muchos países del mundo está adecuadamente desarrollado, así como la logística de infraestructura en la cadena de producción. Las tecnologías actuales para producir bioetanol utilizan cultivos que producen azúcar o almidón. A pesar de que hay fuentes alternativas para producir etanol, el maíz sigue siendo la principal materia prima en muchos países del mundo (FAO, 2008). Estados Unidos es uno de los principales productores e importadores de bioetanol. En este país el 97% del bioetanol proviene de granos de maíz. A nivel local se puede mencionar que Argentina ha exportado bioetanol a la Unión Europea (Heinimo y Junginger, 2009).

La producción de biocombustibles líquidos a partir del maíz requiere de tierras de gran aptitud productiva e importantes insumos en términos de fertilizantes, plaguicidas y agua, para que de este modo generen rendimientos viables. A pesar de que la expansión de la producción de materias primas para biocombustibles desempeña un papel fundamental a la hora de satisfacer el aumento de la demanda de combustibles en los próximos años, la intensificación del uso de la tierra mediante tecnologías y prácticas de gestión mejoradas tendrá que complementar esta opción, especialmente si se desea que la producción se mantenga a largo plazo (FAO, 2008).

La agricultura depende en gran medida de condiciones climáticas y en regiones bajo secano es también importante el efecto de las fluctuaciones año a año sobre los rendimientos de los cultivos. La evaluación de las respuestas de los cultivos frente a diferentes condiciones medioambientales generalmente se basa en el análisis de escenarios (Park *et al.*, 2005). Los modelos que simulan los procesos que desarrolla un cultivo durante su crecimiento y desarrollo son útiles para evaluar el impacto de la variabilidad climática sobre la agricultura y por ende sobre la producción de biocombustibles.

Los climas regionales fluctúan naturalmente en torno a la media en un a largo plazo, es así que la variabilidad en las precipitaciones ocurre en relación al tiempo y a la cantidad, afectando cada año al sector productor de materias primas. Por otra parte existe incertidumbre acerca de los escenarios de precipitaciones para el futuro, por lo que una

acción válida es recurrir a la creación de diferentes escenarios de modo de disponer una mejor aproximación a eventos futuros probables. Los modelos que simulan procesos eco-fisiológicos de los cultivos utilizan funciones simplificadas para expresar las interacciones entre su crecimiento y los principales factores ambientales que los afectan como el clima, el suelo y el manejo. Estos modelos tienen estructuras útiles para evaluar los resultados de diferentes manejos frente a la variabilidad climática (Bert *et al.*, 2006).

En este sentido, temas vinculados a la temperatura superficial del mar (SST) y el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) han abierto un área donde los modelos de simulación juegan un rol importante, permitiendo recomendar escenarios alternativos de manejo para los sectores interesados. Existen muchas oportunidades para aplicaciones potenciales de modelos de cultivos debido a que la ocurrencia de un evento ENSO puede ser anticipado seis meses (Hoogenboom, 2000).

Las fases extremas del fenómeno ENSO están asociadas a anomalías en las precipitaciones en muchas áreas del mundo. La probabilidad de ocurrencia de precipitaciones mayores, menores o iguales varían según el área que se considere, por lo cual las generalizaciones respecto al efecto del ENSO no son válidas y pueden conducir a errores (Mason y Goodard 2001; Coronel y Sacchi, 2006).

Es posible establecer una relación entre los factores ambientales (suelo y clima) y las prácticas de manejo de cultivos que afectan el crecimiento y desarrollo del maíz (Aparicio *et al.*, 2002). Por otra parte, los valores de energía neta obtenidos al final de toda la cadena de producción de biocombustibles están afectados principalmente por la productividad de maíz, por ello existe una correlación entre factores de clima y suelo y el valor de energía neta del bioetanol.

