

MEDICIÓN ECONÓMICA DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN EL SECTOR AGRICOLA: EL CASO DE LA SOJA EN ARGENTINA

Esteban Otto THOMASZ, María Teresa CASPARRI, Ana Silvia VILKER, Gonzalo RONDINONE,
Miguel FUSCO

Centro de Investigación en Métodos Cuantitativos Aplicados a la Economía y la Gestión (CMA), Instituto de Investigaciones en Administración, Contabilidad y Métodos Cuantitativos para la Gestión (IADCOM), Universidad de Buenos Aires, Córdoba 2122 - 1120AAQ - Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina.
ethomasz@econ.uba.ar

Abstract

Recibido: 10/2015

Aceptado: 02/2016

Palabras clave

Cambio climático
Valuación económica
Eventos extremos
Sequía
Soja.

La variabilidad climática impacta en todas las actividades económicas, pero especialmente en el sector agropecuario. En el caso de Argentina, dicho sector primario, conjuntamente con el complejo agro-industrial, tienen una alta relevancia económica en términos de generación de divisas, producto bruto geográfico y generación de empleo.

Actualmente se han desarrollado estudios que estiman los efectos del cambio y variabilidad climática sobre los rindes de los principales cultivos de la Región Pampeana y de otras regiones del país. No obstante, esos estudios carecen de valuaciones de índole económica. Por ello, en este trabajo se realizará una síntesis de los distintos enfoques utilizados para medir el impacto del cambio climático, y de los aquellos que abordan el fenómeno de variabilidad climática. A su vez se brindará una primera estimación económica de la pérdida de producción de soja generada por la ocurrencia de eventos climáticos extremos, particularmente eventos de sequía. Las estimaciones son de carácter agregado y son realizadas a los fines de establecer órdenes de magnitud para dimensionar la problemática. Como línea derivada, se plantea la calibración de modelos puntuales para la estimación de pérdidas económicas específicas y focalizadas que sirvan de base para la construcción de instrumentos financieros de cobertura o bien fondos fiscales de adaptación y mitigación de eventos climáticos extremos.

Copyright: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires.

ISSN: 2250-6861

ECONOMIC VALUATION OF WETHEAR EXTREME EVENTS IN AGRICULTURE: THE CASE OF SOYBEAN IN ARGENTINA

Esteban Otto THOMASZ, María Teresa CASPARRI, Ana Silvia VILKER, Gonzalo RONDINONE, Miguel FUSCO

Centro de Investigación en Métodos Cuantitativos Aplicados a la Economía y la Gestión (CMA), Instituto de Investigaciones en Administración, Contabilidad y Métodos Cuantitativos para la Gestión (IADCOM), Universidad de Buenos Aires, Córdoba 2122 - 1120AAQ - Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina.
ethomasz@econ.uba.ar

Abstract

Recibido: 10/2015

Aceptado: 02/2016

Key words

Climate change
Economic value
Extreme events
Draught
Soybean

Climate variability affects almost every economic activity, but especially those related to agriculture. In Argentina, primary sector and agroindustry have a high incidence in exports, regional GDP and regional employment.

There has been some research in the estimation of the effects of climate change and climate variability in crops productivity of Argentina. However, those estimations are not translated into an economic loss valuation. Therefore, in this work different approaches to measure the impact of climate change and climate variability will be described, with the objective of propose a preliminary model of economic valuation. Regarding the case of study case, this model will be apply to measure the economic loss of events of extreme droughts in soybean production, which is the most import agricultural commodity exported in Argentina.

This line of research constitutes the first step to provide economic valuation of loss of income necessary for the calibration of index-based insurance, climate derivatives or for the integration of fiscal funds necessary to finance adaptation or mitigations strategies to climate change.

Copyright: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires.

ISSN: 2250-6861

INTRODUCCIÓN

El cambio climático impacta en todas las actividades económicas, pero especialmente en el sector agropecuario. En el caso de Argentina el sector primario y el complejo agro-industrial tienen una importante relevancia económica con altos riesgos de producción, entre ellos, el climático. No obstante, no se cuenta con mediciones agregadas del impacto económico y fiscal de los eventos de variabilidad climática.

Si bien se han desarrollado estudios que estiman los efectos del cambio y de los eventos de variabilidad climática sobre los rindes de los principales cultivos de la Región Pampeana y de otras regiones del país, los mismos carecen de valuaciones de índole económica.

El objetivo general de este estudio es iniciar la discusión acerca de los modelos existentes para la valuación económica del riesgo climático, e intentar asimismo estimar un modelo preliminar que brinde valores que puedan ser tomados como órdenes de magnitud para dimensionar la problemática. Particularmente, se realizarán estimaciones de pérdida de ingresos producidos por la ocurrencia de eventos climáticos extremos, específicamente casos de sequías. Por su significancia económica, se abordará en primera instancia el caso de la soja.

Respecto a la estructura del trabajo, en la primera sección se realiza una síntesis de los distintos enfoques utilizados a lo largo de la literatura, distinguiendo entre el macroeconómico, el sectoriales y el de variabilidad climática. En la segunda sección, se fundamenta el enfoque seleccionado en vistas del objetivo del estudio, y se desarrolla la metodología aplicada. Por último, en la tercera sección se presenta una síntesis de resultados para el caso de la soja producida en el país.

1. PRIMERA SECCIÓN: ESTADO DEL ARTE

En períodos recientes se ha producido un gran interés por medir y estudiar los efectos del cambio climático en la economía y especialmente en el sector agrícola. El fenómeno incide en forma directa en la mayoría de los cultivos, alterando las frecuencias e intensidad de las cosechas y consecuentemente afectando los niveles de producción. El impacto económico del cambio climático no es sencillo de estimar ya que intervienen un considerable número de variables y además los agentes tienden a variar su comportamiento ante los cambios percibidos y esperados (CEPAL, 2010). De acuerdo a la literatura, pueden resumirse tres grandes enfoques de medición del impacto económico del clima: enfoque macroeconómico, enfoque sectorial en el agro y enfoque variabilidad climática, los cuales se describen a continuación.

1.1. Enfoque macroeconómico

El enfoque macroeconómico, desarrollado en un trabajo de la Dirección Nacional de Planeamiento de Colombia y el Banco Internacional de Desarrollo (2014) toma como base la información que surge de las cuentas nacionales, y estima el impacto del clima en cada sector de actividad en términos de PIB. Se utiliza un modelo de equilibrio general estocástico que modeliza el sistema económico incorporado al clima como un insumo más dentro de la función de producción, afectando por tanto la productividad del sector. Los impactos del cambio climático se simulan como *shocks* (negativos) de producción a los distintos sectores modificando el coeficiente técnico asociado a una función de producción Leontief. Vale destacar que las estimaciones no contemplan el posible daño producido en la infraestructura y el capital requeridos para la producción. El impacto en el bienestar de los hogares se asocia al incremento de precio que el cambio climático puede generar en los bienes consumidos.

Las estimaciones calculadas son de tipo agregado, y el modelo permite cierta flexibilidad en el tratamiento metodológico de cada sector en particular. No obstante, en general no incorpora variabilidad, sino que estima impactos en el largo plazo, motivo por el cual es generalmente utilizado para realizar valuaciones económicas del fenómeno del cambio climático, realizando proyecciones de largo plazo: períodos de 50 ó 100 años.

1.2. Enfoque sectorial en el agro

En líneas generales, las metodologías utilizadas para estimar el impacto del cambio climático sobre el sector agropecuario pueden clasificarse en estructurales y espaciales.

En el enfoque estructural se estiman las respuestas de los productos estudiados a variaciones de temperatura y precipitaciones con series que pueden ser anuales o diarias. En tanto, en el enfoque espacial se estiman los efectos del cambio climático en el valor de la tierra, o bien en el beneficio de los agricultores. Ambos enfoques se describen a continuación.

