

Serie de Documentos de Trabajo del Programa de Vulnerabilidad Socioeconómica al Riesgo Climático

ProVul Working Paper Series

No.1 – Diciembre 2018

Valuación del impacto de eventos climáticos extremos y
pronóstico de la producción del poroto de soja utilizando el
índice S4

Autores:

Esteban Otto Thomasz

Ana Silvia Vilker



Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Económicas



PROGRAMA DE VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA AL RIESGO CLIMÁTICO

Director: Dr. Esteban Otto Thomasz

Co-Director: Lic. Mariano Eriz

Editor Responsable: Dr. Esteban Otto Thomasz

Universidad de Buenos Aires- Facultad de Ciencias Económicas

Av. Córdoba 2122 (C1120AAQ) - Ciudad Autónoma de Buenos Aires

ISSN 2683-7196

Los documentos de trabajo del ProVul muestran los avances de investigación realizados dentro del programa. Los autores son responsables de las opiniones expresadas en los documentos.



Esta es una obra bajo Licencia Creative Commons.
Se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribucientosinvestigacisz/" rtirigual 4.0 Internacional.

Valuación del impacto de eventos climáticos extremos y pronóstico de la producción del poroto de soja utilizando el índice S4¹

Esteban Otto Thomasz

Ana Silvia Vilker

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Económicas. Programa de Vulnerabilidad Socioeconómica al Riesgo Climático. Ciudad de Buenos Aires. Argentina.

ethomasz@econ.uba.ar

Resumen

El objetivo de este trabajo es testear la medición del impacto de eventos de sequía en la producción del poroto de soja mediante los denominados “índices de vegetación”, particularmente el índice S4.

Entre los principales resultados, se observa una elevada correspondencia en la identificación de casos de sequía severa a extrema respecto a la aplicación del Índice de Palmer. Como principal agregado, se destaca un mejoramiento del pronóstico de las cantidades producidas en la campaña en curso, respecto al modelo tendencial desarrollado por Thomasz *et al* (2018).

Palabras clave: riesgo climático, poroto de soja, valuación del impacto, índice verde, S4.

Abstract

The aim of this working paper is to measure the economic impact of droughts in soybean by means of a vegetation index, particularly the S4 index.

A high relation between decreases in yields due to droughts and low levels of the S4 index is found. Moreover, the index improves the forecast of production during the current agricultural campaign, in comparison with the average estimation presented in Thomasz *et al* (2018).

Keywords: climate risk, soybean, impact evaluation, green index, S4.

¹ Los autores agradecen la colaboración de: Santiago Gonzáles Vezano por proveer la información del índice S4 y de Melissa Herszage y Gonzalo Rondinone (investigadores ProVul FCE-UBA) para la elaboración de este documento de trabajo.

1. Introducción

El incremento de la variabilidad climática registrado en los últimos años es una tendencia creciente en el contexto del fenómeno del cambio climático, que ha generado y se espera siga generando fuertes impactos en el sector agrícola argentino.

Evaluar económicamente las pérdidas ocasionadas, particularmente por los efectos de eventos climáticos extremos, resulta un paso necesario para determinar la escala del impacto (local, regional o macroeconómico), su distribución temporal y territorial, y su efecto sobre el sistema de precios. La medición de los impactos pasados y la proyección de los futuros, brinda la información necesaria para el diseño del tipo de herramienta de adaptación o mitigación, las proporciones de participación público-privada, y de qué manera resolverlo: si a partir de la implementación de instrumentos de cobertura, construyendo obras de infraestructura o bien a través de estrategias de diversificación productiva.

El Programa en Medición de la Vulnerabilidad Socioeconómica al Riesgo Climático (ProVul) ha desarrollado el Sistema de Evaluación de Pérdidas por Sequías e Inundaciones, el cual se basa en la metodología desarrollada por Thomasz *et al* (2018) para el caso de las sequías y Zanvettor *et al* (2017) para el caso de las inundaciones. A partir de las estimaciones realizadas se pudo concluir que, en el caso del poroto de soja, las sequías son un fenómeno que pueden afectar una gran área geográfica (una provincia completa o un conjunto de ellas), mientras que las inundaciones sólo tienen impactos locales, es decir, a nivel de explotación o conjunto de explotaciones. En este sentido, mientras que las pérdidas directas de la producción del poroto de soja pueden llegar a tener un impacto macroeconómico en el caso de una sequía severa, el impacto económico de las inundaciones en dicho cultivo resulta ser considerablemente inferior.

No obstante, una de las principales limitaciones del estudio es la atribución entre el fenómeno climático y el impacto productivo, el hecho de analizar campañas donde solamente se registran extremos y el retraso en el proceso de publicación de los datos de índole agronómica generan que la estimación de pérdidas sólo puede realizarse *ex post*.

Por ello, en este estudio se realiza la medición del impacto apelando al uso del Índice S4, el cual constituye un *proxy* del estado del cultivo en su período crítico. Una de las ventajas de este abordaje es que el índice evalúa directamente en los meses de enero o febrero el estado de la planta, permitiendo proveer en forma anticipada la estimación del impacto. No obstante, en este estudio preliminar, se testea la relación entre el valor del índice y el

impacto ulterior en los datos de rendimiento y pérdida de área. Esto permite no sólo medir el impacto real sino también la capacidad predictiva del índice S4.

Para ello en la primera sección de este documento de trabajo se explicita brevemente la metodología utilizada para medir el impacto y los materiales utilizados. En segunda instancia se procede a realizar una estimación del impacto de las sequías aplicando información del índice verde. En la tercera sección se testea la capacidad predictiva del índice en comparación con la media tendencial obtenida a partir de la metodología desarrollada por Thomasz *et al* (2018). Las características del índice de Palmer y del índice de sequía e inundaciones S4 se presentan como anexos.

2. Materiales y métodos

Se analizan 17 campañas agrícolas (2000/2001 a 2016/2017) del cultivo de poroto de soja a nivel departamental para las provincias de Buenos Aires, Chaco, Córdoba, Entre Ríos, Formosa, La Pampa y Santa Fe.

En cuanto a la información, en el caso de la agronómica se utilizó el área sembrada y cosechada, la producción y los rendimientos a nivel departamental disponible en el portal de datos abiertos de la Secretaría de Agroindustria². Mientras que en la satelital se contó con los valores del índice S4 para el período crítico del cultivo a nivel departamental, construido a partir de datos de LandSat.

Como contraste general de la situación climática, se utilizaron los mapas del índice de sequía de Palmer elaborados por el Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN– UNC – CONICET) y datos de precipitaciones brindadas por el Centro de Investigaciones del Mar y de la Atmósfera (CIMA) y del Servicio Meteorológico Nacional.

En cuanto al proceso metodológico del análisis de los datos, se identifican casos de desviaciones extremas en los rendimientos del poroto de soja respecto a su nivel tendencial y las pérdidas de área de acuerdo a su variabilidad histórica, siguiendo la metodología desarrollada en Thomasz *et al* (2018) para las sequías y Zanvettor *et al* (2018) para las inundaciones.