Las condiciones agroecológicas para producir maíz como insumo destinado a fábricas de biocombustibles se presentan en regiones con variabilidad climática y edáfica. La variabilidad de estos conduce también a una variabilidad en el valor de energía neta. Para asignar la producción de maíz a las tierras que más se adaptan a la obtención de valores positivos de energía neta, es esencial cuantificar el impacto de las diferencias espaciales en suelo y clima sobre el valor de energía neta del maíz que

posteriormente se utilizará en la obtención del biocombustible (Persson *et al.*, 2009).

El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto del fenómeno ENSO sobre la producción de bioenergía a partir de granos de

maíz en diferentes condiciones de suelo y manejo de la fertilidad nitrogenada, considerando constante en la primera etapa (producción de grano) el resto de los factores que intervienen en la cadena de obtención de bioetanol.

## Materiales y métodos

La producción de maíz en escenarios edafoclimáticos contrastantes bajo diferentes manejos de la fertilidad nitrogenada se obtuvo utilizando un modelo de simulación agronómica correspondiente al software *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT), versión 4.0 (Hoogenboom *et al.*, 2003). Para el cálculo de la producción de energía se utilizó un coeficiente equivalente a  $16,54 \text{ MJ.kg}^{-1}$  de grano cosechado (Santos, H.P. dos *et al.*, 2000).

Se consideraron tres series de suelos: Argiudol típico serie Pergamino, Peludert árgico serie El Sauce y Hapludol éntico serie Saforcada. El Argiudol típico presenta una secuencia de horizontes A – BA – Bt – BC – C, 46% de arcilla entre los 45 y 60 cm de profundidad y 1,5% de carbono orgánico en los primeros 15 cm. El Peludert árgico presenta una secuencia de horizontes A – B – BC – C, con un porcentaje de arcilla próximo al valor de 50% entre los 30 y 90 cm, y un contenido de carbono orgánico de 2,8% en los primeros 15 cm. El Hapludol éntico, cuya secuencia de horizontes es A – AC – C, posee valores de arcilla menores al 9,5% en todo el perfil y 0,5% de carbono orgánico en los primeros 15 cm. La base de datos climáticos combinada con las series Pergamino y Saforcada es representativa del norte de Buenos Aires, y la utilizada para la serie El Sauce es representativa de la zona noroeste de Entre Ríos. Las series climáticas abarcan 30 años, desde 1971 a 2001 y contienen datos diarios de precipitaciones, temperatura y radiación (Mercau, J., comunicación personal). De la combinación de suelo y condiciones climáticas surgen los tres escenarios edafoclimáticos analizados: Argiudol típico, norte de Buenos Aires (At BA), Perludert árgico, noroeste de Entre Ríos (Pa ER) y Hapludol éntico, norte de Buenos Aires (He BA). Los escenarios productivos iniciales corresponden a 80% de agua útil (AU) y nivel de fertilidad nitrogenada de  $38,4 \text{ ppm}$  de  $\text{N-NO}_3$  más  $2 \text{ ppm}$  de  $\text{N-NH}_4$  repartidos proporcionalmente en los distintos

horizontes hasta los 75 cm. El modelo calcula el aporte de nitrógeno por mineralización a partir de la relación C/N y del contenido inicial de carbono orgánico, considerando un 2% de mineralización para los meses estivales. Se compararon tres niveles de manejo de la fertilización nitrogenadas: 50, 100 y  $200 \text{ kg.ha}^{-1}$  de nitrógeno en forma de urea aplicada a la siembra, incorporados en los primeros cinco centímetros de suelo ( $\text{N}_1$ :  $3.877 \text{ MJ.ha}^{-1}$ ;  $\text{N}_2$ :  $7.753 \text{ MJ.ha}^{-1}$  y  $\text{N}_3$ :  $15.506 \text{ MJ.ha}^{-1}$ ). Se consideraron tres híbridos simples de diferente ciclo (*nc* DK 752: ciclo completo, madurez relativa 125; *nc* DK 682: semiprecoz – intermedio, madurez relativa 120 y *nc* DK 615: precoz, madurez relativa 111). Las fechas de siembra consideradas en el modelo fueron las recomendadas para el área donde están más representadas las series de suelo analizadas, siendo el 10 de setiembre para At (Pergamino), el 1 de setiembre para Pa (La Paz) y el 25 de setiembre para He (Junín). Se consideró una densidad de siembra de 78.000 plantas, sembradas a 52 cm entre líneas.