1.2.1. Enfoque estructural

El enfoque estructural, de acuerdo CEPAL (2010), utiliza modelos interdisciplinarios para simular cambios en determinados cultivos. Mediante series de distinta frecuencia temporal se estiman las respuestas de los productos en estudio ante variaciones de temperatura y precipitación. Estimados

los impactos en la producción, se los incorpora a modelos económicos que permiten estimar cambios en la oferta y/o en los precios de los cultivos.

Para citar un ejemplo, el estudio realizado para Costa Rica por Ordaz *et al.* (2010), se basa en una función de producción estimada a partir del método de mínimos cuadrados (MCO). Las variables dependientes que utilizan son datos anuales (1961 a 2005) de índices de producción agropecuaria, de producción de cultivos y de producción pecuaria de tipo Laspeyre, construidos por la FAO y los rendimientos en toneladas por hectárea del maíz, frijol y café. Como variables independientes en ambos casos se usaron las precipitaciones acumuladas en los meses de mayo a octubre, la temperatura máxima y la promedio anual con sus respectivos términos al cuadrado. Las variables de control consideradas fueron la proporción de la población económicamente activa (PEA) rural en la PEA total y población, que se toman en cuenta para filtrar el efecto del factor trabajo en la variación de los rindes o índices de producción.

La forma general elegida para la estimación de la función de producción es cuadrática pues permite visualizar los efectos positivos y negativos sobre el rendimiento del cultivo. Los resultados se resumen en gráficos de funciones cóncavas que representan los impactos de las variaciones de temperatura y precipitación sobre las distintas variables dependientes.

Una vez estimada la función de producción se pueden variar los valores de variables como temperatura y precipitaciones, y evaluar su impacto sobre la variable dependiente (rendimiento de un cultivo o índice de producción).

Una crítica recurrente a este método de estimación es que el mismo tiende a sobreestimar los efectos negativos del clima ya que no toma en cuenta las medidas de adaptación llevadas a cabo por los productores (*on farm strategies*). No obstante, tiene la ventaja de proporcionar buenos resultados de los rendimientos estimados en función de las diferentes situaciones climáticas.

Respecto al mencionado cambio del comportamiento, Smit, McNabb y Smithers (1996) incorporaron en sus estudios una variable que representaba la adaptabilidad humana al cambio climático. La incorporación de esta variable disminuyó la sobreestimación de los aspectos negativos del cambio climático y la subestimación de los efectos positivos. Trabajos posteriores incluyeron un número superior de adaptaciones a nivel de granja, sustituciones de insumos y productos, impactos en los precios de las *commodities* y el bienestar.

1.2.2. Enfoque espacial

En cuanto a los modelos espaciales, los mismos estiman los efectos del cambio climático en función de los cambios en el valor de la tierra, tomando en general datos de panel de diferentes áreas geográficas. Para esto se utilizan a) modelos ricardianos, b) modelos de equilibrio general y c) modelos de sistemas de información geográficos.

Una de las ventajas de este enfoque es que permite cuantificar el impacto del cambio climático en unidades con un alto grado de desagregación y la posibilidad de poder considerar otras variables importantes como la calidad de la tierra. Entre las desventajas se encuentra que los resultados obtenidos por estos modelos dependen de los datos disponibles de las regiones geográficas analizadas y de la eficiencia del análisis estadístico en eliminar factores que generan ruido en las estimaciones.

Entre los modelos utilizados dentro de este enfoque el ricardiano es uno de los más utilizados. El supuesto fundamental es que el mercado es competitivo y por lo tanto el valor de la tierra representa el valor presente de los ingresos netos provenientes del uso eficiente de la misma. Por medio de regresiones se estiman los cambios en el valor de la tierra utilizada para la agricultura ante variaciones en el clima y otros factores económicos y no económicos.

Entre los ensayos empíricos realizados, se destaca el trabajo de Deschenes y Greenstone (2007), quienes estudian el impacto económico del cambio climático sobre los principales cultivos de Estados Unidos. El estudio utiliza el enfoque ricardiano partiendo de la metodología del trabajo de Schlenker *et al.* (2006) pero realizando algunos ajustes en el modelo de manera tal que la variable dependiente pasa a ser el beneficio de los agricultores en lugar del valor de la tierra. Las variables independientes que utilizaron fueron la cantidad de productores y la extensión de la explotación, el total de la producción, el valor promedio del campo y de la maquinaria, y medidas de productividad del suelo. También consideraron los beneficios totales y por hectárea, los ingresos/remuneración y los gastos de los productores así como los pagos al gobierno. Las variables climáticas utilizadas fueron: temperatura y las precipitaciones de enero, abril, julio y octubre, desagregadas por condado y año.

El modelo utilizado por los autores para salvar las posibles incorrectas especificaciones del modelo hedónico/ricardiano es el siguiente:

$$Y_{ct} = \alpha_c + \gamma_t + x_{ct}\beta + \sum \theta f_i (W_{ict})$$

Donde:

- Y_{ct} : ingreso de la actividad agrícola por condado y año t .
- α_c : efectos fijos por condado (municipio) que absorben todos los efectos específicos no observados por condado de la variable dependiente.

- γ_t : indicadores anuales que controlan las diferencias anuales en la variable dependiente.
- x_{ct} : vector de determinantes del valor de la tierra, por condado y año
- W_{ict} : vector de variables climáticas, por condado y año.

Los datos con los que realizaron las estimaciones, provinieron de los censos de agricultura de los años 1987, 1992, 1997 y 2002. Los referidos a calidad de suelos y estimaciones climáticas corresponden a un modelo que genera estimaciones de temperatura y precipitación en celdas de 4x4 kilómetros para la totalidad del territorio de los Estados Unidos.

El principal resultado del análisis, en base a proyecciones de largo plazo, es que el cambio climático tendría efectos positivos sobre las ganancias de los agricultores, estimadas en un aumento anual de los beneficios del orden del 4%. Tal incremento estaría explicado por el efecto positivo que *ceteris paribus* genera las mayores concentraciones de dióxido de carbono sobre el rendimiento de los cultivos analizados (Miglietta *et al.*, 1998). Además, el análisis indica que los aumentos previstos en la temperatura y las precipitaciones no tienen prácticamente ningún efecto en los rendimientos entre los cultivos más importantes (maíz y soja).

Entre las limitaciones del estudio, Deschenes y Greenstone (2007) señalan que los cambios en el clima interrumpirán ecosistemas locales y alteraran la calidad del suelo. Ambos factores pueden afectar la productividad agrícola. Además el cambio climático afectará la producción agrícola mundial, siendo razonable suponer que esto alterará los costos a largo plazo de la producción, y podría causar cambios en los precios relativos. Dado que las estimaciones se basan en fluctuaciones anuales y se ajustan para condados es poco probable que representen plenamente esta posibilidad. Por último, vale destacar que en EE.UU. existe un complejo sistema de programas del gobierno que tienen impacto en los beneficios de la actividad agrícola y por lo tanto sobre los valores de la tierra al afectar las decisiones de los productores sobre qué cultivos sembrar, la cantidad de tierra a usar, y el nivel de producción (Kirwan 2005). Las estimaciones del trabajo serían diferentes si se realizaran con un conjunto de indicadores de las políticas de subsidios vigentes.

Otro caso de estudio es el desarrollado por Ordaz *et al.*, (2010) donde también se aplica el enfoque ricardiano para evaluar el impacto del cambio climático sobre el valor de la tierra en Costa Rica. Consideraron los datos sociodemográficos y económicos de la Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples llevada a cabo por el Instituto Nacional de Estadística y Censos -INEC- de Costa Rica en el mes de julio de 2006.

