

Facultad de Ciencias Económicas y de Administración  
Universidad de la República

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y DE  
ADMINISTRACIÓN**

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OBTENER EL TÍTULO  
DE MAGÍSTER EN ECONOMÍA**

**FACTORES QUE AFECTAN LA DECISIÓN DE ADOPCIÓN  
DE RIEGO EN MAÍZ COMBINANDO RETORNOS Y  
RIESGOS**

**Por**

**MATÍAS GELÓS MÁRQUEZ**

**TUTORES:** Ing. Agr. (MSc.) Rodrigo Saldías / Ing. Agr. (PhD)  
Miguel Carriquiry

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2016**

**Página de Aprobación**

**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRACIÓN**

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba la Monografía:

**TÍTULO:** FACTORES QUE AFECTAN LA DECISIÓN DE ADOPCIÓN DE RIEGO EN MAÍZ COMBINANDO RETORNOS Y RIESGOS

**AUTOR:** MATÍAS ULISES GELÓS MÁRQUEZ

**TUTORES:** ING. AGR. (MSC.) RODRIGO SALDÍAS  
ING. AGR. (PHD) MIGUEL CARRIQUIRY

**CARRERA:** MAESTRÍA EN ECONOMÍA

**CÁTEDRA:** ECONOMÍA AGROPECUARIA Y DE LOS RECURSOS NATURALES

**PUNTAJE:**.....  
...

**TRIBUNAL:**

Profesor.....  
...

Profesor.....  
...

Profesor.....  
...

**FECHA:**.....

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis tutores Rodrigo y Miguel por guiarme en la elaboración de la tesis.

En segundo lugar agradezco a los miembros del tribunal por aconsejarme y corregirme durante toda la tesis.

Agradezco también a Adrián Cal por ayudarme con la ejecución de DSSAT, a Bruno Ferraro por ayudarme en la elaboración de la idea original de la tesis, y a Fernando Nieto por facilitarme información muy valiosa.

Por último quiero darle un agradecimiento especial a mi esposa Sofía por apoyarme incondicionalmente en todos mis emprendimientos.

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se busca contribuir a la definición de una estrategia de riego que maximice el beneficio esperable de la producción del maíz en Uruguay. A partir de simulaciones de rendimiento realizadas en el software DSSAT, se comparan distintas estrategias de riego deficitario para una situación particular de Uruguay que combina un suelo, un paquete tecnológico y el clima de una localidad. Las variables económicas a tener en cuenta son la tasa de interés, precio de venta del maíz, precio de arrendamiento de la tierra y estructuras de costos de los factores de producción. Se estudian varias alternativas de riego deficitario, notando que el nivel de riego que maximiza el rendimiento físico no necesariamente coincide con aquel que maximiza el beneficio económico. Una vez obtenidos los resultados, se estudian distintos escenarios de aversión al riesgo del productor, variando el precio del maíz y la tasa de interés, con el fin de analizar la viabilidad del riego en cada caso.

## **DESCRIPTORES**

Maíz. Riego. DSSAT. Maximización de Beneficio. Riego Deficitario. Función de Utilidad. Software de Automatización. Simulación de Rendimiento.

## TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	10
III.	MARCO TEÓRICO .....	13
A.	MAXIMIZACIÓN DEL BENEFICIO .....	13
B.	FUNCIÓN DE UTILIDAD .....	17
IV.	HIPÓTESIS A CONTRASTAR .....	24
V.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	25
A.	FUENTES DE INFORMACIÓN .....	25
1.	Entradas del DSSAT .....	27
2.	Salidas del DSSAT .....	29
3.	Costos de producción .....	31
4.	Precio del maíz .....	35
B.	TÉCNICAS Y ESTRATEGIAS DE ANÁLISIS DE DATOS .....	37
1.	Modelo DSSAT .....	37
2.	Definición de simulaciones .....	40
VI.	RESULTADOS .....	44
A.	ANÁLISIS DE SIMULACIONES .....	44
B.	COMPARACIÓN DE EQUIVALENTES DE CERTEZA .....	49
VII.	CONCLUSIONES .....	58
VIII.	TRABAJOS FUTUROS .....	63
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
	ANEXO A: SISTEMA DE RIEGO .....	70
	ANEXO B: COMPARACIÓN DSSAT 4.0 vs DSSAT 4.5 .....	75
A.	COMPARACIÓN DE RENDIMIENTO EN SECANO .....	75
B.	RESPUESTA AL RIEGO - PROMEDIO DE 3 REPETICIONES .....	76
C.	COMPARACIÓN PROMEDIO DE RENDIMIENTOS .....	77
	ANEXO C: TABLAS DE COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA .....	79
A.	COSECHA 1 .....	79
B.	COSECHA 2 .....	80
C.	COSECHA 3 .....	81
	ANEXO D: TABLAS COMPARATIVAS DE RESULTADOS .....	82
	ANEXO E: RESULTADOS DE SIMULACIONES EN DSSAT .....	83
A.	SIN RIEGO - COSECHA 1 .....	83
B.	SIN RIEGO - COSECHA 2 .....	84
C.	SIN RIEGO - COSECHA 3 .....	85
D.	RIEGO DEFICITARIO 50% - COSECHA 1 .....	86
E.	RIEGO DEFICITARIO 50% - COSECHA 2 .....	87
F.	RIEGO DEFICITARIO 50% - COSECHA 3 .....	88
	ANEXO F: ARCHIVO DE SUELO SOIL.SOL DE DSSAT .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura V.1 - Diagrama de flujo de variables .....	26
Figura V.2 - Funcionamiento de DSSAT .....	39
Figura V.3 - Flujo y estrategia de análisis para el estudio .....	42

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico I.1 - Comparación de colocación de producción en mercado interno y externo (2000-2014) .....	1
Gráfico III.1 - Condición de maximización de beneficio .....	16
Gráfico V.1 - Comparación de precio de maíz en mercado interno y Bolsa de Chicago.....	36
Gráfico VI.1 - Serie de tiempo de rendimiento de maíz en Uruguay (1970-2014).....	44
Gráfico VI.2 - Serie de tiempo de rendimiento de maíz sin tendencia (1980-2014) .....	45
Gráfico VI.3 – Comparación de diferencia de equivalentes de certeza con y sin riego vs costos de inversión en sistema de riego.....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

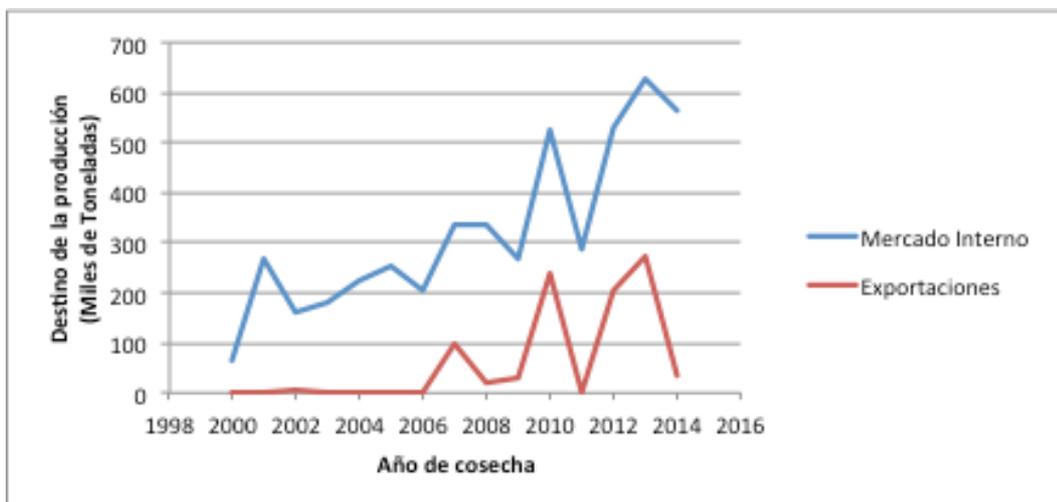
Tabla V.1 - Costos para cosecha en seco y con riego.....	31
Tabla V.2 - Fechas de siembra y cosecha promedio de las simulaciones .....	43
Tabla VI.1 – Comparación de rendimientos promedios nacionales (sin tendencia) y simulados sin riego utilizando DSSAT .....	46
Tabla VI.2 – Costos, ingresos y beneficios por estrategia de riego .....	47
Tabla VI.3 – Comparación de resultados para cultivo en seco y riego deficitario al 50%.....	48
Tabla VI.4 – Costo anual y por hectárea de la inversión en riego para diferentes tasas de interés y necesidad de construcción de fuente de agua.....	50
Tabla VI.5 – Equivalentes de certeza para precio de maíz US\$ 250 .....	50
Tabla VI.6 – Equivalentes de certeza para precio de maíz US\$ 200 .....	51
Tabla VI.7 – Equivalentes de certeza para precio de maíz US\$ 300 .....	51
Tabla X.1 - Costo de inversión en sistema de riego con pivot central.....	73
Tabla X.2 - Costo anual de inversión en sistema de riego (US\$/ha).....	74

