

# DECISIONES ROBUSTAS EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA PARA DOS PERÍODOS DISEÑO DE ESTRATEGIAS ADAPTATIVAS

FEDERICO RODRÍGUEZ– XAVIER GONZÁLEZ – SILVIA RAMOS – HORACIO ROJO

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería

*federodriguez.88@gmail.com – xaviering@gmail.com – silviaadrianaramos@gmail.com –  
hrojo@fi.uba.ar*

Fecha recepción: Octubre 2015 - Fecha aprobación: Noviembre 2016

## RESUMEN

En este artículo se continúa el trabajo desarrollado por los autores sobre el diseño de Estrategias Adaptativas Robustas en la Producción Agrícola. Partiendo de la definición de escenarios de dos años hecha en trabajos anteriores, se presenta la definición y nomenclatura de estrategias adaptativas. En la Sección Conclusiones se muestran distintas estrategias específicas recomendadas para diferentes resultados del modelo.

**PALABRAS CLAVE:** Estrategias Adaptativas - Decisiones Robustas - Producción Agrícola - Investigación Operativa

## ABSTRACT

This article continues the work developed by the authors about the design of Robust Adaptive Strategies applied to Agricultural Production. Using the definition of two year scenarios made in previous articles, the definition and nomenclature of different adaptive strategies are shown. In the Conclusions Section distinct recommended strategies are shown for different results that appear in the model run.

**KEYWORDS:** Adaptive Strategies - Robust Decisions - Agricultural Production - Operations Research

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción agrícola constituye en la Argentina una de las principales actividades económicas con gran impacto en la recaudación fiscal, el desarrollo sustentable y la disponibilidad de agua y alimentos. El patrón de uso de la tierra, correspondiente a la cosecha de cultivos al final de cada temporada, se compone de decisiones individuales de planificación agregadas, realizadas por los productores buscando un resultado económico favorable y analizado la información disponible.

El Proyecto Interdisciplinario FAUBA – FIUBA, que se encuentra acreditado por la Universidad de Buenos Aires con el código 20620130100024BA dentro de la Convocatoria UBACyT para el período 2014-2017 y al cual pertenecen los autores, tiene como principal objetivo el estudio de las decisiones de producción agrícola, para proveer modelos descriptivos y normativos.

En trabajos anteriores, Gonzalez (2012) y Rojo *et al* (2013), se propuso la aplicación de la Metodología de las Decisiones Robustas (MDR) -Lempert *et al* (2010)- a estas decisiones, permitiendo modelar la incertidumbre relacionada con los climas y con los precios mediante la simulación de escenarios y la exploración de esos escenarios simulados usando algoritmos de aprendizaje automático, proveyendo estrategias robustas, en lugar de estrategias óptimas, que, en lugar de maximizar u optimizar un valor esperado, devuelven un resultado satisfactorio a lo largo de un espectro amplio de escenarios posibles.

El presente trabajo extiende la aplicación de la MDR a períodos de dos temporadas consecutivas (idea presentada en Rodríguez *et al* 2015). Es decir, estudia el diseño de Estrategias Adaptativas que son estrategias compuestas de una decisión inicial y un criterio de corrección de acuerdo al resultado obtenido con la estrategia inicial. El objetivo propuesto es incorporar el aprendizaje o la adaptabilidad a lo largo de dos temporadas.

Como unidad de análisis para el desarrollo del trabajo se modelizó un campo teórico ubicado en la zona de Pergamino. Se tomaron como cultivos posibles el maíz, la soja y el combinado trigo-soja, pudiéndose cada uno de ellos sembrarse con diferentes opciones de producción, denominadas "manejo" del cultivo. Resultaron, de esta manera, un total de 6 cultivo-manejos, cada uno con sus costos asociados. Se dividió al terreno en 6 partes iguales para ser, cada una de ellas, asignadas con un cultivo-manejo diferente. Al final del período, se obtendrá un margen neto por la producción que dependerá de la asignación de los cultivos al terreno, del rendimiento de los mismos en función de las variables climáticas del período, obtenidos mediante modelos de simulación especializados en el crecimiento de granos, y de los precios de los cultivos en el momento de su venta. Luego del primer ejercicio, el productor podrá aplicar diferentes criterios de corrección a su decisión inicial que permiten aprender o adaptar su estrategia de acuerdo a las condiciones que se presenten.

El artículo está estructurado como se indica a continuación: en la segunda sección se presenta el marco teórico y las definiciones de nomenclatura utilizadas en el diseño de estrategias, para una sola temporada (sección 2.1) y para dos temporadas en la sección 2.2. En la tercera se muestra la definición de distintas estrategias, a partir de diversas acciones correctivas a tomar en el segundo año, y los resultados obtenidos. En la cuarta sección se presentan las conclusiones obtenidas, en la quinta se incluyen las figuras y tablas y en la sexta se indican las referencias bibliográficas utilizadas.

## 2. MARCO TEÓRICO. METODOLOGÍA DE LAS DECISIONES ROBUSTAS Y ESTRATEGIAS ADAPTATIVAS.

### 2.1. Metodología de las Decisiones Robustas para una sola temporada

En el Proyecto Interdisciplinario FAUBA - FIUBA se ha trabajado en la aplicación de los pasos propuestos por la MDR sobre el problema de producción agrícola definido, los cuales fueron desarrollados en González (2012), Rojo *et al* (2013), Ramos *et al* (2013), González *et al* (2014) y Rojo *et al* (2014). A continuación se resumen brevemente los mismos y se indican las particularidades e hipótesis asumidas para el presente trabajo:

- 1) Definición de los posibles escenarios futuros ( $F_j$ ) a partir de los valores posibles que puedan tomar las variables del modelo cuyo valor y comportamiento es incierto.

En el caso tratado las variables de incertidumbre resultan el clima y los precios, por lo que se han tomado 77 años de clima (1931-2007) y 27 años de precio (1983-2009) a valor actual como los valores posibles para estas variables en un año determinado. En el nuevo método se trabajará con escenarios de una y dos temporadas, utilizándose en este último caso pares de años consecutivos de precios y pares de años consecutivos de clima para conformar los escenarios, dado que se parte de la hipótesis que los valores que toma cada variable en un año determinado es dependiente del valor que asumió el año anterior.

- 2) Definición de las posibles estrategias a implementar ( $S_i$ ) a partir de las variables cuyo valor depende de la decisión a tomar.