El estudio utilizó como variable dependiente el ingreso por alquiler de la propiedad recibido por los hogares rurales y como independientes a la temperatura media anual, las precipitaciones acumuladas anuales, los miembros mayores de 15 años en el hogar, el género, la edad y los años de escolaridad del jefe del hogar, el número de habitaciones en la vivienda y el tipo de suelo. Con

todos estos datos estimaron modelos por el método de mínimos cuadrados ordinarios. Los resultados muestran impactos considerables a un nivel de confianza elevado. En este sentido, se observa que el incremento de 1° C en la temperatura media implica una disminución de 0,5; 1,9 y 1,3 dólares bajo los modelos I, II y III, respectivamente¹. Es decir, existe evidencia para señalar un impacto negativo en el ingreso recibido por concepto de alquiler que va de medio dólar a cerca de los dos dólares ante el incremento de una unidad en la temperatura media anual. Si se considera el promedio de los efectos marginales, el impacto sería de 1,3 dólares, lo que equivale a una disminución del 1,2% en los ingresos que provienen del alquiler de la propiedad. Este decremento se agudiza si se observan los hogares rurales en los distintos deciles. En particular, para los hogares rurales que se encuentran en los primeros ocho deciles del ingreso por alquiler de la propiedad se estima una caída cercana al 2%. (Ordaz et al., 2010, p. 47). A su vez se contabilizaron los impactos económicos del cambio climático sobre la producción agropecuaria en diferentes momentos del tiempo hasta el año 2100 en relación al Producto Bruto Interno (PIB) de 2007. Los resultados sugieren que de no tomarse medidas, hacia el año 2050 las pérdidas serían entre el 1% y 2% del PIB con una tasa de descuento de 4%.

Por último, para citar un estudio desarrollado para el caso de Argentina, Losanoff y Cap (2006) utilizaron el enfoque espacial a partir de los datos de una encuesta que se realizó entre octubre de 2004 a junio de 2005 a 402 productores de distintas regiones agroclimáticas del país, con diferentes tamaños y priorizando en los pequeños productores familiares. Los datos del suelo fueron extraídos de bases regionales de la FAO y los climáticos de información satelital, aunque los valores de las precipitaciones utilizadas fue de estaciones meteorológicas cercanas al área en estudio. La variable dependiente del modelo es el ingreso neto por hectárea, que los autores consideraron como un buen reflejo (función) del valor de la hectárea incluyendo mejoras. Las variables independientes seleccionadas fueron climáticas, edáficas y ambientales, diferenciando la incidencia de estas variables para los productores pequeños y los comerciales. También analizaron la adopción del riego como mecanismo de adaptación al cambio climático.

En los resultados se observa la diferente influencia de las variables climáticas sobre cada estrato - productores pequeños y comerciales-². La curva del valor de la tierra en función de las temperaturas presenta un óptimo a 15°C para los productores mayores, en tanto que el mismo es a 17,5°C para los menores, lo cual parece indicar una mayor capacidad de los productores grandes a adaptarse al cambio climático, dado que su óptimo prácticamente refleja la temperatura media

¹ El modelo I, considera, además de las variables sociodemográficas, dos variables climáticas: temperatura media anual y precipitación acumulada anual. En el modelo II, se incorporan variables dummy de suelos, señalando el tipo de suelo que predomina en cada uno de los municipios de la muestra empleada. Por su parte, la especificación del modelo III, además de considerar las variables dummy de suelos, agrega términos cuadráticos para la temperatura media anual y la precipitación acumulada anual, así como una variable de interacción entre la precipitación acumulada y la temperatura media anual. (Ordaz et al., 2001, p. 47).

² Esta clasificación es realizada por los autores de acuerdo a la información obtenida en la encuesta.

de la muestra. Se plantean tres escenarios de cambio climático. En el primero, de condiciones leves, prácticamente no marca una tendencia de cambio en el valor de la tierra. El segundo escenario, de condiciones moderadamente severas para el cambio climático, presenta una tendencia decreciente para ambas submuestras (producciones pequeñas y comerciales). A finales del siglo XXI habría una reducción del valor del suelo del orden del 20%. El tercer escenario, de condiciones severas de cambio climático, es el que muestra mayores tendencias de cambio, al final del siglo XXI, la reducción en el valor de la tierra sería del orden del 50%.

Respecto del riego como mecanismo de adaptación al cambio climático, Losanoff *et al.* (2006) observaron que el incremento de la temperatura o una disminución de las precipitaciones conllevan a una rápida adaptación al riego.

Los autores concluyeron que existe una fuerte correlación entre el ingreso neto y las variables climáticas, en especial con la temperatura invernal y las precipitaciones de verano. Sin embargo afirman que el problema fundamental del modelo es que solo permite variar una variable exógena manteniendo el supuesto de que el resto de las variables se mantienen constantes. Además no incluye variables explícitas que muestren los procesos de adaptación de los productores ni tampoco las modificaciones de los precios de los bienes producidos. No obstante, Losanoff *et al.*, (2006) afirman que la técnica ricardiana (de corte transversal) examina no sólo los efectos directos de los diferentes ambientes sobre las explotaciones sino también los indirectos provenientes de la adaptación del productor en el caso que el valor de la tierra incorpore en su valuación esa capacidad de adaptación.

En síntesis, el enfoque sectorial explora modelos agronómicos, calibrando modelos donde un conjunto de variables climáticas afectan los rindes de los cultivos, el valor de la tierra o el beneficio de los agricultores. Este enfoque permite traducir tal impacto climático en mediciones económicas a través del cambio en el valor de la tierra o el beneficio neto, pero siempre sobre la estimación de comportamientos tendenciales y en general de largo plazo. Asimismo, todos los estudios citados relevan un considerable número de variables, tanto temporales como de sección transversal. Como denominador común, todos abordan el fenómeno del cambio climático. Por ello, en el apartado siguiente se resume el enfoque de la variabilidad climática y eventos extremos.

1.3. Enfoque de la variabilidad climática

En primer lugar resulta necesario distinguir entre los conceptos de cambio y variabilidad climática. El cambio climático refiere a un fenómeno de largo plazo (entre 50 y 100 años), donde se estudian los cambios en los niveles promedio de determinadas variables climáticas. En cambio la variabilidad climática está vinculada a las desviaciones respecto a la tendencia, y generalmente se refiere a períodos de análisis más cortos (20 años). Estos eventos son justamente los que más han afectado la producción agrícola de la región pampeana, generalmente vinculados con el aumento de la frecuencia e intensidad del fenómeno ENSO (Barros, 2015).

Sintéticamente, el enfoque de la variabilidad climática:

- Se basa en modelos de ajuste econométrico de series históricas, analizando desvíos respecto a la tendencia de la serie.
- En virtud que el filtrado de tendencia es complejo metodológicamente, el enfoque resulta más robusto para la identificación de casos extremos
- Los eventos extremos esta representados por fuertes sequías o inundaciones,
- Para el caso de Argentina, generalmente generados por el fenómeno NIÑO y NIÑA

Entre algunos estudios empíricos, Heinzenknecht (2011) aborda propuestas de metodologías para evaluar el impacto económico de eventos climáticos extremos sobre la actividad agrícola. Analiza la probabilidad de obtener rendimientos bajos, normales y altos durante la ocurrencia de eventos *El Niño* y *La Niña* a escala estacional (primavera, verano, otoño e invierno) para localidades con datos de precipitaciones en Argentina.

Las series históricas de rendimientos a nivel departamental estudiadas fueron de los cultivos de maíz, soja, girasol, trigo, sorgo y algodón. Dado que los cultivos y técnicas de manejo variaron considerablemente en los últimos años el autor tomó como periodo de análisis las campañas 1980-1981 (campaña 1981) a 2009-2010 (campaña 2010). Si bien las tecnologías se han modificado en el lapso estudiado, tomar un periodo más corto significaría no contar con suficientes casos de *El Niño* y sobre todo de *La Niña* para que el estudio sea consistente.