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

BROU	Banco de la República Oriental del Uruguay
CARA	Constant Absolute Risk Aversion
CUSA	Cámara Uruguaya de Servicios Agropecuarios
DIEA	Dirección de Estadísticas Agropecuarias
DGR	Dirección General de Registros
DINAGUA	Dirección Nacional de Aguas
DINAMA	Dirección Nacional de Medio Ambiente
DNA	Dirección Nacional de Aduanas
DSSAT	Decision Support System for Agrotechnology Transfer
FAO	Food and Agriculture Organization
FUCREA	Federación Uruguaya de los Grupos Crea
IBSNAT	International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer
IMEBA	Impuesto a la Enajenación de Bienes Agropecuarios
IMESI	Impuesto Específico Interno
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
IP	Impuesto al Patrimonio
ITPC	Intergremial de Transporte de Carga Terrestre del Uruguay
IRAE	Impuesto a la Renta de las Actividades Económicas
IVA	Impuesto al Valor Agregado
MEC	Ministerio de Educación y Cultura
MGAP	Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca
PRENADER	Programa de Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego
TGA	Tasa Global Arancelaria
URF	Unión Rural de Flores
USAID	United States Agency for International Development
UTE	Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas

## I. INTRODUCCIÓN

En la última década, Uruguay ha venido incrementando sostenidamente su producción de maíz, llegando a generar excedentes exportables en algunos periodos. El récord se produjo en la zafra 2012/13, donde se exportó un 43% de la producción. En el Gráfico I.1 se observa la evolución de la producción destinada a exportación y al mercado interno. En 7 años el área cosechada se duplicó, alcanzando las 123.000 hectáreas en 2013, superando a la cebada y el girasol y solamente por detrás de la soja, el trigo y el arroz (MGAP, 2013).



**Gráfico I.1 - Comparación de colocación de producción en mercado interno y externo (2000-2014)**

Fuente: Elaborado sobre la base de datos de URUNET (2015) y MGAP-DIEA (2015)

Las proyecciones de OECD-FAO (2013) indican que la demanda internacional de granos y oleaginosas continuará en ascenso durante la próxima década, sostenida por un aumento de la demanda interna de China. Si bien se puede esperar que el

precio del maíz descienda en el corto plazo, se proyecta que en un horizonte de 10 años los precios se mantengan en niveles relativamente elevados. Según las mismas fuentes, en el corto plazo, la baja se debe a la reposición de stock motivada por altos precios en los años pasados, potenciados por las fuertes sequías en EEUU y Europa en 2012. En el largo plazo, la firmeza es motivada por tasas de crecimiento de la producción de maíz en descenso y el crecimiento de la demanda internacional.