En el problema definido resultan las posibles asignaciones de cultivo-manejo al terreno en cada uno de los años que compone el escenario. En un año determinado, al tener 6 porciones de terreno y 6 cultivos-manejo, resultan 462 distribuciones posibles del terreno según se explicó en Rojo *et al* (2013).

- 3) Definición de una métrica de evaluación para cada estrategia en cada escenario ( $S_i \times F_j = E_{ij}$ ).

Se define para esto la variable regret, expresada como la diferencia entre el mejor margen neto obtenido en un escenario dado  $j$  y el margen neto de la estrategia particular  $i$  en dicho escenario  $j$ . Es decir, para la estrategia  $i$  en el escenario  $j$  se define como:

$$Regret_{i,j} = MargenNetoMAX_j - MargenNeto_{i,j}$$

- 4) Elección de una estrategia candidata inicial

Una estrategia será mejor que otra en un escenario en particular si tiene menor tercer cuartil de regret en la distribución sobre el total de los escenarios. Se selecciona la estrategia con el tercer cuartil de regret más bajo.

- 5) Identificación de grupos de escenarios en los que la estrategia candidata es vulnerable.

A partir de un algoritmo de árbol de decisión, usando una variante del método CART, se busca identificar características comunes para el grupo de escenarios donde el regret de la estrategia candidata es más alto, dividiendo a la totalidad de los escenarios en dos grupos: "buenos" y "malos".

- 6) Búsqueda de estrategias que se desempeñen mejor que la candidata en estos escenarios.

Se evalúa el tercer cuartil de regret en los dos grupos de escenarios definidos en el punto anterior y se trazan ambos valores en un diagrama cartesiano.

- 7) Evaluación de la conveniencia de adoptar una estrategia de cobertura de acuerdo a un análisis de las respectivas vulnerabilidades.

Se identifican un grupo de estrategias, que conforman la denominada "frontera de decisión", similar a lo que sería una frontera de Pareto para un esquema de decisión multiobjetivo, que se compone de la estrategia candidata y otras estrategias que tengan mejor desempeño en los escenarios "malos". Dentro de este grupo se encuentran las posibles decisiones a tomar en el futuro, según el criterio que tenga el tomador de decisiones sobre el mismo.

## 2.2. Aplicación de la MDR a escenarios de dos temporadas

Se describe a continuación el modelo de escenarios con dos temporadas (años) de duración definido en Rodríguez *et al* 2015:

- 1) Definición de estrategias

Se debe determinar la distribución de cultivos a emplear para cada uno de los años. Tomando los mismos cultivos-manejo que para el caso de escenarios de un año y dividiendo así mismo el terreno en 6 partes iguales, podrían elegirse a priori cualquiera de las combinaciones definidas en el modelo para el año uno (462 posibilidades) o para el año dos (462 posibilidades), resultando 213.444 estrategias estáticas posibles.

La nomenclatura para identificar estrategias de dos años resulta:

<Distribución Año 1>.<Distribución Año 2>

A modo de ejemplo la estrategia 195.205 empleará la distribución 195 el primer año y la 205 el segundo.

- 2) Definición de escenarios

Uno de los propósitos de definir escenarios de dos años es estudiar las relaciones entre lo ocurrido en las variables climáticas en un año y lo ocurrido en el siguiente y hacer lo propio con los precios de los cultivos. Se definen entonces los escenarios tomando todas las combinaciones posibles entre pares de años de climas consecutivos y pares de años de precio consecutivos. Por ejemplo, el primer escenario combina, para la primera temporada, el año de precios 1984 y el año climático 1931 y, para la segunda temporada el año de

precios 1985 y el año climático 1932. El segundo escenario combina los siguientes pares de años: 1ra temporada: 1984-1932; 1985-1933, el tercer escenario: 1984-1933; 1985-1934 y así sucesivamente.

Tomando los mismos datos ya utilizados en trabajos anteriores se realizan todas las combinaciones posibles entre 76 pares de años de clima consecutivos y 26 pares de años de precios resultando un total de 1976 escenarios.

3) Evaluación de cada estrategia en cada escenario

La evaluación de cada estrategia en cada escenario se hace a partir del margen neto promedio obtenido en los dos años de dicho escenario.

4) Elección de una estrategia candidata

Para comparar estrategias se utiliza la variable regret. El regret de una estrategia en un escenario se calcula restando el margen neto promedio obtenido al mejor margen neto promedio posible en ese escenario. Se utiliza el tercer cuartil de regret para seleccionar la estrategia candidata

5) Identificación de Escenarios en los que la estrategia candidata es mala

Con criterios análogos al caso de escenarios de un año, se utiliza el algoritmo de árbol de decisión para clasificar escenarios buenos y malos, agregándose en este caso variables en función de cada uno de los años, como ser las precipitaciones totales o precipitaciones máximas entre los dos años que conforman el escenario.

6) Identificación de Estrategias de buen desempeño en los escenarios que la estrategia candidata es mala.

A partir de la clasificación de los escenarios, se representa en un gráfico cartesiano el tercer cuartil de regret de cada una de las estrategias tanto en escenarios buenos como en escenarios malos para la estrategia candidata.

7) Caracterizar la conveniencia adoptar una estrategia de cobertura de acuerdo a un análisis de las respectivas vulnerabilidades.

Evaluando los resultados del gráfico anterior se traza la frontera de decisión, que estará conformada por las estrategias entre las que podrá optar el productor según sean sus expectativas sobre el futuro.

### **2.3. Definición y nomenclatura de Estrategias Adaptativas**

Las estrategias adaptativas varían la asignación de los cultivos-manejo al terreno según vayan ocurriendo distintos tipos de escenarios. Se encuentran compuestas por una distribución de cultivos inicial, que se utilizará en el primero de los dos años más una regla de cambio en función de la cual el productor seleccionará la distribución de cultivos-manejo a asignar al terreno para el segundo año, según lo sucedido en el primero.

Para identificarlas, se ha decidido implementar la siguiente nomenclatura:

<Distribución Inicial>\_<Acción Correctiva>

Por ejemplo, la estrategia **195\_Best1** (195\_Mejor1) toma la distribución 195 para el primer año y para el segundo año toma la mejor distribución del año 1.