Los períodos de setiembre a febrero, coincidentes con el ciclo de maíz, se agruparon en Niño, Niña y Neutros según el Índice Oceánico del Niño (ONI por sus siglas en inglés) elaborado por el Centro de Predicción del Clima de NOAA (2009); dicho índice está relacionado con la anomalía de la temperatura superficial del océano Pacífico de la región Niño  $3.4$  ( $5^\circ\text{N} - 5^\circ\text{S}$ ;  $120^\circ - 170^\circ\text{W}$ ).

Se analizaron los parámetros estadísticos básicos y se interpretaron gráficos tipo "box plot". Se realizó Análisis de Varianza para evaluar el efecto de la fase ENSO para cada escenario edafoclimático y condición de manejo de la fertilidad nitrogenada, considerando el promedio de los resultados obtenidos con los tres híbridos para las variables energéticas consideradas. Se realizaron comparaciones de medias por el test de Duncan considerando significativas las diferencias con una  $p < 0,05$ .

## Resultados y Discusión

En los tres escenarios edafoclimáticos y de manejo de la fertilidad nitrogenada los años Niña resultaron más variables en cuanto a producción primaria de energía a partir de granos de maíz. A su vez los planteos con mayores dosis de fertilizante también fueron más variables (Figura 1).

Considerando individualmente a los escenarios edafoclimáticos se halló, en los tres niveles de fertilización analizados, el mismo efecto de la fase ENSO sobre la producción primaria de energía a partir de granos de maíz. En At BA los egresos energéticos (EE) fueron significativamente diferentes entre años ( $p > 0,05$ ), resultando los EE de años Neutro  $>$  años Niño  $>$  años Niña. En los escenarios Pa ER y He BA los años Neutro y Niño tuvieron EE significativamente mayores que los años Niña (Tabla 1).

El manejo de la fertilidad nitrogenada no tuvo efecto significativo sobre los EE en los años Niña en los tres escenarios edafoclimáticos analizados (Tabla 1). En los años Neutro se halló efecto de diferentes dosis de fertilizante nitrogenado sobre los EE: en At BA y He BA los valores de energía fueron significativamente superiores ( $p < 0,05$ ) en los casos donde se adicionó 200 kg de N que en los que se agregaron sólo 50 kg de N. Dosis intermedias presentaron EE que no difirieron significativamente entre dosis mayores o menores. En el caso de Pa ER los EE fueron significativamente mayores con 50 y 100 kg de N, en comparación con dosis de 200 kg. Los años Niño el efecto del manejo de la fertilidad sobre los EE varió según sitio, en At BA no se hallaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre dosis de N, en Pa ER los EE fueron significativamente mayores con la menor dosis respecto a 200 kg de N, mientras que la dosis intermedia no difirió de estas dos. En He BA se diferenciaron los tres niveles de aplicación de fertilizantes nitrogenados resultando los EE en el escenario de 200 kg  $>$  100 kg  $>$  50 kg. La variabilidad de los EE medido como coeficiente de variación (CV) fue mayor en Pa ER que en At BA y He BA en los tres niveles de IE considerados. Considerando individualmente cada escenario edafoclimático, se halló mayores coeficientes de variación a medida que los IE como fertilizantes aumentaba (Tabla 1).