El maíz es un cultivo cuyo rendimiento depende fuertemente de la disponibilidad de agua. Presenta periodos críticos en los cuales es muy sensible a los déficits hídricos. En trabajos recientes (Giménez, 2012) se ha mostrado que en años de deficiencia hídrica fue el cultivo con mayores pérdidas de rendimiento en comparación con la soja y el sorgo. Estas pérdidas se ubicaron entre el 40% y 53% respecto al potencial o rendimiento esperable en condiciones en que el agua no es limitante para el crecimiento. Esto se enmarca en un contexto nacional que presenta un clima de alta variabilidad entre años y entre estaciones, lo que determina una gran oscilación en la productividad de cultivos y pasturas. En Uruguay son frecuentes las deficiencias hídricas durante los meses de verano, con impactos negativos en la producción. La capacidad de almacenaje de agua de los suelos de aptitud agrícola del país oscila entre 60-180 mm, lo cual representa, en el mejor de los casos, 1/3 del consumo de agua de un cultivo de maíz de alto potencial. Por tanto, existe una alta dependencia de la recarga hídrica del suelo durante la estación de crecimiento para satisfacer las demandas por cultivos y

pasturas (Sawchik *et al.*, 2010). A esto se suma un gradual aumento esperable en la frecuencia de eventos extremos tanto por la incidencia del cambio climático global, como por una mayor variabilidad en las precipitaciones (Sawchik *et al.*, 2010). Esto determina, frecuentemente, la necesidad de implementar medidas de mitigación de riesgos que pueden resultar costosas y no siempre eficaces.

Históricamente, el riego en Uruguay ha tenido un mayor desarrollo en aquellos cultivos en los que el mismo ha sido imprescindible para la producción, como el arroz y la caña de azúcar. Debido a la necesidad de producirse bajo regadío, para las condiciones del país, estos cultivos comenzaron a incorporarlo más tempranamente. Se estima que en 1970 el área total bajo riego era 52 mil hectáreas y en 2010 fue estimada en casi 222 mil. El arroz representa entre el 70 y 80% del área regada, consumiendo el 90% del agua total destinada al riego (Failde, Peixoto, Estol y Preve, 2013).

Posteriormente, esta práctica fue expandiéndose hacia otros cultivos donde es de carácter suplementario, como los cultivos hortícolas y los frutales. Esto ocurrió en gran medida por la sensibilidad de los primeros al estrés hídrico y, para el caso de los cítricos, por las crecientes exigencias del mercado internacional en cuanto a la calidad de la fruta. Lo mismo sucede con los frutales de hoja caduca, que a pesar de su reducida comercialización en el exterior, el mercado interno incrementó la exigencia en los requerimientos de calidad. Sin embargo, para aquellos cultivos que tradicionalmente fueron desarrollados en secano, en un país de clima

templado, el riego tuvo escasa incorporación en los esquemas productivos. Avances locales en el conocimiento de estas prácticas, sumado a los embates del clima, aumentos en el nivel y variabilidad de precios agropecuarios durante la última década y el encarecimiento relativo de la tierra, han colocado al riego como alternativa a reconsiderar en los esquemas productivos extensivos (Piedrabuena, 2010).

El aumento en Uruguay del precio de la tierra, así como de los insumos y productos agropecuarios, genera un marco favorable para incrementar el uso de riego suplementario para ciertos cultivos como el maíz (García Petillo, 2012). Este incremento en el costo de la tierra genera a su vez condiciones e incentivos para aumentar la producción a través de la intensificación de los factores de producción. Si bien existen trabajos a nivel nacional que estudian la respuesta biológica de los cultivos frente al riego, no se han desarrollado modelos económicos que simulen el beneficio frente a diferentes niveles de aversión al riesgo de los productores y en distintos escenarios de precios y tasas de interés. Tampoco se han cuantificado las pérdidas de beneficios económicos debido a deficiencias hídricas, y aún menores son las citas encontradas sobre el efecto de las deficiencias de agua en las diferentes etapas de desarrollo de los cultivos (Giménez, 2010).

Durante los últimos 20 años, el estado uruguayo ha promovido el riego a través de distintos proyectos. El más importante fue el Programa de Manejo de Recursos

Naturales y Desarrollo del Riego (PRENADER) financiado por el Banco Mundial, el gobierno y los productores. Ejecutado entre 1994 y 2002, tuvo como resultado que 2.414 productores agropecuarios invirtieran en obras que expandieron el área irrigable del país en 35.000 hectáreas (casi un 20% del área total existente al final del Programa). El PRENADER subsidió el 50% del costo de las obras de riego y el 50% restante fue financiado a través de créditos del Banco de la República Oriental del Uruguay (BROU). Las obras de creación de fuentes y reservas de agua aumentaron potencialmente el riego, pero eso no fue equivalente al incremento del área regada. La evaluación final indicó que solo un 62% de los beneficiarios aplicaba el sistema de riego formulado en el proyecto predial. Una de las lecciones que dejó el PRENADER fue que la promoción del riego no debería limitarse a la realización de obras de captación de agua, las que resultan una condición necesaria pero no suficiente (Failde *et al.*, 2013).