El objetivo de la implementación de estrategias adaptativas en este trabajo es encontrar estrategias que puedan mejorar la frontera de decisión obtenida en el punto anterior o que tengan un tercer cuartil de regret menor al de la estrategia candidata. Se calculará entonces para cada estrategia el tercer cuartil de regret global y el tercer cuartil de regret para los dos grupos de escenarios (buenos y malos para la estrategia candidata) definidos en la aplicación de la MDR en escenarios de dos años. Hecho esto, se la representará en el diagrama cartesiano junto a la frontera de decisión. La estrategia logra sustituir a las estrategias originales de la frontera trazada si ninguna de ellas supera a la estrategia adaptativa en escenarios buenos y malos para la estrategia 195 al mismo tiempo.

### 3. DISEÑO Y EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS ADAPTATIVAS

Se presentan a continuación las distintas estrategias adaptativas desarrolladas y los resultados obtenidos a partir de la implementación del modelo.

#### 3.1. Acciones Correctivas según la mejor distribución del año anterior

En este tipo de estrategias la acción correctiva para el segundo año se realizará en función de cual haya sido el mejor cultivo del año anterior. La hipótesis sobre la que se basa esta corrección es que existe una inercia en los precios y el clima que hacen que si un año fue bueno para un cultivo-manejo determinado, habrá una cierta tendencia a que las condiciones también sean favorables el año siguiente. Se hace foco de esta manera en intentar aprovechar los escenarios potencialmente buenos.

##### 3.1.1. Mejor estrategia del año anterior para el año siguiente

La estrategia más simple de este tipo consiste en realizar el primer año la distribución de la estrategia candidata (la 195) y luego realizar para el segundo año la estrategia que mejor resultado haya tenido el año anterior. Dadas las propiedades del modelo, esta será siempre una distribución monocultivo.

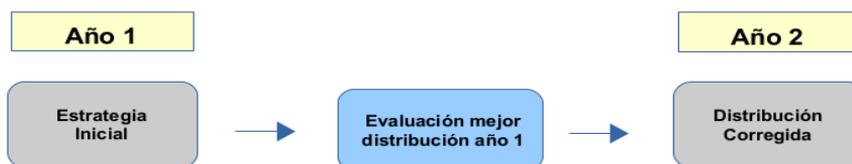
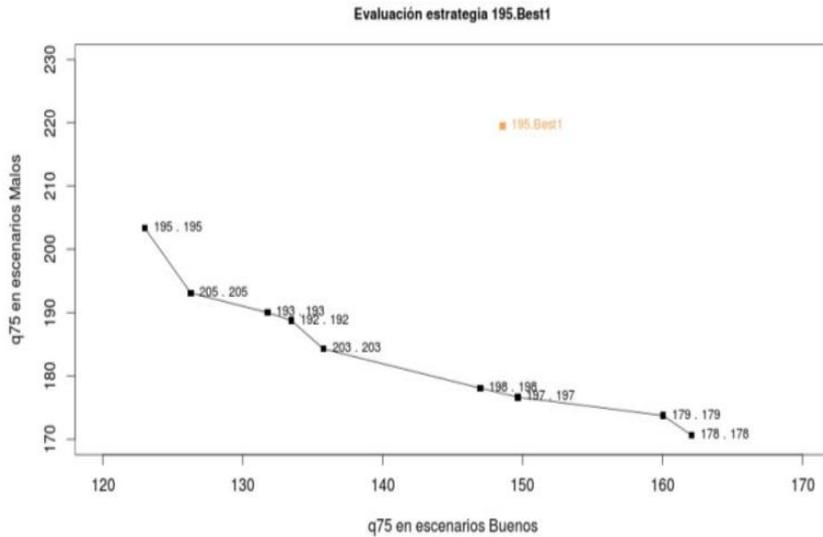


FIGURA 1

La única estrategia generada de esta forma se denominará 195.Best1 (195.Mejor1). Representada la estrategia en el diagrama cartesiano, la misma resulta menos robusta que las estrategias de la frontera. Esto se debe a que la potencial inercia en los escenarios no es suficiente para no ser afectada por la gran volatilidad de las estrategias monocultivos frente a las estrategias más robustas.



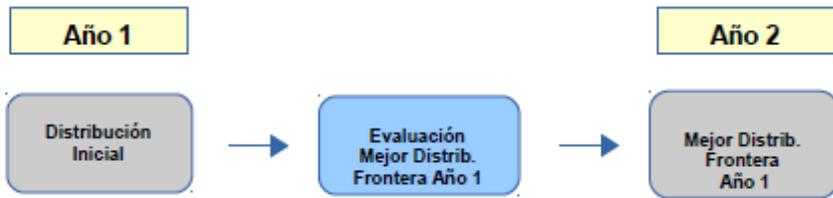
Resultados Best1

Estrategia	3Q Regret Global	3Q Regret Escenarios Malos	3Q Regret Escenarios Buenos
'195.Best1	167,9	219,5	148,6

FIGURA 2, TABLA 1

3.1.2. Mejor estrategia de la frontera de decisión del año anterior para el año siguiente

En este caso se realiza para el segundo año la estrategia perteneciente a la frontera de decisión que mejor margen neto haya tenido en el primero. El concepto de su aplicación es el mismo que el de la estrategia anterior buscando eliminando la volatilidad que presentan las estrategias monocultivo al sustituirlas con estrategias más robustas



.FIGURA 3

La acción correctiva así definida se denomina Bestdf1 (mejor frontera de decisión 1) y las estrategias que la emplean se identifican como <Distribución Inicial>.Bestdf1. Se generan de esta forma 9 estrategias, una por cada distribución que conforma las estrategias de la frontera de decisión.