En este trabajo se presenta la evaluación económica de las pérdidas acaecidas en el mismo cultivo, pero en aquellas campañas en que:

² <https://www.agroindustria.gob.ar/datosabiertos/>

- i) los rendimientos fueran menores a un desvío estándar de la diferencia entre la producción estimada y la producción observada y,
- ii) verificaran que el índice de sequía S4 fuera menor a un desvío estándar de los valores de la serie, campañas 2000/01 al 2016/17, correspondiente a este indicador.
- iii) La evaluación del impacto se calculó cuando se registraron ambas condiciones.
- iv) Se realizó un análisis de contrastación de los casos seleccionado y de los casos omitidos con datos del índice de sequía de Palmer y datos de precipitaciones.

3. Análisis y resultados

En los tres puntos siguientes se calculó lo siguiente para cada uno de los 246 departamentos analizados:

- 1. Correlación entre los rendimientos del poroto de soja e índice verde
- 2. Valuación del impacto económico
- 3. Capacidad de pronóstico

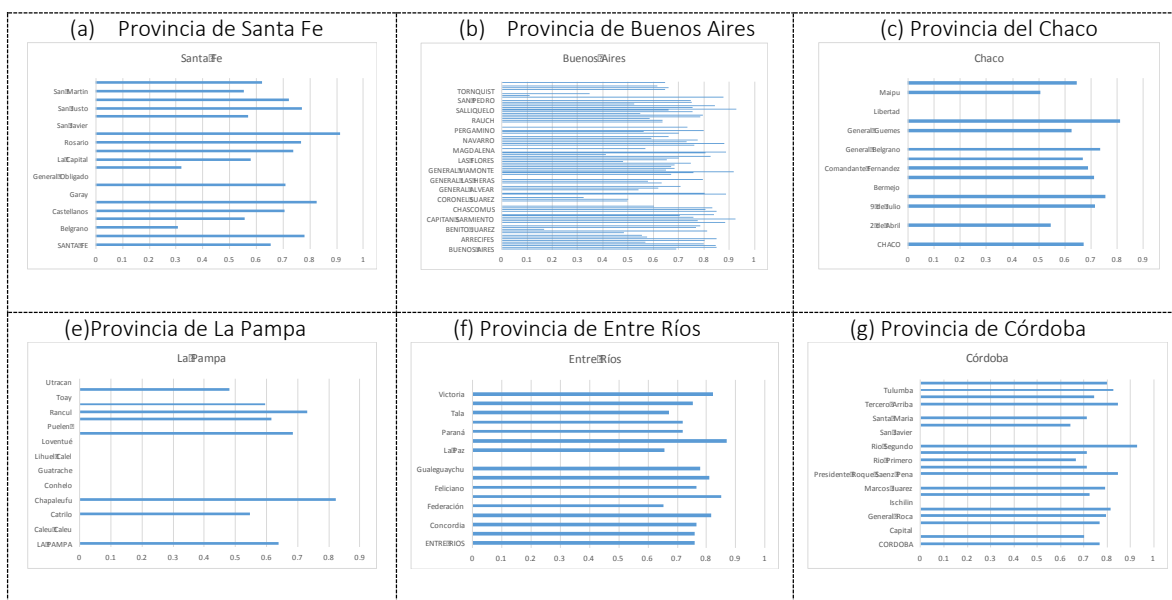
Los mismos se desarrollan en las secciones subsiguientes.

3.1 Correlación

Existe una correlación promedio del 70% entre la evolución de índice de rendimientos³ del poroto soja y la evolución normalizada del índice S4. A nivel de cada departamento en particular, la correlación puede llegar hasta un máximo del 93% (figura 1).

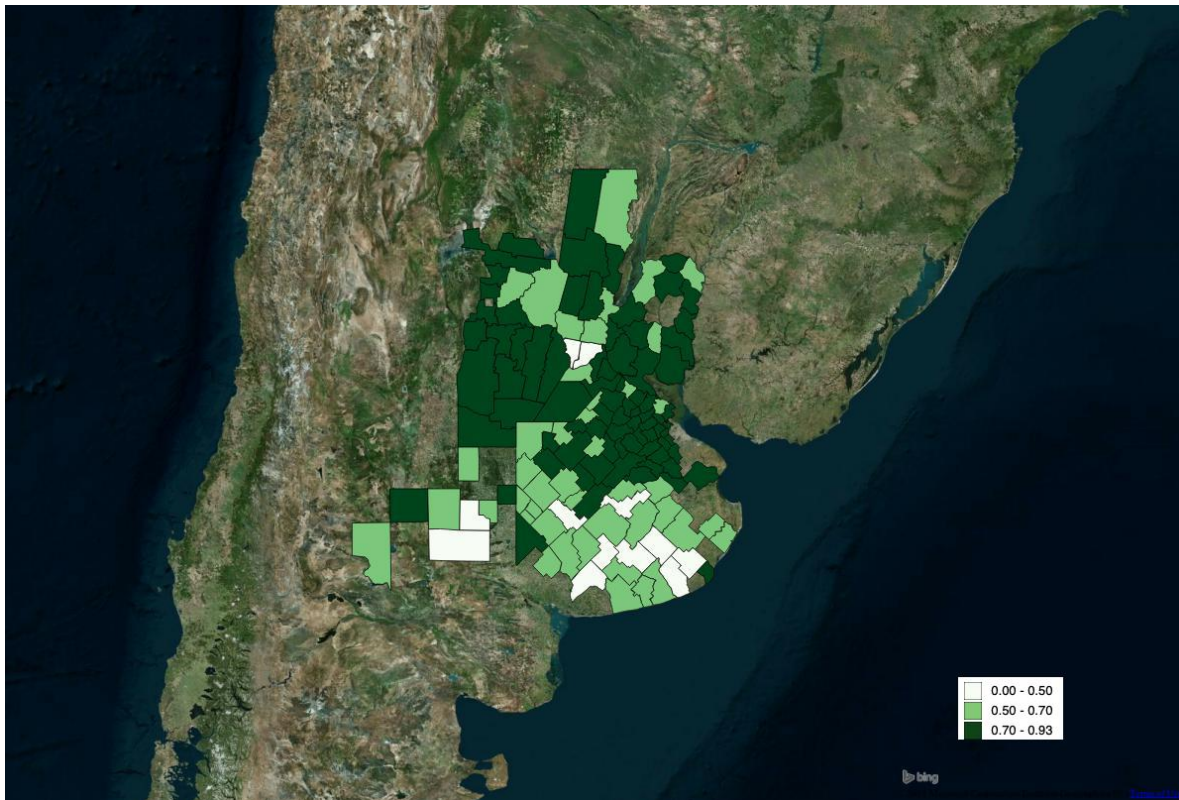
³ El índice de rendimientos es calculado en base al ajuste tendencial desarrollado en Thomasz *et al* (2018).

Figura 1: Coeficiente de correlación entre índice de rendimientos del poroto de soja e índice S4



Fuente: elaboración propia.

Figura 2: Coeficiente de correlación entre índice de rendimientos e índice S4



Fuente: elaboración propia mediante el software libre QGIS

No obstante, el coeficiente de correlación es un indicador promedio que contempla tanto las subas como las bajas en los rendimientos. Como el foco del análisis está en eventos que generan efectos negativos en la economía, resulta útil observar el nivel de correspondencia entre los rendimientos y el índice S4 en los casos adversos, es decir cuando se verifican caídas en los rindes y/o niveles deficientes de verdor.