La limitada adopción del riego, aún cuando redunde en mayores beneficios económicos, justifica el manejo de varias hipótesis. La aversión al riesgo del productor, la falta de información respecto a sus beneficios y las formas de adopción de una nueva tecnología, son señalados como los factores más relevantes (Saha, Love y Schwartz, 1994). Es por esto que sigue planteada la interrogante sobre la conveniencia económica del riego suplementario en Uruguay para el maíz y las características de los productores que afectan la decisión de adopción de esta tecnología.

A nivel nacional, un estudio reciente (Failde *et al.*, 2013) realizó una primera aproximación a los beneficios de un programa de inversión para el riego, comparando dos alternativas: represas prediales chicas y represas multiprediales. El planteo no fue hecho desde el punto de vista de un establecimiento, sino desde una perspectiva global (para el sector en su conjunto). Considerando combinaciones de soja y maíz, se concluyó que la inversión en represas multiprediales era rentable con holgura para los precios prevalentes al momento del estudio, tanto al asumir una inversión a 30 años como una a 20 años. Al analizar los costos de invertir en represas prediales para cubrir un área similar, los autores encontraron que no había gran diferencia en los costos operativos ni tampoco en la inversión del sistema de distribución. La diferencia sustancial estaba en la inversión en la obra de la represa. En un ejercicio preliminar, se demostró que la alternativa de represas prediales sería rentable únicamente en un escenario de mejores precios agrícolas.

El presente trabajo busca, en primera instancia, estudiar los beneficios económicos de la adopción del riego en comparación con el cultivo en secano. En adición, se procura analizar de qué manera distintas preferencias del productor frente el riesgo afectan a la decisión de adopción de los sistemas de riego.

Se plantea como objetivo entonces el análisis económico de los potenciales beneficios del uso del riego suplementario para los cultivos de maíz en el Uruguay, como una estrategia para atenuar las crisis en años de sequía

(disminuyendo los riesgos de la actividad y estabilizando los ingresos) y aumentar los beneficios económicos (incrementando la producción por unidad de superficie). En este marco se tienen en cuenta, entre otras variables, los costos de la energía, costos de utilización de sistemas de riego, precio de arrendamiento de la tierra, precio del maíz y la tasa de interés. En definitiva, en el análisis se estudia cómo la decisión de adopción de prácticas de riego de un productor se ve afectada por las condiciones de mercado (precios, costos y tasa de interés) y su grado de aversión al riesgo.

Se debe tener en cuenta también que el agua es un recurso escaso globalmente. Se estima que la agricultura con riego es el principal consumidor de agua, superando el 70%-80% en las zonas áridas y semiáridas (Fereres y Soriano, 2006). A su vez, se espera un incremento en la demanda del agua para necesidades urbanas e industriales. Es por esto, que el uso de agua para riego debe ser manejado más eficientemente, tanto para ahorrar agua como para maximizar la productividad. En este marco, el riego deficitario debe ser visto también como una herramienta para la conservación del agua y la sustentabilidad ambiental (Fereres y Soriano, 2006).

En el capítulo II se describe la pregunta de investigación, donde se detallan los objetivos de la tesis y el instrumental metodológico utilizado. En el capítulo III se desarrolla el marco teórico. En primer lugar se define la función de beneficio del agricultor, luego la función de producción y por último la condición de maximización del beneficio. Se busca estudiar de qué manera la actitud frente al

riesgo y la incertidumbre en la producción puede afectar la toma de decisiones de los productores. Para modelarlos como agentes aversos al riesgo, se define una función de utilidad exponencial y se presenta la forma de cálculo de la utilidad del beneficio de la producción.