La relación entre los egresos energéticos y la energía ingresada como fertilizantes en los escenarios edafoclimáticos analizados fue menor en los años Niña respecto a los años Neutro y Niño, disminuyendo a su vez al

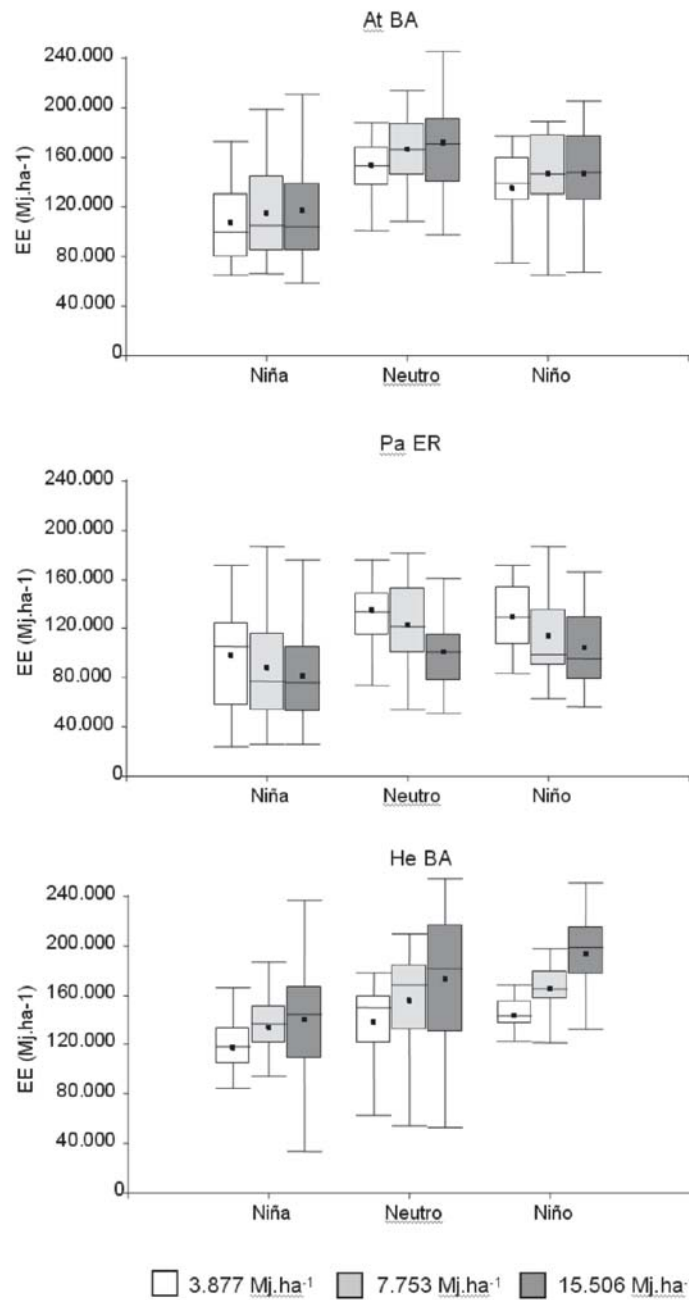
aumentar las dosis de fertilizante utilizado en el modelo (Tabla 2).

La cantidad de años con EE superiores al promedio histórico, tomando los 30 años analizados en este trabajo, para cada modelo de manejo de fertilización nitrogenada y escenario edafoclimático se presentan en la Tabla 3. Considerando los datos en conjunto es posible afirmar que en las fases Niñas tres de cada 10 años se obtienen EE iguales o mayores que el promedio histórico, mientras que en años Neutro y Niño estos EE se obtiene en 7 y 6 años, respectivamente. Estas proporciones se aproximan a las informadas por Magrin *et al.*, citado por Andrade y Sadras (2000), para series históricas que cubren el período 1902-1995 en la región pampeana. Estos autores hallan que en 15 de los 20 años Niño investigados, es decir en el 75 % de los años, el rendimiento de maíz es superior al promedio histórico, mientras que en los años Niña el porcentaje alcanza sólo el 26 %. En el cinturón maicero el efecto del año Niño sobre los resultados productivos se asocia a un aumento de disponibilidad hídrica en el mes de diciembre, coincidiendo en general con la floración de maíz. Conviene aclarar que el comportamiento de otros cultivos en relación al efecto de las fases ENSO puede ser diferente y hasta contrario de lo hallado en maíz (Andrade y Sadras, 2000).