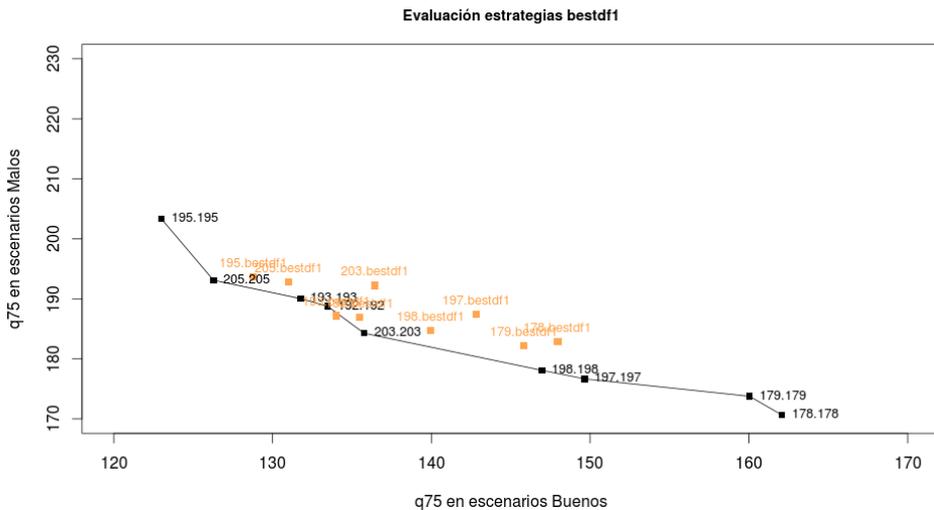


FIGURA 4

**Resultados Bestdf1**

Estrategia	3Q Regret Global	3Q Regret Escenarios Malos	3Q Regret Escenarios Buenos
195.Bestdf1	148,3	193,7	128,8
205.Bestdf1	151,2	192,8	131,0
193.Bestdf1	150,6	187,2	134,0
192.Bestdf1	151,7	187,0	135,5
203.Bestdf1	151,8	192,2	136,4
198.Bestdf1	154,1	184,7	139,9
197.Bestdf1	156,1	187,4	142,8
179.Bestdf1	155,8	182,2	145,8
178.Bestdf1	157,7	182,8	148,0

TABLA 2

Puede observarse que los resultados obtenidos no son significativos y sólo una de las estrategias penetra la frontera de decisión, lo que lleva a concluir que la inercia implícita en los escenarios no es tan fuerte como para ser aprovechada directamente por una regla de decisión que haga foco en los escenarios potencialmente buenos para generar estrategias más robustas.

### 3.2. Acción Correctiva según el primer año sea bueno o malo para la distribución inicial

El segundo grupo de estrategias adaptativas evalúa el desempeño de la estrategia inicial y en función del resultado toma la acción correctiva para el año siguiente. Tal como se ha trabajado hasta ahora, se considerará que un año es malo para una estrategia determinada, si su regret para ese año (Evaluado en términos de escenarios de un año) es mayor al tercer cuartil, caso contrario, la estrategia será buena.

#### 3.2.1. Distribución fija para el segundo año, si el año 1 fue malo para la estrategia inicial

En este caso se propone repetir la estrategia candidata en caso de que el año 1 haya sido bueno para la misma y realizar otra estrategia puntual en caso que dicho año haya tenido resultados poco favorables en términos de regret. Se trabaja sobre la supuesta inercia de las temporadas, asumiendo que si un año fue malo para un cultivo-manejo determinado, habrá una cierta tendencia a que las condiciones también sean desfavorables para el año siguiente, haciéndose foco de esta manera en los escenarios potencialmente malos.

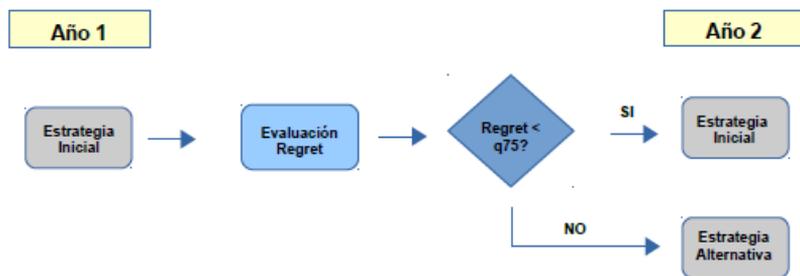


FIGURA 5

La acción correctiva así definida se denomina Bad\_<Distribución Alternativa> (Malo.<Distribución Alternativa>) y las estrategias que la emplean se identifican como

"<Distribución Inicial>.Bad\_<Distribución Alternativa>".

Se trabaja, para este grupo de estrategias, con las 9 distribuciones de cultivos cuya repetición durante los dos años conforma la frontera de decisión obtenida en Rodríguez *et al* 2015. Se procede tomando cada una de ellas como estrategia inicial y corrigiéndola, en caso que el resultado sea poco favorable, con otra de las distribuciones de la frontera.

Combinando cada una de las 9 distribuciones mencionadas con cada una de las 8 restantes, se obtiene un total de 72 estrategias a evaluar. El objetivo es obtener estrategias con un perfil similar a los de la distribución inicial, pero con mejor tercer cuartil de regret para los grupos de escenarios buenos y malos para la estrategia candidata.

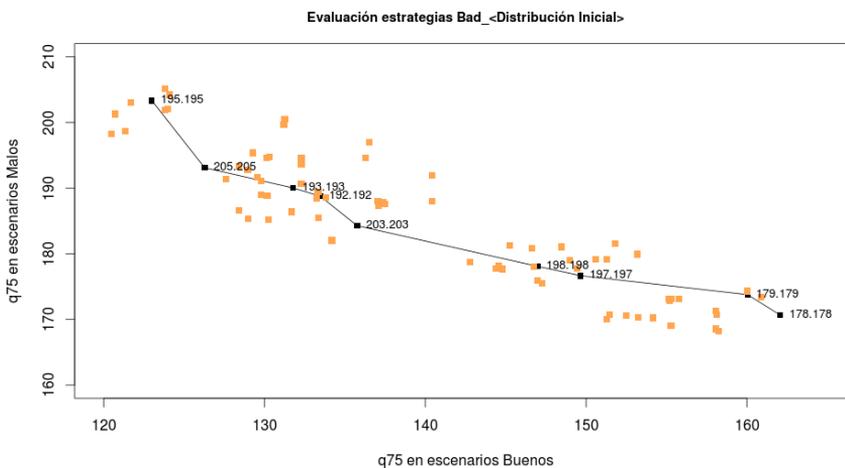


FIGURA 6

Puede verse que hay varias estrategias que se presentan como alternativas a las estrategias originales de la frontera de decisión. Seleccionando las mejores, se determina una nueva frontera de decisión, superadora a la original.