Con los valores de rendimientos por hectárea se ajustó una función de tendencia por el método de MCO obteniendo los rendimientos esperados o los rendimientos tendencia (RT). Con ellos se calculó la diferencia entre los verdaderos valores obtenidos (R) en las distintas cosechas y los estimados (DIF: $R - RT$) y el porcentaje de rendimiento tendencia como $AP = \frac{DIF}{RT}$. Cada uno de los cultivos analizados fue clasificado en rendimientos altos, bajos y normales a partir de los valores medios de los apartamientos positivos y negativos. Por ejemplo para la soja se consideró

rendimientos bajos a los inferiores al -20% y altos a los mayores al +20%, el resto eran normales. Con los resultados obtenidos hicieron mapas por departamento y a nivel provincial de los distintos cultivos estudiados.

Otro estudio abordado desde el enfoque de la variabilidad climática es el Berterretche *et al.* (2013). El objetivo del mismo fue realizar una evaluación del impacto de los eventos climáticos extremos en la producción agropecuaria del Mercosur. Para lograr este cometido se identificaron los eventos climáticos extremos que más afectan la producción agraria de los países del Mercosur, sintetizando los métodos existentes para medir el impacto de un evento climático extremo sobre la producción. Realizaron un ejemplo con el método elegido para un cultivo, en un área geográfica determinada en la que se contaba con disponibilidad de registros climáticos históricos.

Las variables consideradas en el estudio son evapotranspiración potencial y precipitaciones (datos diarios) de tres estaciones meteorológicas (Junin, Venado Tuerto y Pergamino) con las que se calcularon las deficiencias hídricas y los rendimientos promedios por departamento del cultivo de soja entre los años 1970 y 2012.

Con los rendimientos de la soja en kilogramo por hectárea (*kg/ha*) del país se construyeron por medio del método MCO los rendimientos esperados *kg/ha* de soja a nivel nacional. Luego se calculó el desvío medio del rendimiento esperado.

Posteriormente se le eliminó la tendencia a los valores correspondientes a los rendimientos de la soja, cálculo que también fue realizado a nivel departamental. Entre los resultados para el partido de Pergamino, se puede mencionar que en los años 1983, 1997 y 2009 obtienen las mayores diferencias negativas del desvío del rendimiento observado respecto al esperado: 33%, 43% y 37%, respectivamente. Además durante las décadas del 70 y 80 encuentran más desvíos negativos de rendimientos que en los otros períodos analizados (menores rendimientos que lo esperados).

Con los datos sin tendencia, se calcularon la media y los valores con uno y dos desvíos estándar. Luego los porcentajes de rendimientos anuales para cada uno de estos nuevos valores. Los años 1997 y 2009 resultaron negativos nuevamente con -35% y -39% respectivamente. De acuerdo a los autores, con estos cálculos (desvíos respecto a la media sin tendencia) se pueden clasificar los eventos por su magnitud de una forma objetiva y comparable a lo largo del tiempo. Además las frecuencias acumuladas de las deficiencias hídricas relativas durante el período crítico permiten establecer las probabilidades de ocurrencia de eventos extremos y relacionarlos con las magnitudes de pérdida del rendimiento (Berterretche, *et al.*, 2013, p. 42).

Otro trabajo que se enfoque en el análisis de variabilidad es el de Beathgen (2008), que tiene como objetivo brindar información para los instrumentos de mercado como los seguros agrícolas.

Desarrollan el concepto de rendimientos catástrofe o de emergencia, en base a los cuales se calcularán los recursos necesarios para cubrir las pérdidas en situaciones extremas.

Por medio de una regresión lineal simple, que según la opinión de los autores es la mejor forma de eliminar la tendencia cuando las muestras son pequeñas, estiman los rendimientos esperados de una muestra que contiene los rendimientos por hectárea de los distintos cultivos estudiados entre los años 1992/93 al 2004/05. Definen el desvío de los rendimientos con respecto a los estimados como:

$$\text{Desvío de Rendimientos} = \left(\frac{\text{Rend real} - \text{Rend est.}}{\text{Rend est.}} \right) * 100.$$

A partir del desvío estándar del rendimiento por hectárea de cada cultivo, se calcula el desvío del rendimiento esperado (DRE), definido del siguiente modo:

$$\text{Desvio del rendimiento esperado} = \text{Rend est.} - 2\sigma$$

Ese valor actúa como límite para identificar las desviaciones extremas en los rendimientos observados. Asimismo expresan el DRE como porcentaje del rendimiento estimado de la siguiente manera:

$$\text{Desvio del rendimiento esperado en \% (DRE\%)} = \frac{\text{DRE}}{\text{Rend est.}} * 100$$

Realizan entonces el promedio de estos porcentajes con el que llegan denominado “rendimiento de emergencia”:

$$\text{Rendimiento de emergencia} = \text{Rend. est.} * \text{DRE\%}$$

Con esa información, los autores hacen una estimación del monto en dólares por hectárea que hubiera sido necesario para cubrir las diferencias de producción por debajo de los rendimientos de emergencia, así como también la forma en la que se puede implementar a través de los indicadores estimados un seguro agrícola.

1.4. Síntesis

En la presente sección se ha presentado una síntesis de los diversos enfoques utilizados a lo largo de la literatura para realizar mediciones del cambio y la variabilidad climática en el sector agropecuario.

Se ha mencionado el enfoque macroeconómico y se han desarrollado con mayor profundidad las metodologías aplicadas al sector agropecuario, desde el enfoque estructural y espacial hasta el enfoque de la variabilidad climática.

Respecto al enfoque macroeconómico, se destaca que dicha metodología genera estimaciones en términos de PIB sectorial, y en general en base a cambios climáticos de largo plazo, captados a través del coeficiente técnico del sector. La estimación de dicho coeficiente amerita una metodología en sí misma. En tanto, como fue mencionado, el enfoque requiere la especificación de un modelo económico teórico que permita la especificación de una restricción presupuestaria y esquema de optimización de los agentes. Se entiende que el método puede ser útil a los fines de medición del impacto del cambio climático, pero no tanto para eventos de riesgo climático dado que, *per se*, no incorpora el fenómeno de la variabilidad.

En tanto el análisis estructural, el mismo es de índole agronómico y no estima en forma directa el impacto económico, sino que el modelo calibra la incidencia de variables climatológicas sobre el rendimiento de los cultivos. Realizar una valuación económica en base a este enfoque resulta viable, pero también corresponde a impactos del cambio climático (largo plazo) y, en general, sobre una región geográfica bien especificada.

En cuanto la óptica espacial incorpora información respecto al valor de la tierra, y mide el impacto en términos de la apreciación o depreciación de la misma frente al cambio climático, o bien en el beneficio de los agricultores (en alguna variante del modelo, como en el trabajo de Deschenes y Greenstone, 2007). No obstante, si bien también el horizonte es de largo plazo y tendencial, el modelo incorpora el supuesto de competencia perfecta y requiere un gran número de variables para su correcta especificación.

Por último, la perspectiva de la variabilidad permite captar los efectos de los cambios bruscos en los rendimientos por efectos climáticos, en general extremos. No analiza solamente la tendencia sino también la variabilidad, y el modelo resulta relativamente simple dado el nivel de información requerida para su estimación. Vale destacar que en ninguno de los estudios citados se presentan valuaciones económicas, centrándose el estudio en el análisis de los desvíos respecto a la tendencia.

2. SEGUNDA SECCIÓN: METODOLOGÍA

Dado que el objetivo de este estudio es iniciar el abordaje de la valuación económica del riesgo climático en el sector agropecuario, se aplicará una metodología que toma de referencia el enfoque de la variabilidad climática. Este enfoque es el que más se ajusta al concepto del riesgo, en virtud que incorpora variabilidad (y por lo tanto eventos extremos) además de tendencia. Además, se corresponde con el objetivo del trabajo que es brindar una primera aproximación a la valuación

de pérdidas económicas en vistas del diseño de instrumentos de cobertura, mitigación y/o adaptación. A continuación se presentan los datos y la metodología aplicada.