En el capítulo IV se presentan las dos hipótesis a contrastar. En el capítulo V se realiza un estudio detallado de las variables de entrada del software de simulación Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT), así como sus salidas. También se estudian aquellas variables necesarias para calcular el beneficio de la producción: Se detallan los costos de producción para la cosecha con riego y en seco, y el precio del maíz a considerar, entre otras. Luego se detallan las simulaciones a realizar. Para verificar la coincidencia entre las simulaciones y las observaciones, se ejecuta el modelo de simulación en seco con datos climáticos históricos (1980-2014) y se comparan los resultados con la serie de rendimientos históricos promedio del Uruguay. Se presentan las distintas estrategias de riego utilizadas y las distintas fechas de siembra definidas en DSSAT. Por último se describe el software DSSAT junto con el modelo que utiliza para realizar las simulaciones.

En el capítulo VI se presentan los resultados de las simulaciones. Se compara primero la serie de tiempo de los rendimientos históricos sin la tendencia con los rendimientos simulados en seco. Luego se comparan los resultados de los rendimientos y beneficios en los distintos escenarios de producción con riego. La

estrategia de riego que brinda mayores beneficios (riego deficitario<sup>1</sup> al 50%) se la compara con las simulaciones en secano. Se analiza la decisión de adopción del sistema de riego para distintos precios del maíz y tasas de interés. Para verificar si la inversión en riego es una mejor alternativa que el cultivo en secano, se compara la diferencia de equivalentes de certeza definida en el capítulo III, para la producción con y sin riego, con la tasa de descuento anual de la inversión en el sistema de riego con pivot central definido en el anexo A. En base a los resultados obtenidos y las hipótesis de investigación definidas, en el capítulo VII se realizan las conclusiones. Se resumen los resultados obtenidos respecto a la viabilidad del riego, teniendo en cuenta los distintos escenarios de tasa de interés, precio del maíz y grado de aversión al riesgo del productor. Para finalizar, en el capítulo VIII se proponen distintas alternativas para continuar profundizando el trabajo desarrollado.

---

<sup>1</sup> Se entiende por riego deficitario a la aplicación de riego por debajo de los requerimientos de evapotranspiración.

## **II. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo analizar la viabilidad y algunos incentivos para la adopción del riego para la producción de maíz en Uruguay. El riego tiene impactos tanto en el nivel medio de rendimientos como en su variabilidad. Para el análisis de sus efectos es necesario contar con distribuciones de rendimiento con o sin el uso de esta tecnología, en condiciones productivas. Es posible que los productores más proclives a la adopción sean aquellos que valoricen más una reducción de variabilidad en los rendimientos, es decir aquellos con mayor aversión al riesgo. Para obtener estas distribuciones, los rendimientos se simulan mediante el modelo DSSAT, para situaciones de diferentes escenarios ambientales. Esto se realiza para distintas estrategias de riego deficitario en un escenario ambiental del Uruguay. Una vez hallado el máximo beneficio con riego, se lo compara con los beneficios simulados de la producción en seco y se estudia la decisión del productor de invertir en un sistema de riego teniendo en cuenta diversas actitudes frente al riesgo y distintas tasas de interés para la inversión en el equipo. Las distintas distribuciones de resultados resultantes (o loterías) se comparan en este estudio a través del equivalente de certeza, definido más adelante.

El escenario ambiental implica determinadas condiciones climáticas, tipo de suelo y características del maíz a cultivar, entre otras. Las variables económicas a tener

en cuenta son la tasa de interés, precio de venta del maíz, precio de arrendamiento de la tierra y estructuras de costos de los factores de producción. Se estudian varias alternativas de riego deficitario, notando que el nivel de riego que maximiza el rendimiento físico no necesariamente coincide con aquel que maximiza el beneficio económico. Esto es así debido a que el uso de riego aumenta los costos variables de electricidad y mano de obra en la gestión de los sistemas de riego. Una vez obtenidos los resultados, se evalúan distintos escenarios de aversión al riesgo del productor, variando el precio del maíz y la tasa de interés, con el fin de analizar la viabilidad del riego en cada caso.