Los montos de precipitaciones promedio se presentan en la Tabla 4. La correlación entre las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo de maíz en los años correspondientes a cada fase ENSO y los EE se muestran en la Tabla 5. En los escenarios At BA con diferentes dosis de fertilización nitrogenada los  $R^2$  varían en un rango menor ( $R^2$  entre 0,37 y 0,61) que en los escenarios Pa ER y He BA ( $R^2$  entre 0,23 y 0,84 y  $R^2$  entre 0,02 y 0,74, respectivamente). En los años Niña los EE presentan una alta correlación en todos los manejos de fertilidad nitrogenada considerados, mientras que en los años Niño las precipitaciones explican muy poco los EE (Tabla 5). Esto último puede atribuirse a que una vez cubiertas las necesidades hídricas del maíz, las otras condiciones de suelo, clima, genotipo y manejo estarían condicionando los EE, junto con las características o intensidad de las fases ENSO que pudieran darse.

Los resultados indicarían que la variabilidad climática interanual expresada a través de las fases ENSO tuvo efecto sobre los EE como grano de maíz y en la eficiencia en el uso de la energía ingresada en forma de fertilizantes

**Figura 1:** Egresos Energéticos (EE) en las distintas fases ENSO para los escenarios: Argiudol típico, norte de Buenos Aires (At BA), Perludert árgico, noroeste de Entre Ríos (Pa ER) y Hapludol éntico, norte de Buenos Aires (He BA). Los límites de las cajas representan los percentiles de 25 y 75, las líneas horizontales fuera de las cajas representan los valores extremos, la línea dentro de la caja representa la mediana y los símbolos cuadrados llenos los valores medios. Se comparan tres niveles de Ingresos Energéticos (3.877, 7.753 y 15.506 MJ.ha<sup>-1</sup>).



**Tabla 1:** Análisis de Varianza para Egresos Energéticos (EE) para los escenarios: Argiudol típico, norte de Buenos Aires (At BA), Perludert árgico, noroeste de Entre Ríos (Pa ER) y Hapludol éntico, norte de Buenos Aires (He BA).

IE (Mj.ha <sup>-1</sup> )	Fase ENSO	EE (Mj.ha <sup>-1</sup> ) según escenarios		
		At BA	Pa ER	He BA
3.877	Niña	107.597 c <sup>1</sup> A <sup>2</sup>	98.040 b A	117.562 b A
	Neutro	153.212 a B	134.383 a A	138.219 a B
	Niño	134.350 b A	128.987 a A	143.480 a C
	CV (%)	22	27	23
7.753	Niña	115.452 c A	88.455 b A	133.345 b A
	Neutro	166.204 a AB	122.759 a A	155.176 a AB
	Niño	146.135 b A	113.989 a AB	165.212 a B
	CV (%)	25	35	25
15.506	Niña	117.449 c A	81.501 b A	139.651 b A
	Neutro	171.533 a A	101.252 a B	172.518 a A
	Niño	139.651 b A	104.272 a B	192.844 a A
	CV (%)	29	35	30

<sup>(1)</sup>Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre fases ENSO para cada escenario edafoclimático y nivel de fertilización. (2) Letras mayúsculas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre dosis de fertilizante dentro de cada escenario edafoclimático y fase ENSO.

**Tabla 2:** Relación entre los Egresos Energéticos (EE) y el Ingreso Energético (IE) en cada fase ENSO para los escenarios: Argiudol típico, norte de Buenos Aires (At BA), Perludert árgico, noroeste de Entre Ríos (Pa ER) y Hapludol éntico, norte de Buenos Aires (He BA). Se comparan tres niveles de Ingresos Energéticos (3.877, 7.753 y 15.506 MJ.ha<sup>-1</sup>).