Estimación de los rendimientos

Se toman los rendimientos históricos desde la campaña 1969/70 hasta la actualidad (2014/15). De existir una tendencia creciente en la serie, se asume que la misma es producto del avance tecnológico. Para el filtro de la tendencia se aplicará el modelo que genere el mejor ajuste estadístico de la serie temporal, a los fines de aislar a los rendimientos del efecto producido por el avance tecnológico. Se trabajará en principio con dos especificaciones:

$$\text{Modelo lineal: } y_t = b_0 + b_1 x_t + e_t$$

$$\text{Modelo logarítmico: } y_t = b_0 + b_1 \ln(x_t) + e_t$$

Siendo,

- y_t : *variable dependiente*
- b_0 : *ordenada al origen de la curva de regresión*
- b_1 : *pendiente de la curva de regresión*
- x_t : *variable independiente*
- e_t : *término de error (componente estocástica)*

La serie estimada en base al modelo lineal o logarítmico será denominado rinde tendencial (R_t^T) y se construye del siguiente modo:

$$R_t^T = b_0 + b_1 x_t$$

$$R_t^T = b_0 + b_1 \ln(x_t)$$

Una vez filtrada la tendencia, se espera que la mayor parte de la variabilidad de la serie resultante se explica que por factores climáticos.

El rinde simulado con filtro tendencial se obtiene del siguiente modo: $R_t^S = R_t - R_t^T$

Siendo:

- R_t^S : *rinde simulado, neto del efecto tecnológico, del período t.*
- R_t^T : *rinde tenencial del período t.*
- R_t : *rinde observado en el período t.*

- R_t^S : Representan los desvíos respecto a la tendencia, y pueden ser valores negativos o positivos.

Para testear que el efecto de la variabilidad neta de tendencia sea debido a cuestiones climáticas (y no otros factores exógenos), se evalúan las caídas extremas de la serie de rendimientos identificadas con el modelo con el índice de sequía de palmer, cuyos valores se presentan en el anexo 1 de este trabajo.

Estimación de cantidades

En base a la tendencia de la serie, se procede a la reconstrucción de los volúmenes de producción generando una serie simulada que representa la producción en ausencia de efectos de variabilidad climática, del siguiente modo:

$$Q_t^S = \frac{R_t^T}{R_t} * P_t$$

Siendo,

- Q_t^S : producción simulada en base a la tendencia del período t .
- R_t^T : rinde tendencial del período t .
- R_t : rinde observado en el período t .
- Q_t : producción observada en el período t .

Tratamiento de extremos

En virtud de que la variabilidad de la serie puede estar incida por otros efectos no climáticos, este primer ensayo se exclusivamente focalizará en los eventos extremos. Dada la distribución de los rendimientos, se define como límite a una desviación estándar:

$$R_t^E: R_t^S < \sigma_M^S$$

Siendo,

- R_t^E : caso definido como de rendimiento extremo
- R_t^S : rinde simulado, neto de efecto climático, del período t .
- σ_M^S : desviación estándar muestral de la serie de rendimiento simulados netos de efecto climático

La pérdida del rinde por evento climático extremo se define del siguiente modo:

$$RL_{E_j}^R = R_t^E + \sigma_M^S$$

Siendo,

- $RL_{E_j}^R$: *pérdida del rendimiento por efecto de evento climático extremo*
- R_t^E : *caso definido como de rendimiento extremo*
- σ_M^S : *desviación estándar muestral de la serie de rendimiento simulados netos de efecto climático*

Valuación económica

Para realizar la valuación económica, se construye una serie de variables que estiman el nivel de producción que se hubiese alcanzado en ausencia de un evento climático extremo. Se calcula la diferencia respecto a la pérdida observada, y se toma como referencia el precio internacional vigente a ese momento para realizar la valuación en dólares. El conjunto de variables se detalla a continuación:

Rendimiento teórico sin clima extremo:

$$R_j^{NE} = R_t - RL_{E_j}^R$$

Producción teórica sin clima extremo:

$$Q_j^{NE} = R_j^{NE} Q_t / R_t$$

Pérdida de producción por clima extremo:

$$QL_j^E = Q_j^{NE} - Q_t$$

Pérdida económica por clima extremo:

$$VL_j^E = QL_j^E P_t^*$$

Siendo,

- Q_t : *producción observada del período "t".*
- P_t^* : *precio internacional del poroto de soja en el período "t"*

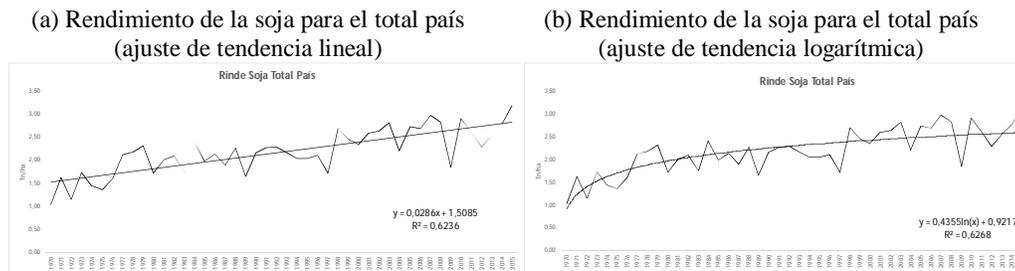
En la siguiente sección se aplica la metodología expuesta al caso particular de la producción de soja en Argentina. En este primer ensayo se trabajará a nivel agregado, sobre el volumen total de producción y área total sembrada.

3. TERCERA SECCIÓN: RESULTADOS

El caso de estudio analizado es la producción de poroto de soja en Argentina. Representa el principal producto agrícola sembrado y exportado del país, concentrando el 75% del valor de la producción de granos y el 22% de las exportaciones totales de Argentina. El área bajo estudio representó en la campaña 2014/15 19,33 millones de hectáreas implantadas, mayormente de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba. El valor bruto de producción de dicha campaña ascendió a u\$s 21.327 millones.

Para el análisis se relevó información de superficie cosechada, producción y precio internacional desde la campaña 1969/70 hasta la campaña 2014/2015. En base a dicha información se construyeron los rindes anuales por hectárea, serie sobre la cual se realizaron los análisis correspondientes. A continuación se presentan los resultados preliminares de los modelos estimados en base al ajuste lineal y logarítmico.

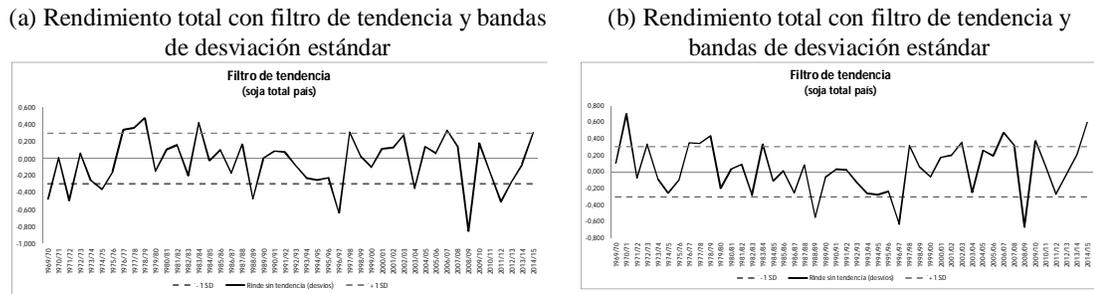
Figura 1: Rinde histórico y tendencia



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 1-a se presenta el ajuste tendencial del modelo lineal, mientras que en la figura 2-b muestra la tendencia logarítmica.

Figura 2: Identificación de eventos extremos



Fuente: Elaboración propia.