Si se analizan exclusivamente los valores negativos de ambas series, a nivel agregado se observa que existe una relación de coincidencia del 62,5% entre los casos de caídas extremas de rendimientos y valores inferiores extremos del índice S4⁴. En cambio, esta relación llega al 84% si la comparación se realiza dentro de la campaña 2008/09 donde se registra sequía severa. En tanto, si dentro de ese año se analiza lo ocurrido provincia por provincia, la coincidencia entre caídas extremas en los rindes y valores bajo del índice S4 puede llegar a ser total (100%), como el que se verifica en los casos de Entre Ríos y La Pampa en 2008/09 (Tabla 1).

⁴ Casos que superan una desviación estándar en valores negativos en la serie normalizada.

Tabla 1. Relación entre caídas extremas de rendimientos y valores inferiores extremos del índice S4

Provincia/Año	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08
Buenos Aires	0%		75%	0%		0%	0%	0%
Chaco				31%	33%			
Córdoba			0%	0%	0%			
Entre Ríos				33%		33%		
La Pampa		100%				50%	100%	
Santa Fe				0%	0%	0%		0%
Total	0%		60%	21%	25%	33%	50%	0%

Tabla 1 continuación

Provincia/Año	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17
Buenos Aires	87%	0%	0%	63%	0%	27%		0%	0%
Chaco	60%	100%		70%	55%		67%	0%	
Córdoba	63%	0%	50%	100%	100%				
Entre Ríos	100%							80%	
La Pampa	100%		40%		50%				
Santa Fe	86%			75%		0%		0%	
Total	84%	17%	23%	76%	70%	25%	67%	36%	0%

Fuente: elaboración propia.

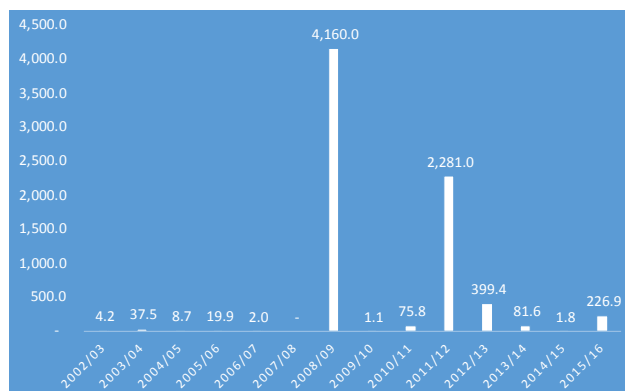
En líneas generales, existe una relación consistente entre la evolución de los rendimientos y del índice verde medido a través del coeficiente de correlación, amén de ser dispar a lo largo de los departamentos que componen la muestra analizada. Vale destacar que en muchos casos el relevamiento de datos de producción agrícola puede tener ciertos márgenes de error, considerables en algunos casos, perdiendo la robustez en los análisis de sensibilidad promedio.

No obstante, la relación entre la evolución de rendimientos y niveles del índice verde es más marcada en casos extremos, es decir, cuando ambas variables registran valores que superan una desviación estándar respecto a su valor promedio. Este enfoque resulta relevante dado que en esta etapa del estudio se focalizan en la valuación e identificación de pérdidas, siendo más relevante la relación entre las desviaciones negativas en ambas series.

3.2 Valuación del impacto

En cuanto la valuación del impacto, el costo económico de la pérdida directa del poroto de soja estimado en base a los casos extremos de falta de verdor que coinciden con caídas extremas de rindes, asciende a u\$s 8.300 millones durante el período 2000-2017 (17 campañas), sin tener en cuenta el efecto del valor-tiempo del dinero. Los órdenes de magnitud coinciden con los valores estimados por Thomasz *et al* (2017) y Thomasz *et al* (2018).

Figura 3: Valuación económica de las pérdidas por sequía mediante índice S4
-en millones de dólares-



Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los casos valuados a nivel provincial, se verificó un elevado nivel de coincidencia entre los valores identificados por el modelo con eventos de sequía de acuerdo a los valores del índice de sequía de Palmer. Solamente en el caso de Chaco en la campaña 2014/15 se observa un nivel de humedad normal con valores de sequía incipiente en el mes de marzo, por lo que en principio la falta de verdor caída de rendimiento no podría adjudicarse en su totalidad a un evento de sequía. No obstante, su relevancia económica es baja, ascendiendo a u\$s 1,76 millones (Tabla 2).

Tabla 2: Valuación económica

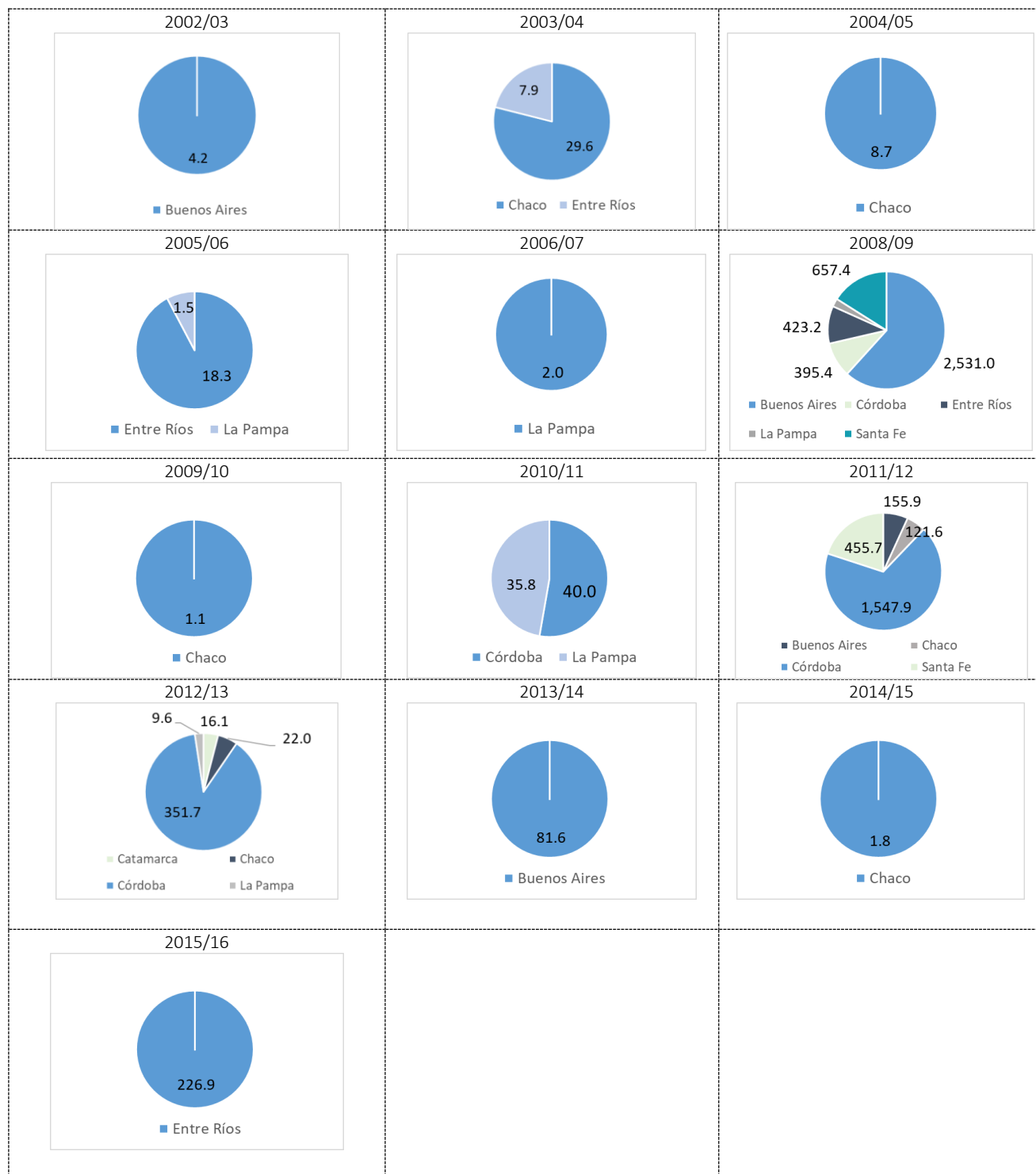
Provincia/Año	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08
Total	-	0.0	4.2	37.5	8.7	19.9	2.0	-
Buenos Aires	-	-	4.15	-	-	-	-	-
Catamarca	-	-	-	-	-	-	-	-
Chaco	-	-	-	29.62	8.72	-	-	-
Córdoba	-	-	-	-	-	-	-	-
Entre Ríos	-	-	-	7.90	-	18.32	-	-
Formosa	-	-	-	-	-	0.02	-	-
La Pampa	-	0.0	-	-	-	1.54	1.98	-
Santa Fe	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2 continuación