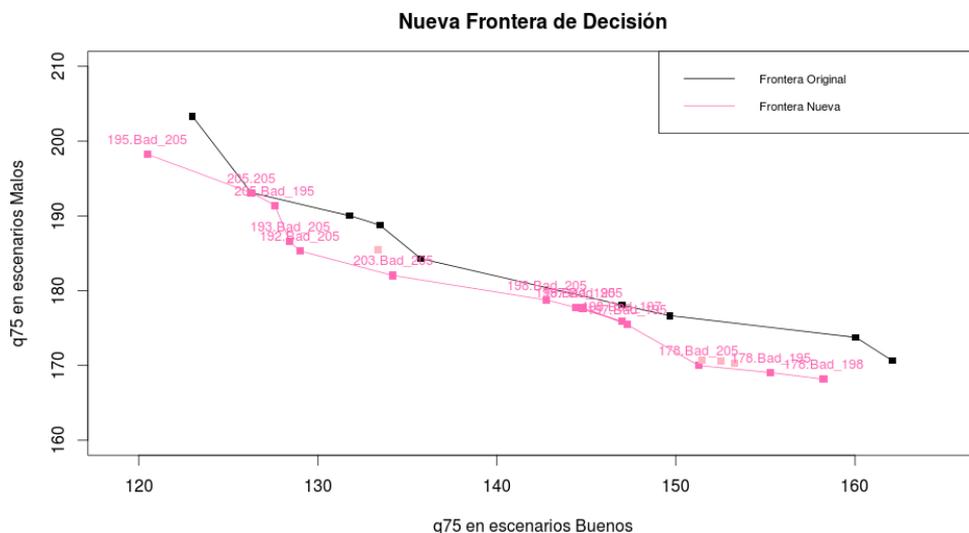


FIGURA 7

**Estrategias de la nueva frontera de decisión**

Estrategia	3Q Regret Global [\$/ha]	3Q Regret Escenarios Malos [\$/ha]	3Q Regret Escenarios Buenos [\$/ha]
195.Bad_205	142,7	198,2	120,5
205.205	148,6	193,1	126,3
205.Bad_195	150,4	191,4	127,6
193.Bad_205	142,5	186,6	128,4
192.Bad_205	145,4	185,3	129,0
203.Bad_205	148,7	182,0	134,2
198.Bad_205	152,6	178,7	142,8
198.Bad_195	154,4	177,8	144,4
198.Bad_197	156,9	175,9	147,0
197.Bad_205	154,4	177,7	144,8
197.Bad_195	156,2	175,5	147,3
178.Bad_205	158,1	170,0	151,3
178.Bad_195	160,2	169,1	155,3
178.Bad_198	161,4	168,2	158,2

TABLA 3

La única estrategia estática que permanece en la frontera de decisión luego de agregar este grupo de estrategias es la estrategia 205.205. Cuando se empleó la estrategia 205 como acción correctiva, siempre se superó a la estrategia original, y, de hecho, la mayoría de las estrategias que conforman la nueva frontera tienen a la distribución 205 como acción correctiva. Estos resultados posicionan a la distribución 205 como la más relevante en cuanto a realizar cambios que hagan a las estrategias más robustas a partir de la detección de un escenario probablemente desfavorable, debido a que tiene Soja-Trigo 1 en mayor proporción, que resulta el cultivo con menor desvío estándar de los 6 que propone el modelo.

Para la única distribución inicial donde hay algún indicio de aprovechamiento de la inercia supuesta por el productor es para la estrategia 195, donde casi todas las correcciones planteadas, que involucran estrategias mejores en los escenarios malos para la estrategia 195, son mejores a la estrategia original en escenarios malos. En el resto de las estrategias está lógica se vuelve algo difusa, debido a que la clasificación de los escenarios está realizada con respecto a la estrategia candidata "195.195". Para evaluar si se cumple el supuesto de inercia para este tipo de estrategias con otra distribución inicial, debería hacerse una clasificación para cada una de las distribuciones de la frontera y aplicar la metodología para cada una de ellas, detectando así distribuciones que tengan mejor desempeño en condiciones favorables para las mismas y proponer acciones correctivas en función de emplear dichas distribuciones. Otra alternativa a evaluar, que se aplicará luego, es la de realizar estrategias que tomen una acción correctiva en función de la estrategia candidata.

Se destaca la obtención de tres estrategias con menor tercer cuartil de regret que la estrategia candidata, estas son las estrategias 195.Bad\_205, 195.Bad\_203 y la 193.Bad\_205. A partir de estas tres estrategias, podría continuarse con un proceso iterativo donde se elija alguna como estrategia candidata y se realice una nueva clasificación de escenarios, mediante el algoritmo de árbol de decisión, y así identificar las vulnerabilidades propias de la estrategia en función de proponer nuevas alternativas.

### **3.3. Acción correctiva en función de la estrategia candidata**

Como alternativa al punto anterior, se intentarán desarrollar correcciones donde el aprovechamiento de la inercia se vea directamente impactado en el gráfico de evaluación de estrategias. Es decir, se buscará obtener a partir de las acciones correctivas con distribuciones en escenarios buenos para la estrategia candidata, mejores desempeños en este tipo de escenarios y viceversa. Para ello, se realizan las correcciones en función de si las condiciones del año 1 fueron o no favorables para la estrategia candidata.

3.3.1. Estrategia candidata si el primer año fue bueno vs. estrategia inicial si fue malo

En el primer grupo de estrategias de este tipo, se hará foco en los escenarios buenos para la estrategia candidata, esperando mejorar el desempeño de la distribución base en este tipo de escenarios

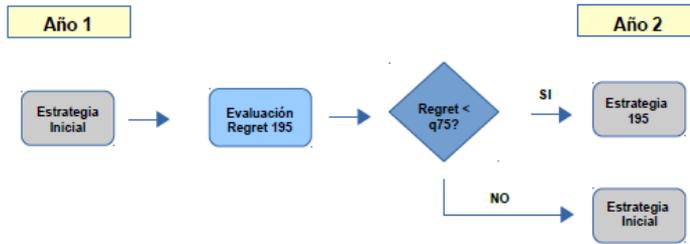


FIGURA 8

La acción correctiva así definida se denomina good195\_195 (bueno195\_195) y las estrategias que la emplean se identifican como <Distribución Inicial>.good195\_195. En este caso se genera una estrategia por cada una de las estrategias de la frontera de decisión original a excepción de la estrategia candidata, dado que la aplicación de esta corrección sería redundante.