En primera instancia, si bien ambos modelos generan una serie de desvíos semejante, el modelo lineal es el que mejor identifica los casos de sequía de acuerdo a la metodología planteada, captando los eventos de 1989, 1997, 2003, 2008 y 2011. Vale destacar que tales años son coincidentes con eventos de sequía, de acuerdo a lo considerado en Ravelo *et al.*, 2014, Ravelo y Pascale, 1997, Scarpati y Capriolo, 2013, Minetti *et al.*, 2007, y los valores relevados mediante el índice de palmer. Por su parte, el modelo logarítmico omite los eventos de 1989 y 2011, motivo por el cual se opta por realizar las valuaciones con el modelo lineal³.

La correspondencia de los eventos indentificados con situaciones de sequías puede corroborarse en el anexo donde se presenta el índice de palmer para los eventos de 2004, 2009 y 2012. En tanto, en 1989 y 1997 se registraron precipitaciones mensuales y anuales muy inferiores a los valores medios, al menos en la Provincia de Buenos Aires, siendo el evento de 1997 catalogado como sequía grave en dicha provincia (Scarpati y Capriolo, 2013). En el caso de la campaña 1988/89, la sequía afectó mayormente a la provincia de Córdoba (Ravelo y Pascale, 1997). En tanto, Minetti *et al.* (2007) también identifican a la campaña 1988/89 como de sequía importante en la pampa húmeda.

En síntesis, se verifica que todos los casos identificados por el modelo se condicen con eventos de sequías de moderada a alta intensidad, siendo los eventos de 1996/97 y 2008/09 los más relevantes. En la tabla siguiente se presenta la desviación relativa del evento (la distancia en términos porcentuales entre el rendimiento observado y la cota de desviación estándar establecida como límite) y la clasificación del evento en base a fuentes secundarias y el índice de palmer.

³ En Tanura *et al.* (2008) puede encontrarse una fundamentación del uso del modelo lineal en detrimento del logarítmico para proyectar la evolución de los rendimientos de la soja.

Tabla 1: Estimación de pérdidas de cultivo de soja por eventos de sequía
-Diferencia respecto a la desviación estándar en millones de dólares-

Campaña	Desviación relativa	Clasificación de la sequía
1988/89	60,9%	s/d
1996/97	115,3%	Grave (Scarpati y Capriolo, 2013)
2003/04	18,6%	Incipiente/moderada (Indice de Palmer)
2008/09	188,5%	Extrema (Indice de Palmer)
2011/12	71,0%	Severa (Indice de Palmer)

Fuente: Elaboración propia.

Habiendo confirmado que los casos de caídas extremas en los rindes se condicen con situaciones de sequía, se procede a valorar el impacto de dicha caída en términos de pérdida económica de producción. Sobre la base de la serie simulada que resulta de la aplicación del filtro lineal, el volumen de producción tendencial en ausencia de extremos, la cota de desviación estándar y el precio internacional promedio de cada campaña, las pérdidas totales en la producción de soja por eventos de sequía, bajo la metodología de eventos extremos, ascienden a un total de u\$s 6.521 millones desde 1989 a valores corrientes, monto que asciende a u\$s 9.404,45 millones si se actualizan los valores a 2016 aplicando un interés técnico del 4% efectivo anual. El evento de mayor significancia es la campaña del 2008/09 con una pérdida estimada en u\$s 3.535,4 millones en ese año, que equivalen financieramente a u\$s 4.838,44 millones de 2016.

Tabla 1: Estimación de pérdidas de cultivo de soja por eventos de sequía
-Diferencia respecto a la desviación estándar en millones de dólares-

Campaña	Valor (en millones de dólares corrientes)	Valor (en millones de dólares de 2016)
1989/1990	u\$s 174,7	u\$s 503,72
1997/1998	u\$s 611,3	u\$s 1.287,92
2003/2004	u\$s 217,4	u\$s 3.61,99
2008/2009	u\$s 3.535,4	u\$s 4.838,44
2011/2012	u\$s 1.982,8	u\$s 2.412,38

Fuente: elaboración propia.

Vale destacar que esta valuación está midiendo la magnitud del evento extremo medido respecto a la variabilidad promedio, de acuerdo lo establecido en la metodología. Es decir, se valúa la caída de rinde respecto a la cota de desviación estándar. Si las valuaciones se realizan respecto al rinde

tendencial, el valor de la pérdida representa la variabilidad total. Esta estimación se presenta en la tabla 2.

Tabla 2: Estimación de pérdidas de cultivo de soja por eventos de sequía
Diferencia respecto a la media en millones de dólares

Año	Valor (en dólares corrientes)	Valor (en dólares actualizados de 2016)
1989/90	u\$s 461,7	u\$s 503,72
1997/98	u\$s 1.141,5	u\$s 2.404,97
2003/04	u\$s 1.387,1	u\$s 2.309,62
2008/09	u\$s 5.410,9	u\$s 7.405,19
2011/12	u\$s 4.776,1	u\$s 5.810,86

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse, la valuación de la pérdida por los eventos de sequía medida respecto al rendimiento tendencial asciende, en las campañas identificadas por el modelo, a un total de u\$s 11.790,3 millones a valores corrientes, que equivalen a u\$s 19.261,89 millones de 2016.

En la tabla 3 se contrastan los resultados de ambos enfoques, que pueden ser tomados como referencias mínimas y máximas para estimar la valuación económica correspondiente, diferenciando entre eventos extremos y la variabilidad natural de los rendimientos (generado en ambos casos por eventos climáticos).

Tabla 3: Resumen de resultados en dólares corrientes

Año	Extremo	Desviación total
1989/90	u\$s 174,7	u\$s 461,7
1997/98	u\$s 611,3	u\$s 1.141,5
2003/04	u\$s 217,4	u\$s 1.387,1
2008/09	u\$s 3.535,4	u\$s 5.410,9
2011/12	u\$s 1.982,8	u\$s 4.776,1

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla siguiente se presenta el mismo resumen de resultados en moneda homogénea (dólares equivalente de 2016).

Tabla 4: Resumen de resultados en dólares de 2016

Año	Extremo	Desviación total
1989/90	u\$s 503,72	u\$s 1.331,25
1997/98	u\$s 1.287,92	u\$s 2.404,97
2003/04	u\$s 361,99	u\$s 2.309,62
2008/09	u\$s 4.838,44	u\$s 7.405,19
2011/12	u\$s 2.412,38	u\$s 5.810,86

Fuente: Elaboración propia.

Es importante resaltar que los valores estimados deben tomarse a los fines de establecer órdenes de magnitud, y no como valores puntuales. El modelo presentado brinda un lineamiento general, pero aún dista de ser preciso. Por ello, a continuación se listan las limitaciones del estudio, las cuales serán objeto de corrección y profundización en futuras investigaciones:

- Se ha realizado un enfoque agregado, sin tener en cuenta los diferentes impactos a nivel de provincia o localidad. El modelo agregado no contempla la disparidad de rendimientos diferenciados a nivel de provincia y/o localidad, no solamente acaecidos por las diferencias en la productividad de la tierra sino también por el diferente nivel de tecnología aplicado en cada región
- El modelo no explica la variabilidad climática sino que la toma como supuesto. Se supone que filtrada la tendencia, la variabilidad de los rindes (promedio o casos extremos) responde a cuestiones climáticas. No obstante, en el caso de los extremos en la muestra agregada la relación fue corroborada en base a fuentes secundarias para los eventos 1989/90 y 1997/98 y mediante el índice de sequía de Palmer para 2003/04, 2008/09 y 2011/12.
- El modelo identifica en forma aceptable eventos extremos de sequía. No obstante, no ha sido explorado aún los efectos de otros eventos como ser los excesos hídricos.
- En este estudio preliminar se ha focalizado en la correspondencia entre baja de rindes extremos identificados por el modelo y episodios de sequía, pero no se han analizado potenciales casos omitidos.
- A nivel técnico, resta profundizar en el testeo de significatividad de los coeficientes del modelo de tendencia y justificar sobre bases empíricas el uso de una desviación estándar como cota de eventos extremos.
- Resulta necesario avanzar en la calibración teniendo en cuenta la fenología del cultivo, correlacionando el nivel de precipitaciones con las etapas críticas de siembra y floración.