Provincia/Año	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17
Total	4,160.0	1.1	75.8	2,281.0	399.4	81.6	1.8	226.9	-
Buenos Aires	2,531.02	-	-	155.88	-	81.57	-	-	-
Catamarca	-	-	-	-	16.14	-	-	-	-
Chaco	60.28	1.14	-	121.56	21.96	-	1.76	-	-
Córdoba	395.41	-	39.9	1,547.86	351.74	-	-	-	-
Entre Ríos	423.21	-	-	-	-	-	-	226.88	-
Formosa	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La Pampa	92.68	-	35.83	-	9.56	-	-	-	-
Santa Fe	657.43	-	-	455.68	-	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

Figura 4: Distribución por provincia de las pérdidas estimadas
-en millones de dólares-

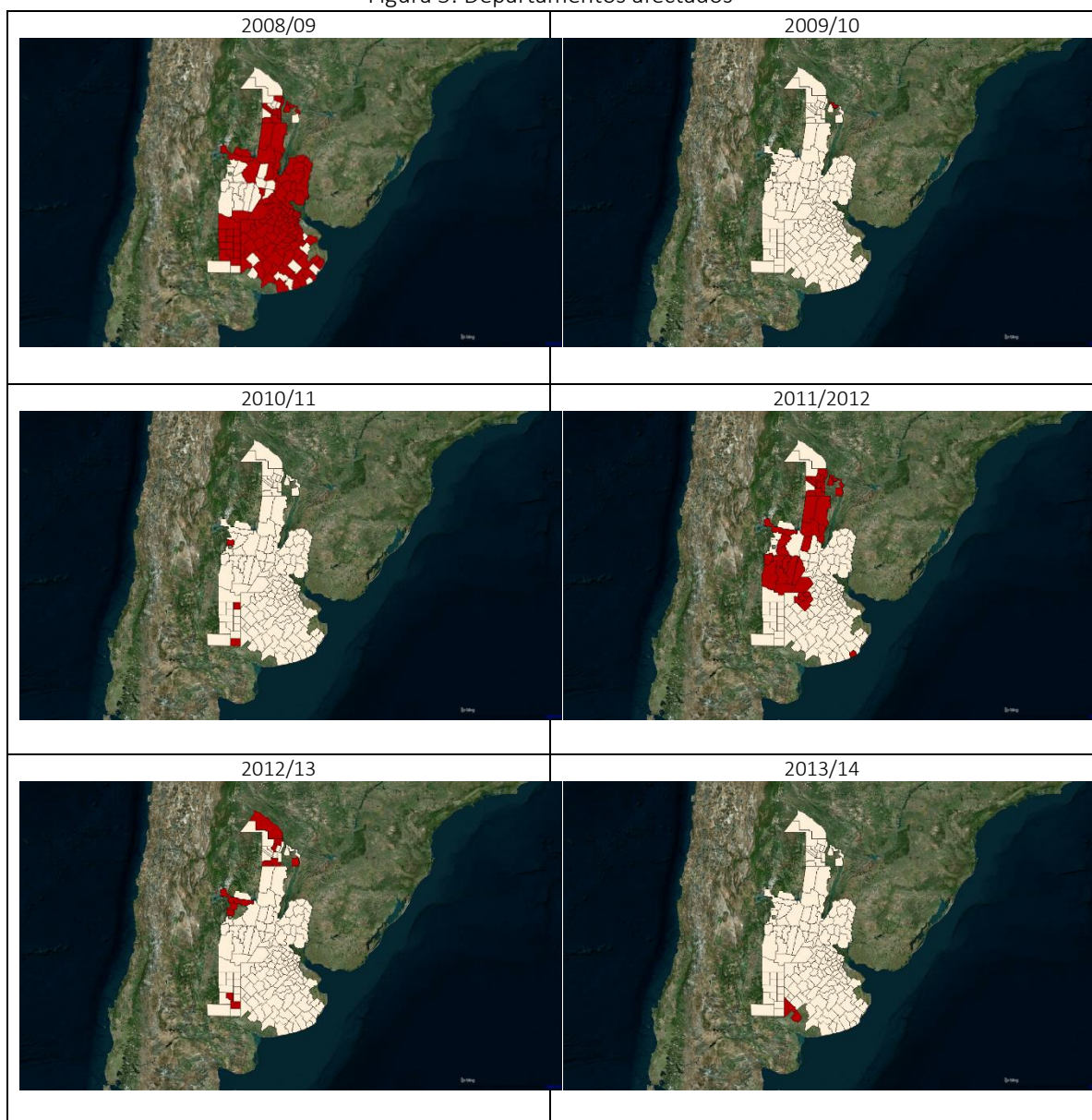


Fuente: elaboración propia

Respecto a la distribución de las pérdidas a nivel departamental, se observa un fuerte agrupamiento y extensión territorial en las campañas 2008/09 y 2011/12, mientras que en

el resto las pérdidas se generaron en un puñado muy reducido de departamentos. No obstante, vale destacar que una de las ventajas que presenta este relevamiento es la identificación de casos locales (2009/10, 2010/11, 2012/13 y 2013/14) y no solamente sequías generalizadas.

Figura 5: Departamentos afectados



Fuente: elaboración propia mediante el software libre QGIS

En líneas generales, la mayor disponibilidad de información que puede ser procesada a partir de sensores remotos y datos satelitales, como así también la capacidad de obtenerla a escalas pequeñas, permite identificar con mayor precisión eventos puntuales que quedan circunscriptos a áreas geográficas más reducidas.

Por otro lado, el hecho que el índice observe en forma directa el estado de la planta, genera una mayor capacidad de predicción del resultado futuro al momento de la cosecha, al menos como relevamiento general de todo el territorio sojero nacional.