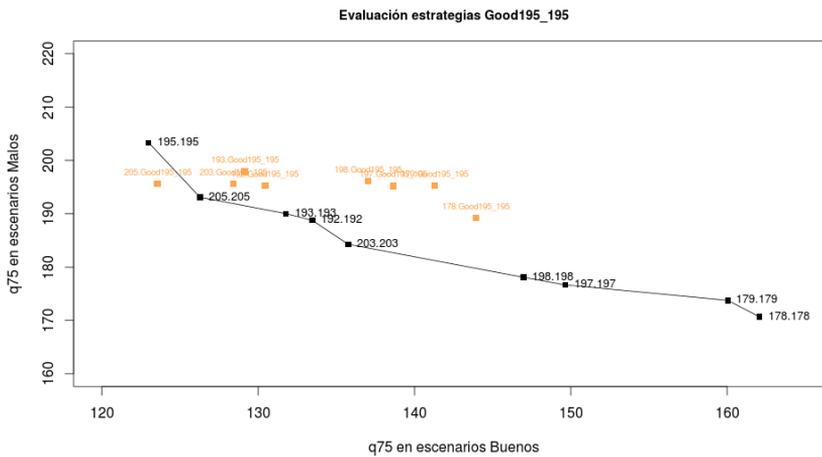


FIGURA 9

Resultados <Distribución Inicial>.Good195\_195

Estrategia	3Q Regret Global [\$/ha]	3Q Regret Escenarios Malos [\$/ha]	3Q Regret Escenarios Buenos [\$/ha]
205.Good195_195	145,2	195,7	123,6
193.Good195_195	148,8	197,9	129,1
192.Good195_195	148,1	195,3	130,5
203.Good195_195	149,0	195,7	128,4
198.Good195_195	152,9	196,1	137,0
197.Good195_195	154,8	195,2	138,6
179.Good195_195	157,0	195,2	141,3
178.Good195_195	158,7	189,2	143,9

TABLA 5

Las estrategias así obtenidas tienen el mismo efecto para cada una de las acciones iniciales: mejoran la estrategia en los años buenos pero la empeoran en los malos y el trade-off obtenido no es lo significativamente bueno como para obtener varias estrategias que reemplacen a las originales en la frontera de decisión. El único caso en el que se logra penetrar la misma es tomando a la estrategia 205 como inicial; en el que se obtiene una alternativa intermedia entre las estrategias 195.195 y 205.205.

3.3.2. Estrategia candidata si el primer año fue bueno vs otra estrategia si el primer año fue malo

A partir de esta estrategia se busca corregir el caso anterior tomando otra estrategia que también mejore el desempeño en escenarios malos.

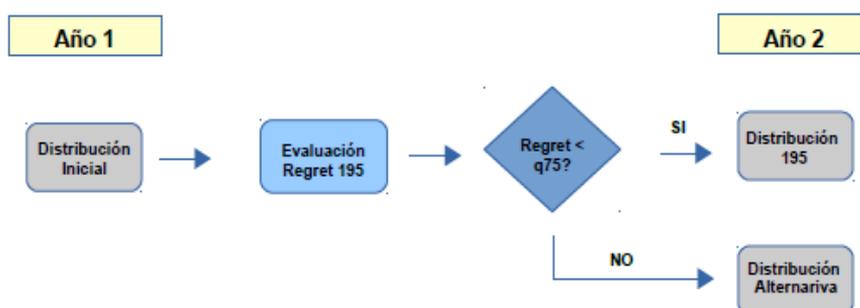


FIGURA 10

La acción correctiva así definida se denomina 195GB\_195\_<D. Alternativa> y las estrategias que la emplean se identifican como <D. Inicial>.195GB\_195\_<D. Alternativa>. Las distribuciones alternativas

seleccionadas son la 205, la 203 y la 178 y se utilizan nuevamente las distribuciones de la frontera de decisión original, a excepción de la estrategia candidata, como acciones iniciales. Se compara el desempeño de las estrategias generadas en cada caso con las obtenidas en el punto anterior para evaluar la potencial mejora sobre las mismas (cuadrados más oscuros).

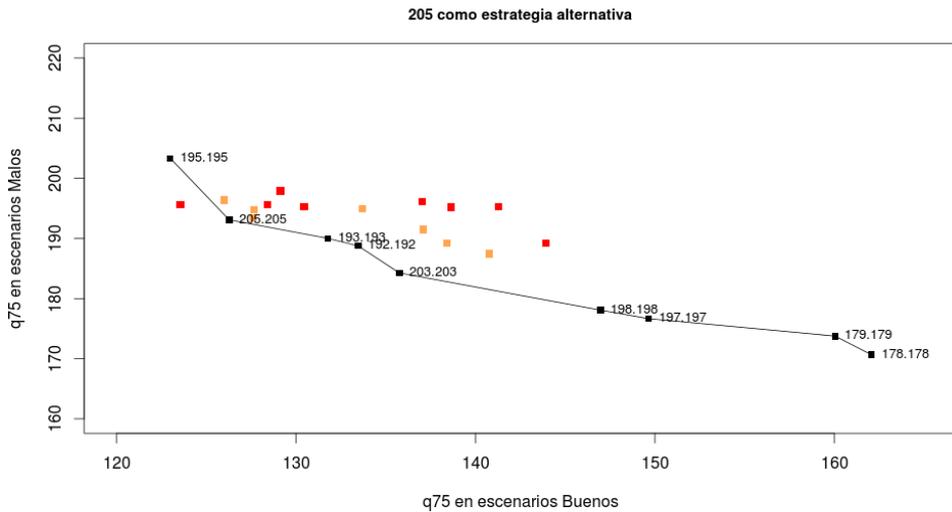
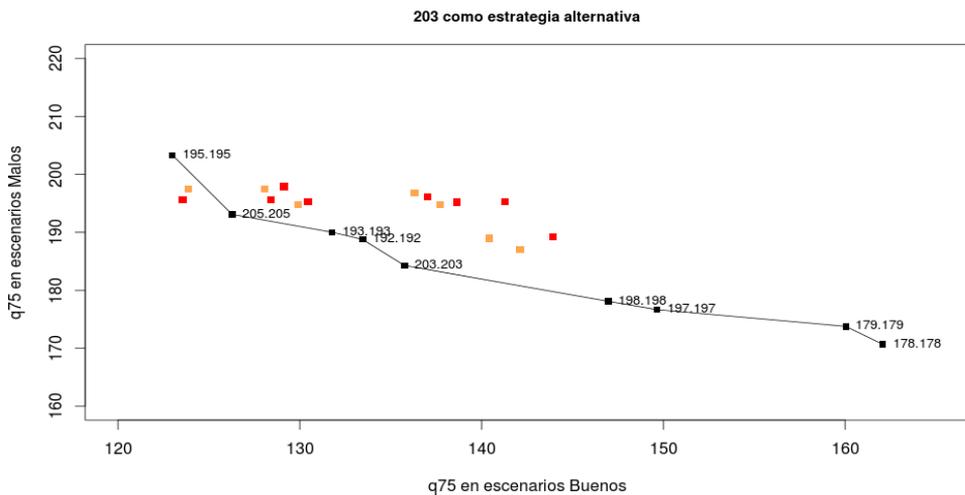