IE (Mj.ha <sup>-1</sup> )	Relación EE / IE * 100								
	3.877			7.753			15.506		
Fase ENSO	Niña	Neutro	Niño	Niña	Neutro	Niño	Niña	Neutro	Niño
At BA	28	40	35	15	21	19	8	11	9
Pa ER	25	35	33	11	16	15	5	7	7
He BA	30	36	37	17	20	21	9	11	12

**Tabla 3:** Proporción de años con Egresos Energéticos (EE) superiores al promedio de la serie 1971-2000 para los escenarios: Argiudol típico, norte de Buenos Aires (At BA), Perludert árgico, noroeste de Entre Ríos (Pa ER) y Hapludol éntico, norte de Buenos Aires (He BA). Se comparan tres niveles de Ingresos Energéticos (3.877, 7.753 y 15.506 MJ.ha<sup>-1</sup>).

IE (Mj.ha <sup>-1</sup> )	Proporción de años (%) con EE mayores al promedio histórico								
	3.877			7.753			15.506		
Fase ENSO	Niña	Neutro	Niño	Niña	Neutro	Niño	Niña	Neutro	Niño
At BA	23	85	67	30	82	63	27	73	56
Pa ER	30	70	63	33	64	44	37	64	48
He BA	30	70	78	27	67	81	23	64	78

nitrogenados. Los escenarios analizados presentaron en general en los años Niña resultados energéticos poco favorables, es decir menores EE, aún con dosis mayores de fertilizante. Asimismo presentaron baja eficiencia en el uso de la energía ingresada como fertilizante, mayor variabilidad en los valores de EE hallados y baja probabilidad de obtener EE mayores a los correspondientes al promedio histórico. Esto es, mayores EE podrían obtenerse en el caso de que ocurran suficientes precipitaciones para satisfacer la demanda del cultivo, tal como lo demuestra la alta correlación hallada en los años Niña entre la cantidad de agua precipitada y EE. Estos resultados coinciden con los hallados por Montico *et al.* (en prensa), quienes sostienen que existe una relación directa entre diferentes restricciones hídricas y la producción de energía como grano, y que también la eficiencia del uso de la energía está condicionada por la disponibilidad de agua.

Según estos resultados, y en el marco del ordenamiento del territorio, deberían concebirse escenarios de manejo alternativos para cada condición edáfica, atendiendo a las características de cada fase ENSO. De esta manera se tendería a la sustentabilidad en la producción de bioetanol disminuyendo el impacto de la variabilidad interanual del clima en una región y al logro de un mercado de bioetanol argentino competitivo frente al de biodiesel. Las tendencias halladas en este trabajo pueden presentar modificaciones en condiciones reales de producción, ya que frente a diferentes pronósticos climáticos los productores adoptan decisiones de manejo que no siempre coinciden con la producción óptima (Bert *et al.*, 2006). Por otra parte, el uso de modelos de simulación para evaluar el impacto de la variabilidad climática sobre la producción de la materia prima bioenergética debería combinarse, tal como lo plantea Rivington *et al.* (2006), con otros enfoques que cumplan con el mismo objetivo, como por ejemplo, los Sistemas de Información Geográfica.

**Tabla 4:** Precipitaciones medias en cada fase ENSO para los escenarios: Argiudol típico, norte de Buenos Aires (At BA), Perludert árgico, noroeste de Entre Ríos (Pa ER) y Hapludol éntico, norte de Buenos Aires (He BA). (1) Coeficientes de variación en porcentaje.