4. SÍNTESIS

El objetivo de este trabajo es dar un primer paso en la realización de estimaciones económicas de las pérdidas producidas por la variabilidad climática y eventos extremos (específicamente sequías) en el sector agrícola argentino. El enfoque aplicado corresponde a la generación de información que sirva de base para el diseño de instrumentos financieros de cobertura e instrumentos fiscales de mitigación y adaptación. En esta oportunidad se seleccionó el caso de la soja por su incidencia económica en los últimos años.

En la estimación presentada se privilegió la parsimonia del modelo y un enfoque agregado, que no tiene en cuenta las diferencias territoriales en cuanto a rindes y dinámica climática. No obstante, para el caso estudiado, el modelo identificó situaciones de bajas extremas de los rindes con casos que se condicen con eventos de sequías. Aplicando el enfoque de pérdida de producción, y sobre los valores actualizados a 2016, se estimó una pérdida total de u\$s 9.404 millones en 5 campañas desde 1989, y de u\$s 7.612 millones en tres campañas desde 2003. En este último caso representa una pérdida promedio equivalente anual de u\$s 585,6 millones.

La continuación de la línea de investigación se basará en la configuración del modelo pero a nivel de localidad, ampliando no solamente la variedad de cultivos, sino también correlacionando los eventos con variables climáticas, comenzando con el nivel de precipitaciones y temperatura. Particularmente, se tendrán en cuenta los siguientes puntos:

- Replicar el modelo empleado en este trabajo a nivel de localidad, incorporando en primer lugar el nivel de precipitaciones para verificar que la caída de los rendimientos se correlacione con déficit de precipitaciones o bien con las variables climáticas que incidan sobre los principales cultivos.
- Respecto a esto último, al correlacionar rendimientos con variables climáticas, se deberá analizar la fenología de los diferentes cultivos.
- Expandir el análisis a otros cultivos, tales como maíz y trigo.
- Calibrar el modelo para la identificación de situaciones no solamente de sequía sino también de excesos hídricos y de temperatura que afecten negativamente los rendimientos.
- Complementar la metodología con el enfoque aplicado para la calibración de seguros indexados, construyendo los indicadores de *backtesting* de error de tipo I y error de tipo II.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barros V. R., Boninsegna J. A., Camilloni I. A., Chidiak M., Magrín G. O. y Rusticucci M. (2015). Climate change in Argentina: trends, projections, impacts and adaptation. *WIREs Clim Change* 2015, 6: 151-169. doi: 10.1002/wcc.316.
- Barros V.; Vera C., Agosta E., Araneo D.; Camilloni I., Carril A. F., Doyle M.E., Frumento O., Nuñez M., Ortiz de Zárate M.I., Penalba O., Rusticucci M., Saulo C., Solman S. (2014). Tercera Comunicación Nacional Sobre Cambio Climático. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Buenos Aires, Argentina.
- Baethgen, W.E. (2008). Climate Risk Management and Adaptation to Climate Change. In: Uruguay, Climate Change Here and Now. Supplementary document for the UNDP Report on Human Development. UNDP Uruguay, Montevideo
- Berterretche M.; Chiara J. P. y Isoldi, A. (2013). Revisión, análisis y propuestas de metodologías para evaluar el impacto económico de eventos climáticos extremos sobre la actividad agrícola. Presentación en el taller: Sistematización de la información climática para su uso en el proceso de toma de decisiones, 6 y 7 de junio de 2013. Montevideo.
- Cafiero C. (2006). Risk and Crisis Management in the Reformed European Agricultural Policy. Workshop on: Crises in Agriculture and Resource Sectors: Analysis of policy Responses. Calgary, Canadá.
- CEPAL. (2010). Istmo Centroamericano: efectos del cambio climático sobre la agricultura. Sede Subregional en México. Recuperado de: <http://www.cepal.org/es/sedes-y-oficinas/cepal-mexico>
- CEPAL. (2014). *La economía del cambio climático en la Argentina. Primera aproximación*. Impreso en Naciones Unidas. Santiago de Chile.
- Recuperado de: <http://www.cepal.org/es/publicaciones/35901-la-economia-del-cambio-climatico-en-la-argentina-primera-aproximacion>
- Dirección Nacional de Planeamiento de Colombia y Banco Internacional de Desarrollo (2014). Impactos económicos del cambio climático en Colombia. Síntesis. Bogotá, Colombia. Recuperado de:
- https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Impactos%20Econ%C3%B3micos%20del%20Cambio%20Climatico_Sintesis_Resumen%20Ejecutivo.pdf

- Darwin, R., Tsigas, M., Lewandrowski, J. y Raneses, A. (1995), *World Agriculture and Climate Change. Economic Adaptations. Agricultural Economic Report 703*, US Department of Agriculture. Washington, D.C., United State.
- Deschenes O. and Greenstone M. (2007). The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather. *The American Economic Review*, Vol. 97 No. 1 (Mar., 2007). p.p. 354-385.
- Easterling, W. E., Crosson, P. R., Rosenberg, N. J., McKenney, M. S., Katz L. A. y Lemon K. M. (1993). Towards an integrated impact assessment of climate change: The MINK study, Rosenberg N. J. (Ed). *Agricultural impacts of and responses to climate change in the Missouri-Iowa-Nebraska-Kansas (MINK) region*. p.p. 23-62. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Hernández Ramírez, C., Ortiz Paniagua, C. F. y Valencia, J. B. (2014). Modelos de vulnerabilidad agrícola ante los efectos del Cambio Climático. *Revista CIMEXUS*, Vol. IX, No. 2 (Julio-Diciembre, 2014). p.p. 31-48.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014 Synthesis Report*. Recuperado de:
http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- Jones J.W., Hoogenboom G., Porter C.H., Boote K.J., Batchelor W.D., Hunt L.A., Wilkens P.W., Singh U., Gijsman A.J., Ritchie J.T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy* No. 18. p.p. 235-265.
- Lozanoff, J. y Cap E. (2006). El impacto del cambio climático sobre la agricultura Argentina: Un estudio económico. Buenos Aires. Argentina. INTA.
- Maddison D., Manley M., and Kurukulasuriya P. (2007). The impact of climate change on African agriculture: A Ricardian approach. *Policy Reserch Working Paper 4306*. The World Bank, Washington D.C.
- Miglietta F., Magliago B., Bindi M. Cerio L., Vacari F.P., Loduca V., and Peresotti A. (1998). Free air CO₂ enrichment of potato (*Sola numtuberosum* L.): Development, growth and yield. *Global Change Biol.* 4:163–172.
- Magrin, G., C. Gay García, D. Cruz Choque, J.C. Giménez, A.R. Moreno, G.J. Nagy, C. Nobre and A. Villamizar, (2007) Latin America. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L.Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J.