FIGURA 11



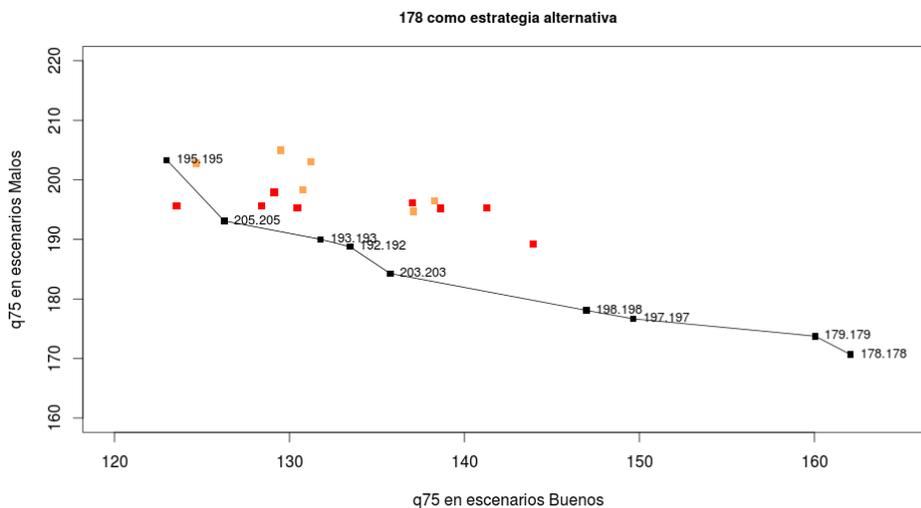


FIGURA 12

FIGURA 13

En ninguno de los casos se obtienen mejoras significativas sobre la estrategia adaptativa anterior, hay mejoras leves utilizando las distribuciones 205 y 203 y ninguna mejora utilizando la distribución 178. Al igual que antes, hay sólo una estrategia adaptativa que penetra la frontera de decisión original y que, en este caso, es superada por la estrategia adaptativa anterior.

## 4. CONCLUSIONES

### 4.1. Correcciones en años malos para la estrategia inicial

La estrategia adaptativa que mejores resultados tuvo fue la de corregir la distribución inicial con otra distribución fija cuando el primer año había sido desfavorable, es decir, se encontraba en el cuartil con mayor regret para la estrategia de una sola temporada que empleaba la distribución inicial. Al hacerlo de esta manera, se crea una estrategia que actúa directamente sobre los peores escenarios para la estrategia inicial y por ende actúa sobre el tercer cuartil de regret. Se mejora en particular el desempeño en los escenarios donde ambos años son malos para la estrategia estática que emplea a la distribución inicial durante los dos años.

Dentro de estas correcciones la asignación de cultivos-manejo que mejor resulta en general para corregir a las demás es la 205 (4 porciones de terreno con soja-trigo 1 y 2 porciones del terreno con soja 2) dado que es la estrategia con mejor trade-off de desempeño en el grupo de escenarios buenos a cambio de desempeño en el grupo en escenario malos respecto de la estrategia candidata. En comparación con la estrategia 195.195, la estrategia 205.205 tiene un tercer cuartil de regret 3 dólares por hectárea mayor (es menos robusta) en escenarios buenos y un tercer cuartil de regret 10 dólares por hectárea menor (es más robusta).

Con los resultados obtenidos con este tipo de estrategias hemos logrado trazar una nueva frontera de decisión considerablemente más robusta que la frontera de decisión obtenida a partir de estrategias puramente estáticas. Tal como se muestra en el trazado de ambas fronteras en el punto anterior, las estrategias adaptativas reemplazan a todas las estrategias estáticas, a excepción de la 205.205. En otras palabras, se ha incorporado para cada distribución de cultivos que pertenecía a la frontera de decisión, una o varias reglas de cambio que mejoran sus resultados y probado de esta manera que la incorporación de las estrategias adaptativas en escenarios de varios periodos propone una mejora potencial para la toma de decisiones.

#### **4.2. Inercia de las variables de año a año**

La inercia de las condiciones de clima y precio entre temporadas consecutivas intentó aprovecharse en el primer grupo de estrategias adaptativas. En una primera instancia se realizó la mejor estrategia del año anterior para el segundo año y se obtuvo una estrategia bastante poco robusta, esto es natural debido a que la mejor distribución en una temporada particular es siempre monocultivo. En el intento obtener estrategias menos volátiles se evaluó un segundo conjunto de estrategias generadas a partir del mismo criterio. Se seleccionó para el segundo año la distribución perteneciente al grupo de la frontera de decisión con mejor performance en la segunda temporada. Tampoco se obtuvieron, en esta corrida, estrategias con mejores valores de tercer cuartil de regret que las estrategias estáticas.

Se obtuvieron resultados parecidos realizando correcciones en función de que el año haya sido bueno o malo para la estrategia candidata, con la hipótesis de que esas condiciones se repetirían en el año próximo, pero salvo unas pocas excepciones, las estrategias así diseñadas no lograron penetrar la frontera de decisión original.

Sin embargo, al analizar las estrategias que toman una decisión en función del desempeño de la estrategia inicial, puede apreciarse que en la mayoría de las estrategias adaptativas generadas a partir de tomar la distribución candidata (195) se obtienen las mejoras consistentes con el criterio de inercia. Es decir, al utilizar estrategias mejores en escenarios malos para la estrategia estática original (195.195). Con las otras estrategias, esta lógica se no se aplica tan claramente dado que los grupos de escenarios fueron conformados en función de la estrategia candidata. A partir de esta conclusión, podría realizarse un árbol de decisión para cada una de las estrategias de la frontera de decisión y corregirlas con sus escenarios malos con las estrategias que mejor desempeño tengan en los mismos, obteniendo entonces una potencial mejora de los resultados mostrados en este trabajo y validando cumplimiento del criterio de inercia.