En suma, entre las principales ventajas del relevamiento realizado en base al índice verde pueden mencionarse:

- Escala
- Proxy de relación con variables climáticas, sobre todo en extremos
- Anticipación

Respecto al último punto listado, en la siguiente sección se evalúa la capacidad de anticipación del índice para la medición de impacto.

3.3 Pronóstico

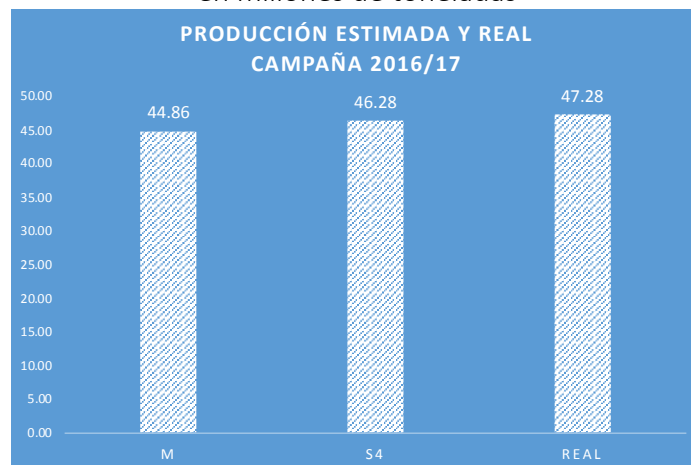
Uno de los usos más importantes que puede darse a los sensores remotos es el pronóstico (*forecast*) de la situación futura para un área geográfica extensa, cuyo relevamiento *in situ* resultaría extremadamente dificultoso.

Observando el estado del índice verde durante el período crítico, y a través del modelo de estimación de la producción tendencial desarrollado por Thomasz *et al* (2019), puede ensayarse la estimación de la producción de la campaña con cuatro meses de anticipación (estimando una visualización del período crítico durante enero y cosecha en abril, ambas en promedio), ajustando la producción tendencial por los valores del índice de vegetación.

Para ello, se estimó un modelo de regresión lineal simple entre un índice de rendimientos normalizado y el índice S4 normalizado para cada uno de los departamentos que componen el universo analizado. De esta forma, se ajusta la estimación tendencial por los valores observados del índice S4 durante el período crítico para dar una estimación del nivel de producción de la campaña en curso. A los fines de utilizar la mayor cantidad de datos posibles, se aplicó un ensayo para la campaña 2016/17, realizando un ejercicio de *backtesting*.

Se encuentra que para la campaña analizada la estimación por producción tendencial y la proyección mediante el índice S4 no difieren significativamente, y ambas fueron un buen predictor de lo finalmente producido: la estimación mediante el modelo tendencial fue de 44.86 millones de toneladas, ajustada por S4 se ubicó en 46.28 millones de toneladas y la producción final real fue de 47.28 millones de toneladas (figura 6).

Figura 6: Estimación de la producción de la campaña 2016/17
-en millones de toneladas-



Fuente: elaboración propia

Si bien en este caso la regresión estimada mediante el índice S4 mejora levemente la proyección de producción a nivel agregado, la campaña analizada no fue afectada por eventos climáticos extremos y por ello la estimación cae dentro del intervalo de confianza de la estimación del modelo tendencial, e incluso en este caso muy cerca de la media tendencial.

No obstante, la estimación tendencial falla en campañas con eventos climáticos desfavorables que afectan la producción del poroto de soja, y en tales casos el ajuste por S4 puede proveer mejores pronósticos de la producción futura.

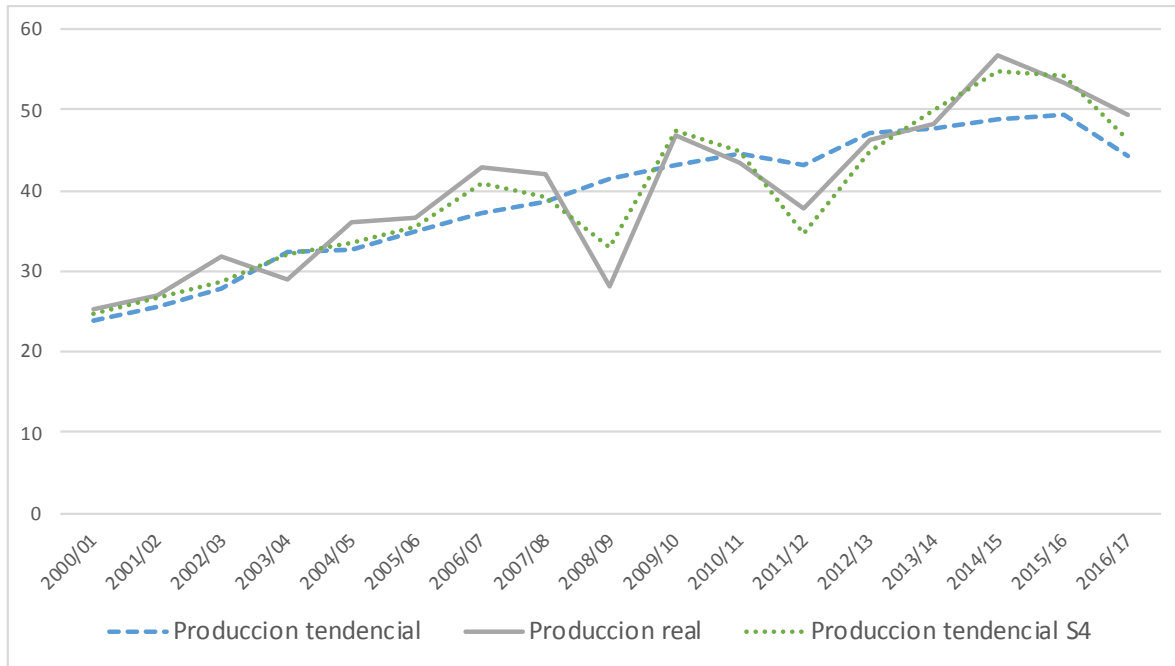
Entre los aspectos salientes se destaca:

El modelo ajustado por el índice S4 estima valores más cercanos a la producción real, mientras que el enfoque tendencial brinda estimaciones de la producción promedio esperada en ausencia de eventos climáticos favorables o desfavorables.

Los resultados obtenidos a partir del índice S4 brinda una corrección muy favorable para predecir la producción en contextos de sequía severa a moderada (campañas 2008/09 y 2011/12), donde la producción real se desvió considerablemente del nivel tendencial.

Por ello, se realiza un ejercicio de reconstrucción del modelo hacia el pasado para observar las mejoras que se generan ajustando la producción tendencial mediante el índice S4.