Como resultado adicional se pretende proporcionar una herramienta para la planificación del manejo y uso del agua a diferentes escalas, tanto del punto de vista productivo como económico. A nivel microeconómico, se busca brindar información al productor para la toma de decisión de regar, en qué volumen y en qué momento. A nivel más general, se pretende poner a disposición una herramienta que ayude a la toma de decisiones sobre generación de políticas que incentiven el uso del riego a nivel nacional.

Adicionalmente, se pretende arrojar luz respecto a la posibilidad de considerar el riego suplementario como un seguro, que establezca la capacidad productiva del sistema para atenuar así los riesgos asociados. Una sequía aguda puede significar pérdidas totales y el riego podría hacer la diferencia entre seguir en el negocio o no (Bachino, 2012). De todas formas, no es objetivo de la tesis cuantificar en qué

medida es posible mitigar las pérdidas frente a sequías. Se deja planteada esta pregunta para investigaciones futuras.

### III. MARCO TEÓRICO

#### A. MAXIMIZACIÓN DEL BENEFICIO

A los efectos de presentar el problema que enfrenta un productor agrícola, que debe decidir si regar o no el cultivo, y en dicho caso, cuánto regar, es conveniente definir en primer lugar la función de beneficio en función de los precios del maíz e insumos, y del costo de encender el sistema de riego:

$$\pi(p, \vec{r}, g) = p \cdot q(\vec{x}, \vec{A}, h) - \vec{r} \cdot \vec{x} - g \cdot h - \text{CFT}$$

$p$  = precio del maíz

$\vec{r}$  = vector de precios de insumos, con  $\vec{r} \geq 0$

$g$  = precio del riego

$q(\vec{x}, \vec{A}, h)$  = función de producción

$\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  = cantidad utilizada de cada insumo

$\vec{A}$  = intensidad de factores ambientales

$h$  = cantidad regada

CFT = costos fijos totales

La función de producción  $q(\vec{x}, \vec{A}, h)$  expresa la relación tecnológica existente entre el producto y los insumos o factores necesarios para su producción. Si bien en este caso el estudio en consideración se aplica para el factor agua, es posible realizar un análisis similar para otros factores como el uso de fertilizantes (Timmer, Falcon y Pearson, 1983).

La variable  $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  tal que  $x_i \geq 0$  para  $i=1, \dots, n$ , es un vector que representa la cantidad utilizada de cada insumo (semilla, fertilizante, herbicida), cuya combinación es necesaria para producir una cantidad  $q$  de producto.  $\vec{A}$  es un vector que expresa la intensidad de los factores ambientales (luz, temperatura, suelos), con excepción del agua, que intervienen en el proceso de producción, en forma exógena y  $h$  es un escalar que indica la cantidad de agua de riego necesaria para producir  $q$  tal que  $h=H-L$ . En este caso,  $H>0$  es la cantidad de agua necesaria para que el cultivo exprese su potencial de producción y  $L \geq 0$  es la cantidad de agua de lluvia. Mientras que el valor de  $H$  puede ser conocido previo a la realización del cultivo, el valor de  $L$  no lo es, por lo que el valor máximo de  $h$  para que el cultivo exprese su potencial productivo debe ser estimado a partir de valores históricos de  $L$  o en forma de probabilidad a partir de una función de distribución de lluvias.

La función de producción satisface los supuestos básicos de la teoría económica neoclásica. En primer lugar, solo es posible obtener alguna cantidad de producto ( $q>0$ ) a partir del uso de alguna cantidad de insumo  $i$  ( $x_i \geq 0$  con al menos algún  $x_i > 0$ ). De modo que  $q(0, \vec{A}, h) = 0$ .

Se trata de una función monotónica en sus argumentos, es decir que si es posible producir  $q$  con una determinada combinación de  $\vec{x}$  y  $h$ , entonces es posible producir al menos  $q$ , si se utilizan mayores cantidades de  $\vec{x}$  y  $h$ :

$$PM_i = \frac{\partial q}{\partial x_i} > 0 \text{ para } i = 1, \dots, n \quad \text{y} \quad PM_h = \frac{\partial q}{\partial h} > 0$$

El problema que enfrenta el productor que debe decidir si regar o no, implica maximizar el beneficio en función del riego  $h$ :

$$\max \pi = p \cdot y - \vec{r} \cdot \vec{x} - g \cdot h - \text{CFT} \quad \text{s. a.} \quad y = q(\vec{x}, \vec{A}, h)$$