- van der Linden and C.E. Hanson. Cambridge, UK. Eds., Cambridge University Press, 581-615.
- Medina, F. e Iglesias, A. (2009). Agricultural practices with greenhouse mitigation potential in Mediterranean countries: Evaluation and policy implications. IAAE Congress. Beijing (China).
- Mendelsohn, R., Nordhaus W. y Shaw D. (1994). The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis. *American Economic Review*, 84:753-771.
- Mendelsohn, R., Dinar A.y Sanghi A. (2001), The Effect of Development on the Climate Sensitivity of Agriculture, *Environment and Development Economics*, 6:85-101.
- Murgida A. M., Travasso M. I., González S. y Rodríguez G. R. (2014). Evaluación de impactos del cambio climático sobre la producción agrícola en la Argentina. Serie medio ambiente y desarrollo. No. 155. Naciones Unidas. Santiago de Chile, Chile.
- NRC (2011). America's Climate Choices: Final Report. National Research Council. The National Academies Press, Washington, DC, USA.
- OCDE (2000). Income Risk Mngement in Agriculture. France, OCDE.
- Oficina de Riesgo Agropecuario (2011). Proyecto riesgo y seguro agropecuario II. Informe del consultor Heinzenknecht, G. Recuperado de:
<http://www.ora.gov.ar/informes/enso.pdf>
- Ortiz de Zarate, M. J., Ramayon, J. J. y Rolla, A. L. (2014). Agricultura y Ganadería impacto y vulnerabilidad al cambio climático. Posibles medidas de adaptación. 3era comunicación nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático.
- Ramírez D., Ordaz L., Mora J. y Acosta A. (2010). La economía del cambio climático en Centroamérica. Comisión Económica para América Latina (CEPAL), sede subregional en México.
- Schlenker Wolfram, Hanemann W. Michael, and Fisher Anthony C. (2006). The Impact of Global Warming on U.S. Agriculture: An Econometric Analysis of Optimal Growing Conditions. *Review of Economics and Statistics*, 88(1): 113-25.
- Seo, S. N. y Mendelsohn R. (2008a) .A Ricardian analysis of the impact of climate change on Latin American farms. *Policy Research Series Working Paper*, N° 4163, Washington, D. C., Banco Mundial.

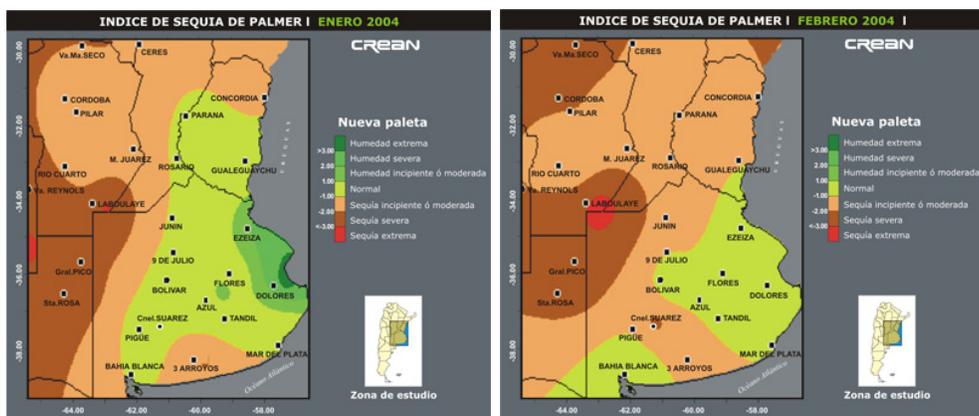
- _____ (2008b), "A Ricardian analysis of the impact of climate change on South American farms", *Chilean Journal of Agricultural Research*, 68(1). p.p. 69-79.
- _____ (2008c), "An analysis of crop choice: Adapting to climate change in Latin American Farms", *Ecological Economics*, 67. p.p. 109-116.
- _____ (2008d), "Measuring impacts and adaptations to climate change: A structural Ricardian model of African Livestock Management", *Agricultural Economics*, 38. p.p. 151-165.
- Smit, B., McNabb D. y Smithers J. (1996), "Agricultural adaptation to climatic variation", *Climatic Change*, 33. p.p.7-29.
- Terjung, W. H., Liverm D. M. y Hayes J. T. (1984). "Climate change and water requirements for grain corn in the North American plains", *Climatic Change*, 6 : p.p. 193-220.
- Thomasz, E. y Garnica Hervas, J. R. (2012). "Gestión del cambio climático en Ciencias Económicas", Casparri, M. T. García Fronti J. (Ed.) *Impacto Económico-Financiero y Actuarial del Riesgo Climático en Argentina*. p.p. 197-220. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Editorial: Facultad de Ciencias Económicas, UBA.
- Warrick, R.A. (1984). "The possible impacts on wheat production of a recurrence of the 1930's drought in the great plains", *Climatic Change*, 6: 5-26.
- Tannura, M.A., S.H. Irwin, and D.L. Good. "Weather, Technology, and Corn and Soybean Yields in the U.S. Corn Belt." Marketing and Outlook Research Report 2008-01, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign, February 2008.
- Ravelo, C. y Pascale, A. "Identificación de ocurrencia de sequías mediante imágenes del satélite NOAA e información terrestre (1997)", *Rev. Facultad de Agronomía*. 17 (1): 101-105.
- Minetti, J., Vargas, W., Vega B., y Costa M. (1997). "Las sequías en la pampa húmeda: impacto en la productividad del maíz", *Revista brasileira de meteorología*, v.22, n.2, 218-232.
- Scarpati, O., Capriolo, A. (2013). "Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal", *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, Núm. 82, 2013, pp. 38-51

ANEXO 1: ÍNDICE DE SEQUÍA DE PALMER

El Índice de Sequía de Palmer (PDI) (1965) fue desarrollado como un índice "para medir la deficiencia de humedad". Se basa en el concepto de demanda-suministro de agua, teniendo en cuenta el déficit entre la precipitación real y la precipitación necesaria para mantener las condiciones de humedad climática o normal. El procedimiento de cálculo requiere como datos de entrada, la Evapotranspiración Potencial, la precipitación mensual y el contenido de agua útil del suelo.

Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) de la Universidad Nacional de Córdoba.

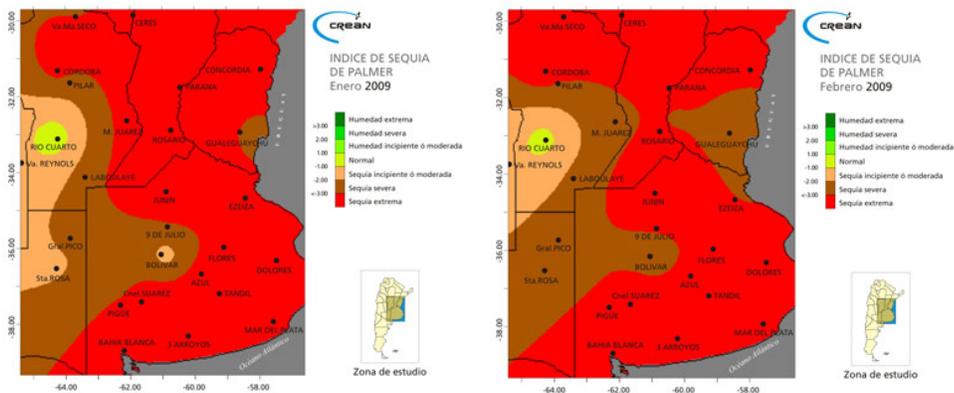
Figura 1: Índice de Sequía de Palmer. Enero y Febrero de 2004



Fuente: CREAN

En enero de 2004 se registra sequía incipiente en Córdoba, Sante Fe y este de Buenos Aires. Se registra sequía severa en el Sur de Córdoba y Noroeste de Buenos Aires. En tanto, durante febrero se extiende el área de sequía severa de Buenos Aires y Córdoba, y se extiende la sequía incipiente hacia el centro de la provincia de Buenos Aires.

Figura 2: Índice de Sequía de Palmer. Enero y Febrero de 2009



Fuente: CREAN

En enero y febrero de 2009 se registran índices de sequía severa y extrema en las tres provincias núcleo productoras de soja, prevaleciendo la situación extrema durante ambos meses.

Figura 3: Índice de Sequía de Palmer. Enero y Febrero de 2012



Fuente: CREAN

Durante enero de 2012 se registra severa en Córdoba, siendo de carácter extremo en el sur de dicha provincia. En toda la provincia de Santa Fe se registra sequía incipiente y severa en la zona sur. Durante febrero no se registran sequías considerables.