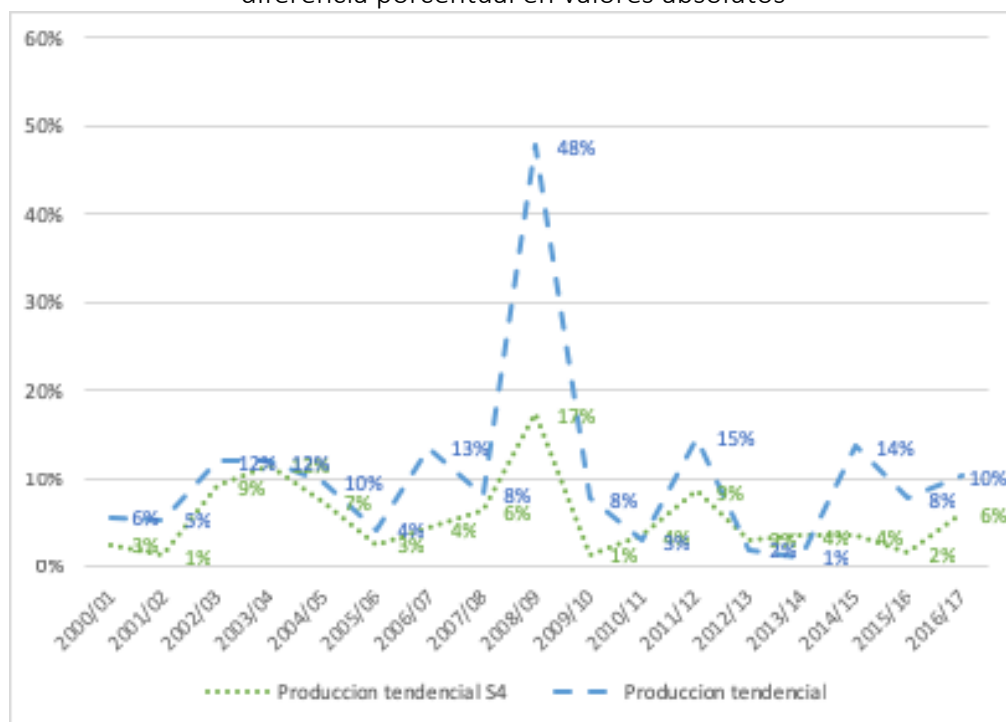
Figura 7: Producción real, producción estimada tendencial y producción estimada tendencial ajustada por índice S4
-en millones de toneladas-



Fuente: elaboración propia

En efecto, mientras que en una campaña considerada normal el error de estimación promedio del modelo tendencial es del 9%, contra el 6% del ajustado por índice S4, el error de la campaña 2008/09 fue del 48% y del 17%, respectivamente (figura 8). Es decir, ante eventos climáticos extremos negativos (particularmente sequía) el ajuste por índice S4 redujo en 30 puntos porcentuales el error de estimación.

Figura 8: Diferencia de estimación del modelo tendencial y modelo tendencial ajustado por [índice S4](#) respecto a la producción real
-diferencia porcentual en valores absolutos-



Fuente: elaboración propia

De esta forma, el pronóstico de producción ajustada por índice S4 permite hacer una valoración de la campaña futura con menores márgenes de error que la del modelo tendencial. No obstante, mientras que el modelo tendencial puro puede ser estimado entre los meses de octubre o noviembre, el ajuste por índice S4 sólo puede realizarse en enero-febrero del año siguiente, dependiendo del período crítico del cultivo en cada región geográfica.

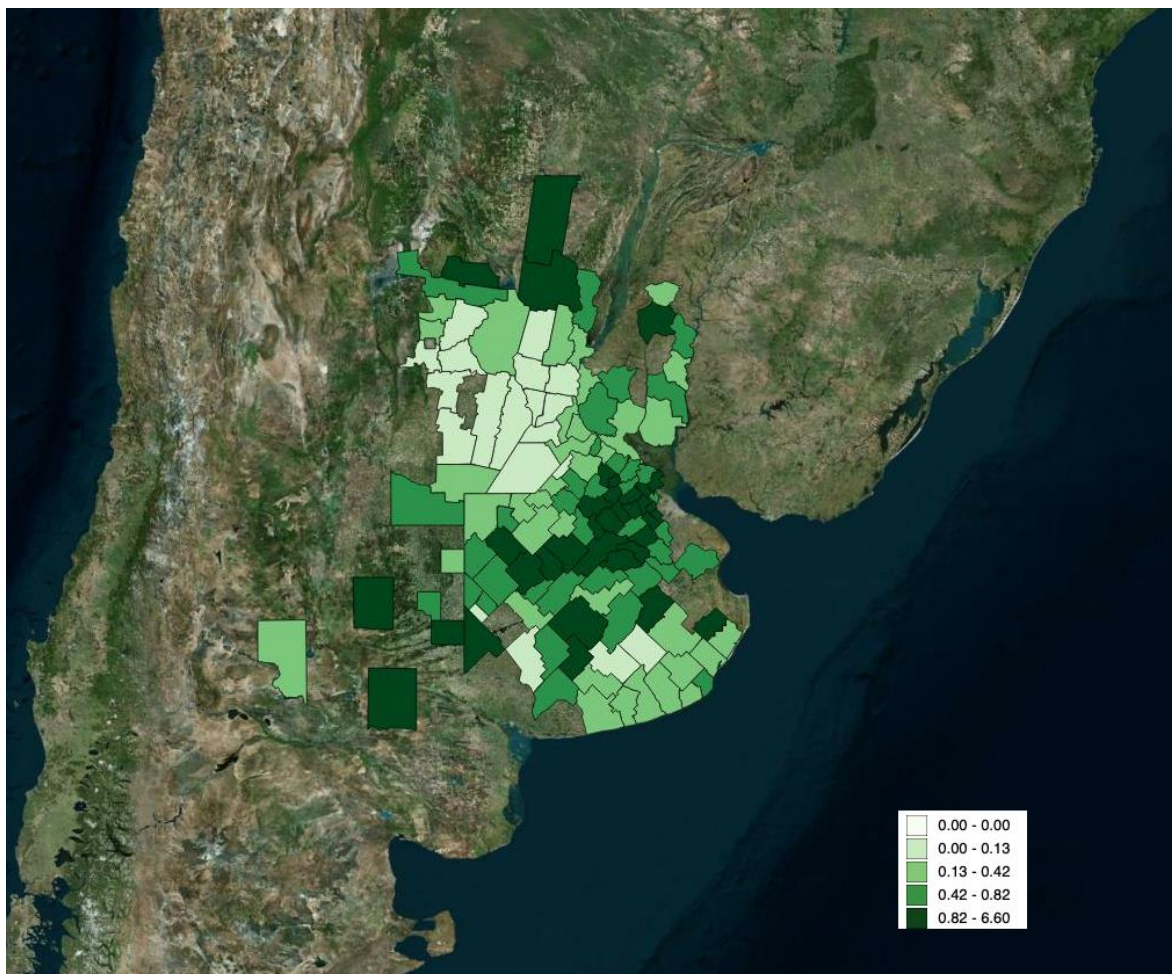
De esta forma, el ajuste por índice S4 brinda un *proxy* del estado final de la cosecha con aproximadamente 3 a 4 meses de anticipación. Esta información en forma anticipada resulta sumamente importante sobre todo en períodos de eventos desfavorables, permitiendo planear con mayor anticipación las políticas de asistencia y emergencia agropecuaria.

Por ello resulta necesario explorar el pronóstico a nivel de departamento, a los fines de determinar donde el modelo arroja mayores niveles de confiabilidad.

En el caso particular de la campaña 2008/09, el ajuste por índice S4 mejoró el pronóstico en el 94% de los casos (228 de los 246 departamentos analizados), respecto a la proyección realizada mediante la media tendencial.

En el mapa siguiente se presentan los departamentos ordenados según la mejora en la proyección ajustada por índice S4 respecto a la media tendencial (el verde oscuro implica las mejores correcciones generadas por índice S4).