Fase ENSO	Precipitaciones (mm) según escenarios		
	At BA	Pa ER	He BA
Niña	392 (33) <sup>1</sup>	401 (30)	469 (25)
Neutro	565 (19)	518 (25)	546 (24)
Niño	523 (28)	486 (14)	645 (16)

**Tabla 5:** Relación entre las precipitaciones medias ocurridas en cada fase ENSO y los Egresos Energéticos (EE) para los escenarios: Argiudol típico, norte de Buenos Aires (At BA), Perludert árgico, noroeste de Entre Ríos (Pa ER) y Hapludol éntico, norte de Buenos Aires (He BA). Se comparan tres niveles de Ingresos Energéticos (3.877, 7.753 y 15.506 MJ.ha<sup>-1</sup>).

Correlación (R <sup>2</sup> ) entre precipitaciones (mm) y EE (MJ.ha <sup>-1</sup> )									
IE (MJ.ha <sup>-1</sup> )	3.877			7.753			15.506		
Fase ENSO	Niña	Neutro	Niño	Niña	Neutro	Niño	Niña	Neutro	Niño
At BA	0.61	0.50	0.45	0.61	0.50	0.43	0.53	0.46	0.37
Pa ER	0.84	0.43	0.23	0.84	0.59	0.34	0.73	0.57	0.25
He BA	0.71	0.59	0.02	0.74	0.65	0.05	0.70	0.75	0.08



---

## Bibliografía

---

- Andrade, F.H y Sadras, V.O.** 2000. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Andrade, F.H. y Sadras, V.O. editores. Ed. Médica Panamericana S.A. 443 pp.
- Aparicio, V.; Costa, J. L.; Echeverría, H.; y Caviglia, O.** 2002. Evaluación de propiedades edáficas y crecimiento del maíz bajo diferentes sistemas de labranza en cuatro sitios del sudeste bonaerense. *RIA*, 31 (3): 55-71.
- Bert, F.E.; Satorre, E.H.; Ruiz Toranzo, F. y Podestá, G.** 2006. Climatic information and decision-making in maize crop production systems of the Argentinean Pampas. *Agricultural Systems*, 88:180-204.
- Coronel, A. y Sacchi, O.** 2006. Climatología de eventos secos y húmedos en el sur santafesino. *Rev. De Investigaciones Facultad de Ciencias Agrarias*, 9:15-24.
- FAO.** 2008. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Roma, 162 pp.
- Heinimo, J. y Junginger, M.** 2009. Production and trading of biomass of energy – An overview of the global status. *Biomass and Bioenergy*, 33:1310-1320.
- Hoogenboom, G.** 2000. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103:137-157.
- Hoogenboom, G.; Jones, J.W.; Porter, C.H.; Wilkens, P.W.; Boote, K.J.; Batchelor, W.D.; Hunt, L.A. y TSUJI, G.Y.** 2003. Decision Support System Agrotechnology Transfer Version 4.0. University of Hawaii, Honolulu, H.I.
- Montico, S.; Bonel, B.; Dileo, N. y Giubileo, G.** \_\_\_\_\_. Incertidumbre sobre la producción de energía neta en cultivos de la región centro Argentina. *Revista UNLaR, en prensa*.
- NOAA,** 2009. National Weather Service for Environmental Prediction. Climate Prediction Center. Page Author: Climate Prediction Center Internet Team. Fecha de consulta mayo 2009. ([http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)).
- Park, S. J.; Hwang, S. y Vlek, P.L.G.** 2005. Comparison of adaptative techniques to predict crop yield response under varying soil and land management conditions. *Agricultural Systems*. **85 (1):59-81**.
- Persson, T.; García y García, A.; Paz, J. y Hoogenboom, G.** 2009. Maize ethanol feedstock production and net energy value as affected by climate variability and crop management practices. *Agricultural Systems*, 100:11-21.
- Rivington, M.; Matthews, K.B.; Bellocchi, G. y Buchan, K.** 2006. Evaluating uncertainty introduced to process-based simulation model estimates by alternative sources of meteorological data. *Agricultural Systems*. 88 (2-3):451-471.
- Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S; Ignaczack, J.C. y Zoldan, S.M.** 2000. Conversão e balanço energético e sistemas de produção de grãos com pastagens sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 35 (4): 743 – 752.