Lo desarrollado demuestra que la inercia de las condiciones para una determinada estrategia no es tal como para alterar significativamente las decisiones con el criterio de robustez desarrollado a lo largo del trabajo, pero si puede orientarnos para determinadas reglas de decisión que se concentren en mejorar los escenarios malos de cada una de las estrategias. Lo concluido

sobre esto no significa que la información no sea significativa para la asignación de cultivos en general ya que podría llegar a tener valor si se analizan indicadores distintos al tercer cuartil de regret, por ejemplo el regret máximo, si se estudian en mayor profundidad las variables de precio y clima involucradas o si se busca una estrategia óptima, buscando por ejemplo efectos sobre el rendimiento promedio o estudiando la probabilidad de ocurrencia sobre los escenarios.

### 4.3. Recomendaciones al productor según los resultados del modelo

Se puede, a partir del análisis de los resultados obtenidos, formular recomendaciones sobre las decisiones a tomar para un productor en la zona de Pergamino. Para lograr una estrategia robusta debemos considerar sembrar la mitad de nuestro terreno con el cultivo-manejo soja-trigo 1. La otra mitad del terreno dependerá de nuestras consideraciones sobre las dos próximas temporadas.

Se optará en general por sembrar la mitad restante con soja 2 (distribución 195) que será una buena primera decisión a no ser que se evalúe que en el período futuro considerado se podrían dar las condiciones que el algoritmo de árbol de decisión predice como decisivas para que el escenario sea malo para la estrategia 195.195. Éstas son:

- Que el precio del maíz sea mayor a los 120U\$S por tonelada y el precio de la soja no sea en promedio 60 % mayor que el precio del trigo
- No dándose lo anterior, que las precipitaciones en ninguno de los dos años superen los 770 mm y el precio del trigo, en promedio, no supere en un 20% al precio del maíz.

Dependiendo de cuán probable se evalúe que sean estas condiciones adversas en el próximo período, el productor puede cambiar el cultivo-manejo soja 2 en algunas porciones del terreno por soja-trigo 1, maíz 1 o maíz 2 teniendo en cuenta de no tener más de 4/6 del terreno con soja-trigo 1. Cuanto más adversas creamos que van a ser dichas condiciones, mayor cantidad de maíz se sembrará, llegando a la posibilidad de sembrar el terreno con 1/6 de maíz 1, 2/6 de maíz 2 y manteniendo siempre sembrado el resto con soja-trigo 1 (Estrategia 178).

Para la segunda temporada, en caso de que el resultado en el primer año sea favorable, se repetirá la misma distribución. En caso contrario, se sembrará el terreno con 4 porciones de soja-trigo 1 y la parte restante con soja 2 (distribución 205). Si se tomó esta última distribución como inicial se puede optar por repetirla, o por realizar la distribución 195 en caso de que se predigan condiciones favorables para la misma.

Estas recomendaciones pueden enunciarse en términos más técnicos, utilizando la nomenclatura definida al presentar las estrategias. Lo descripto equivale a optar entre el conjunto de estrategias XXX.Bad\_205, para distribuciones iniciales distintas de la 205 y tener en cuenta también a las estrategias 205.205 y 205.Bad\_195. Se opta siempre entre distribuciones

iniciales cuya estrategia estática se encuentra en la frontera de decisión de estrategias estáticas (distribuciones 195, 205, 193, 192, 198, 197, 179 y 178).

## 5. REFERENCIAS

BARSKY A., PODESTÁ G., TORANZO RUIZ F.(2008): "Percepción de variabilidad climática, uso de información y estrategias de los agentes frente al riesgo. Análisis de esquemas decisionales en agricultores de la región pampeana argentina". Mundo Agrario, vol. 8, no 16, primer semestre de 2008. Centro de Estudios Histórico Rurales. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata.

FAO, IFAD, IMF,OECD, UNCTAD, WFP, the World Bank, the WTO, IFPRI and the UN HLTF (2011): "Price volatility in food and agricultural markets: Policy Responses".

GONZÁLEZ X. I. (2012): "Aplicación de Decisiones Robustas a la asignación del uso de la tierra entre diferentes actividades agrícolas". Anales XXV ENDIO - XXIII EPIO, pgs 520 a 535, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

GONZÁLEZ X. I., ROJO H. y RAMOS S. A. (2014): "Decisiones Robustas en la Producción Agrícola en las Pampas Argentinas". Program and abstracts CLAIO XXVII, pg 42, Ciudad de Monterrey, México.

HAMARAT C., KWAKKEL J., y PRUYT E. (2012): "Adaptative Policymaking under Deep Uncertainty: Optimal Preparedness for the next pandemic". Delft University of Technology.

LEMPERT R.J., COLLINS M.T. (2007): "Managing the risk of uncertain threshold responses: comparison of robust, optimum and precautionary approaches". Risk Analysis Vol 27, N° 4, pp 1009 a 1026.

LEMPERT R.J., GROVES D.G. (2010): "Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American west". Technological Forecasting & Social Change, pp 960 a 974.

RAMOS, S.A., GONZÁLEZ X. I., RASPA L., WAINSTOCK A., KALMUS D., CASTELLINI M. A., BERT A., BERGER A. (2013): "Agregación de datos climáticos diarios e incorporación de componentes principales para el análisis de vulnerabilidades aplicando la Metodología de Decisiones Robustas en la Producción Agrícola". Anales XXVI ENDIO - XXIV EPIO, Ciudad de Córdoba.

RODRIGUEZ F., GONZALEZ X., RAMOS S. y ROJO H.: "Decisiones Robustas en la Producción Agrícola Para Dos Períodos – Primera Aproximación a las Estrategias Adaptativas" XXVIII ENDIO XXVI EPIO

ROJO H., RAMOS S. A., GONZÁLEZ X. I., RASPA L., WAINSTOCK A. y KALMUS D. (2013): "Procedimiento para identificar estrategias iniciales en una metodología de decisiones robustas aplicada a sistemas agropecuarios". Anales XXVI ENDIO - XXIV EPIO, Ciudad de Córdoba.

ROJO H., RAMOS S. A., GONZÁLEZ X. I., MARRA R., CASTELLINI M., RODRÍGUEZ F. A. y WAINSTOCK A. (2014): "Análisis de vulnerabilidades en

una Metodología de Decisiones Robustas aplicada a sistemas agrícolas".  
Anales XXVII ENDIO - XXV EPIO, Ciudad de San Nicolás.