Figura 9: mejora en la proyección ajustada por índice S4 respecto a la media tendencial



Fuente: elaboración propia mediante el software libre QGIS

4. Síntesis y conclusiones

En líneas generales, existe (i) una marcada relación entre los rendimientos del poroto de soja y el índice S4 (medido por el coeficiente de correlación), (ii) una elevada correspondencia entre la caída en los rindes y la deficiencia de verdor medido por S4, sobre todo en campañas con sequía severa a extrema, (iii) una valuación de las pérdidas económicas consistentes con estudios previos realizados en base al índice de sequía de Palmer y (iv) un mejoramiento sustancial del pronóstico de producción agregada de la campaña en curso respecto a la proyección de la media tendencial.

Entre los principales desafíos pueden mencionarse los siguientes:

- Aún resta mejorar el monitoreo y evolución de las pérdidas producto de inundaciones. La escala de análisis a nivel departamental solamente resulta viable en caso de inundaciones que afecten grandes áreas.
- Pronóstico para la próxima campaña: la *proxy* provista por el índice S4 mejora el pronóstico de la campaña en curso. Resta aún desarrollar modelos que permitan pronosticar impactos tentativos previo al momento de siembra, a los fines de proveer información útil al productor primario.
- Pronóstico de largo plazo para adaptación y mitigación: desarrollo de modelos de simulación que permitan proyectar pérdidas y ganancias a plazos largos, a los fines de fundamentar la viabilidad económica-financiera de medidas de adaptación o mitigación vinculadas a obras de infraestructura.

5. Referencias bibliográficas

Alonso D. (2017) NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*): Qué es y cómo calcularlo con SAGA desde QGIS. Disponible en:

<https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/>

Bolsa de Cereales. (2018). Panorama Agrícola Semanal (PAS). Disponible en:

<http://www.bolsadecereales.org.ar/pas>

Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN). (2018). Índice de Palmer – Palmer Drought Severity Index (PDSI). Disponible en:

<http://www.crean.unc.edu.ar/pdsi-2018/>

Índices de sequía S4. Fundamento (2018). Disponible en:

http://www.matba.com.ar/pdf/Varios/Descripcion_Tecnica_de_los_Indices_Climaticos_S4.pdf

Irwin, S., & Good, D. (2015). Forming Expectations for the 2015 US Average Soybean Yield: What Does History Teach Us?. *Farmdoc daily* (5): 51. Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign.

Meneses-Tovar, C.L. (2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación. *Unasylva* 238, Vol. 62. Pp 39-46. Disponible en:

<http://www.fao.org/docrep/015/i2560s/i2560s07.pdf>

Del Pino, J. D.; Pita, M.F.; García Barrón, L. (2018). Aplicación del índice de Palmer para el análisis de la sequía en Andalucía. Disponible en:

http://www.ame-web.org/images/stories/Congresos/31-Sevilla-2010/5A_Delpino.pdf

Tannura, M., Irwin, S. and Good, D. (2008). "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.

Programa de Vulnerabilidad Socioeconómica al Riesgo Climático –Provul- (2018). Reporte No. 1-2018: Proyecciones sequía 2017-18. Y reporte No: 4-18: Autopsia sequía 2018.

Disponibles en: http://www.economicas.uba.ar/institutos_y_centros/provul/

Thomasz, E.; Rondinone, G. Vilker A. y Eriz M. (2017). El impacto económico de los eventos climáticos extremos en Argentina. El caso de la soja en la zona núcleo ¿Riesgo climático o déficit de infraestructura? Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de Buenos Aires. 1ra edición. Ciudad de Buenos Aires. Disponible en:

http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/?c=libros&a=d&d=Thomasz-Rondinone-Vilker-Eriz_El-impacto-economico-de-los-eventos-climaticos-extremos-en-Argentina-2017

Thomasz, E.; Rondinone, G. Vilker A. (2019). The economic cost of extreme and severe droughts in soybean production in Argentina. *Contaduría y Administración* 64 (1), 2019, 1-24. Universidad Nacional de México. México. Disponible en:
<http://www.cya.unam.mx/index.php/cya>

Zanvettor,R.E.; Ravelo A.C.; Thomasz E.O.y Sanchez S.S. (2017). Evaluación agroclimática y económica de los efectos adversos de excesos hídricos en la región pampeana argentina. *RADA*, 2017, VOL. VIII. pp 1-13.

ANEXO 1

INDICES DE VEGETACIÓN

Los **índices de vegetación** son combinaciones de las *bandas espectrales* registradas por los satélites de *Teledetección*, cuya función es realzar la vegetación en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros elementos como el suelo, la iluminación, el agua, etc. Se trata de imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas *bandas espectrales*.

El resultado de estas operaciones permite obtener una nueva imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales.

De entre todos, el **NDVI** (*Normalized Difference Vegetation Index*) es el *índice de vegetación* más utilizado (Alonso D., 2017). El NDVI mide la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres. Aplicado a las comunidades de plantas, el índice arroja valores de intensidad del verdor de la zona, y da cuenta de la cantidad de vegetación presente en una superficie y su estado de salud o vigor vegetativo. El NDVI es un índice no dimensional, y por lo tanto sus valores van de -1 a +1.

En la práctica valores por debajo de 0,1 corresponden a los cuerpos de agua y a la tierra desnuda, mientras que valores más altos son indicadores de la actividad fotosintética del bosque templado, la selva y la actividad agrícola. (C.L. Meneses-Tovar, *pág. 40*)

El cálculo del **NDVI** se hace mediante la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

Es decir, mediante la diferencia entre la *reflectancia* de las bandas 4 (infrarrojo cercano) y 3 (visible – rojo) dividido por la suma de estas dos bandas de *reflectancia*.

<https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/>

El índice S4 se construye a partir del índice verde mejorado (EVI) cuya fórmula es la siguiente:

$$EVI = \frac{IRC - R}{(IRC + C1 * R - C2 * B + L)}$$

IRC. Infrarrojo cercano

R: Rojo

C1: Coeficiente = 6

C2: Coeficiente = 7,5

B: Banda

L: Coeficiente = 1

Este índice es registrado por el sensor Modis del satélite Terra de la NASA. El EVI presenta valores para un cultivo determinado en su período crítico y sirve para la determinación del rendimiento. El cultivo es identificado mediante datos de sensores en satélites LANSAT, *también perteneciente a la NASA.*

Las imágenes tomadas de un cultivo se realizan en función de su momento reproductivo, y son convertidas a vectores (Polígono) representando la extensión del cultivo en una campaña determinada. El área detectada se compara con los datos de otras fuentes como son la Secretaría de Agricultura y Pesca, USDO, etc. El resultado de esta comparación indica que el proceso espectral arroja un resultado del 87% de lo declarado en los organismos oficiales.

Las imágenes aportadas por el/los satélites (Terra-Aqua) para un determinado cultivo, en un periodo dado y en un espacio geográfico, deben cumplir con el comportamiento fenológico esperado.

El último paso en el armado del índice S4 se basa en la elección del momento que se considera período crítico del cultivo que depende del producto y las interacciones genotipo/manejo y el medio ambiente para distintas latitudes.

En el desarrollo de un cultivo no todos los momentos del año tienen la misma importancia. Las condiciones climáticas en el período de floración y llenado de granos, en general, tienen un impacto considerable en el resultado final. El resultado de modelos de ajuste entre el rendimiento y el valor del índice S4 es del 70%.

Los valores del S4 van de 0 a 1 un valor cercano a cero indicaría una baja biomasa y probablemente escasas lluvias, mientras que un valor cercano a 1, mostraría un buen resultado en el cultivo y una alta probabilidad de una buena productividad.

(http://www.matba.com.ar/pdf/Varios/Descripcion_Tecnica_de_los_Indices_Climaticos_S4.pdf)

ANEXO 2

ÍNDICE DE SEQUÍA DE PALMER

El índice de sequía de Palmer permite identificar y establecer el nivel de severidad de las sequías independientemente de la zona climática, mediante este indicador se puede comparar el estado de la sequía para diferentes zonas y períodos.

Este índice no está hecho sólo en base a la valorización de la precipitación sino en un modelo que toma en cuenta el balance de la humedad del suelo. Es decir, analiza la diferencia entre la precipitación real y la necesaria para mantener un balance de humedad normal del terreno, estudiando mes a mes si las condiciones de humedad son las esperadas.

Para el índice de Palmer el valor representativo de las condiciones de humedad es la lluvia registrada, pero difiere de otros autores al definir la anomalía, pues compara la precipitación acaecida con la lluvia climáticamente apropiada para las condiciones existentes en una determinada región o sector. Esta es una diferencia importante con otros indicadores, ya que mayormente estos comparan el nivel de precipitación registrado con la media o la mediana del período estudiado.

Entonces el problema pluviométrico no depende solamente de la precipitación real y de la esperada de acuerdo al período, sino también de las condiciones pluviométricas anteriores que determinan la humedad del suelo. Esta última está determinada por la recarga del suelo, la evapotranspiración y el tipo de escurrimiento de la superficie. (J. D. Del Pino, J. D.; Pita, M.F.; García Barrón, L. 2018).

Según el Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) de la Universidad Nacional de Córdoba que elabora el Índice de Sequía de Palmer (PDI) mensualmente para Argentina, el indicador 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.

Los valores estandarizados del Índice de Palmer varían de – 6.0 (sequía extrema a +6.0 (condiciones extremas de humedad) y han sido caracterizadas para facilitar las comparaciones entre regiones de la siguiente manera:

Valores del índice	Categoría	Valores del índice	Categoría
> 4	Condición humedad extrema	-1- -1.99	Sequía suave
3-3.99	Condición muy humedad	-2 - -2.99	Sequía moderada
2 - 2.99	Condición humedad moderada	-3 - -3.99	Sequía severa
1 - 1.99	Condición humedad suave	= - 4	Sequía extrema
0.5 - 0.99	Condición humedad incipiente		

Fuente: Oficina de Riesgo Agropecuario

ANEXO 3
CONTRASTACIÓN CON ÍNDICE DE SEQUÍA DE PALMER: CASOS OMITIDOS O
SOBREESTIMADOS

Campaña 2003/04: Mediante el criterio aplicado, el índice S4 no identificó ningún extremo en provincia de Córdoba (que fue la más afectada por una sequía) mientras que según el análisis de rindes hay 6 departamentos con caídas extremas.

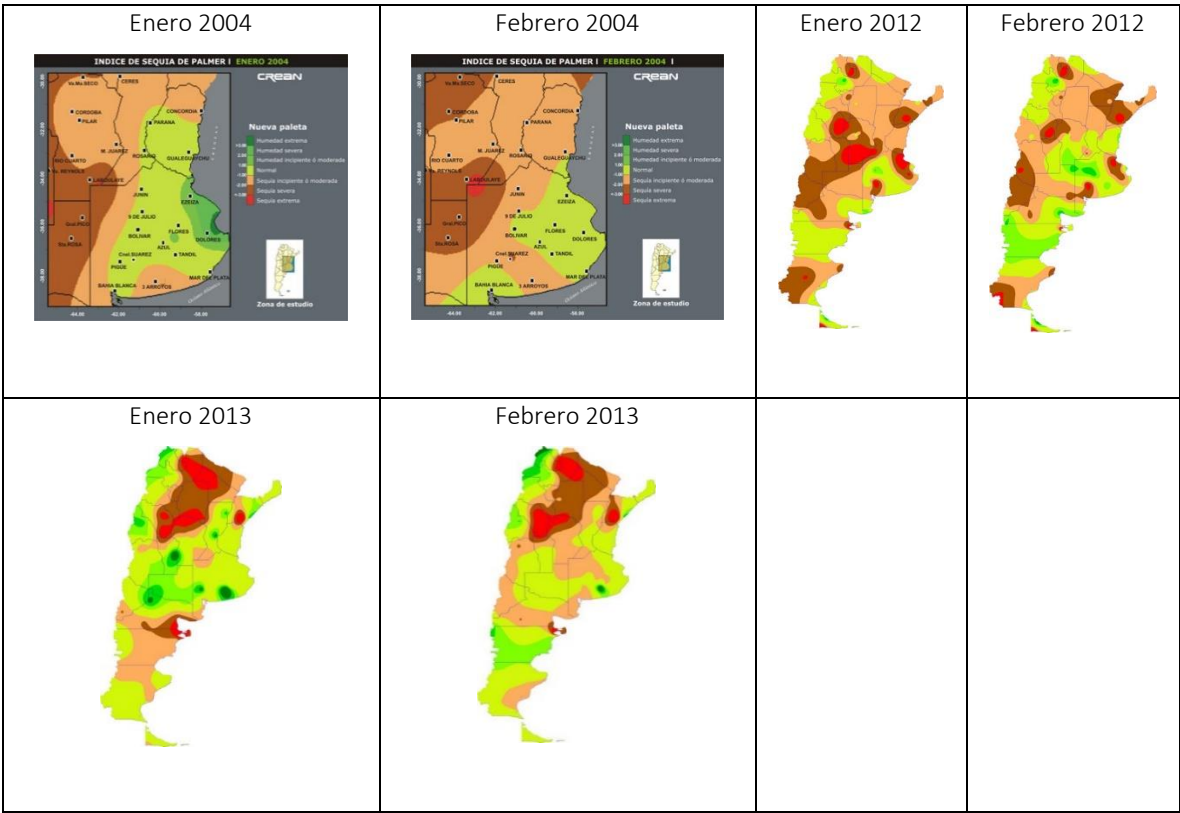
Campaña 2008/09: En la Provincia del Chaco, el criterio aplicado el índice S4 identifica 7 departamentos y con el desvío estándar el modelo identifica 20 departamentos.

Campaña 2011/12: Provincia de Buenos Aires. El índice S4 identifica 44 departamentos con sequía y con el desvío estándar el modelo solo identifica 8.

De acuerdo al índice de Palmer se observa una zona con sequía bastante pronunciada, al igual que en Entre Ríos y Santa Fe. Hay algo de sequía pronunciada en enero en Buenos Aires, pero no es la zona más agrícola.

Campaña 2012/13: Provincia de Córdoba: El índice S4 identifica 11 departamentos con sequía y con el desvío estándar el modelo identifica 4.

Índice de sequía de Palmer para los meses de período crítico del poroto soja



Fuente: Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) – UNC – CONICET