Para resolver el problema, se deben obtener las condiciones de primer orden, sustituyendo la restricción en la función objetivo y calcular la derivada parcial con respecto a  $h$ :

$$\frac{\partial \pi(p, \vec{r}, g)}{\partial h} = \frac{p \cdot \partial q(\vec{x}, \vec{A}, h)}{\partial h} - \frac{\vec{r} \cdot \vec{x}}{\partial h} - \frac{g \cdot h}{\partial h} - \frac{\text{CFT}}{\partial h} = 0$$

$$\frac{p \cdot \partial q(\vec{x}, \vec{A}, h)}{\partial h} - g = 0$$

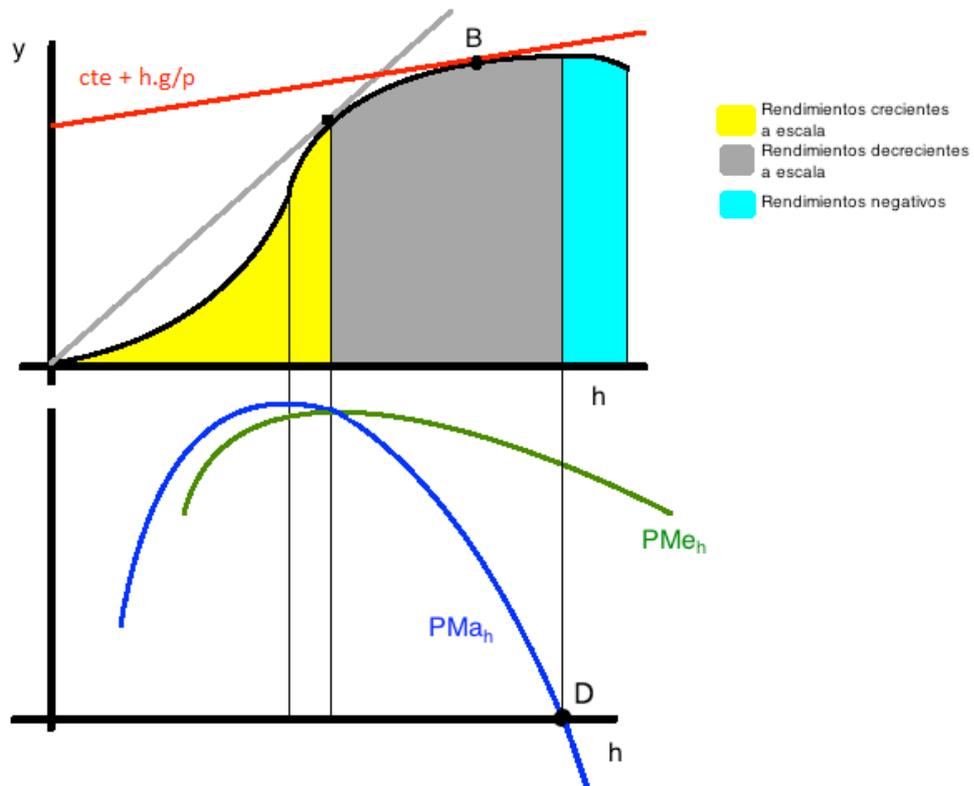
y dado que  $\frac{\partial q(\vec{x}, \vec{A}, h)}{\partial h} = PMa_h$  = producto marginal del factor riego

se cumple que, en el punto de equilibrio, el valor del producto marginal del factor riego es igual al costo unitario del riego. Es decir,

$$p \cdot PMa_h - g = 0 \quad \rightarrow \quad PMa_h = \frac{g}{p}$$

La condición  $PMa_h = \frac{g}{p}$  representa el volumen necesario de agua de riego ( $y$ ) para maximizar el beneficio aportado por esta tecnología. En este punto, se

alcanza tanto eficiencia técnica como económica. La condición de maximización del beneficio se visualiza en el punto de corte B del Gráfico III.1:



**Gráfico III.1 - Condición de maximización de beneficio**

En el gráfico se puede apreciar como la decisión de cuánto regar para maximizar el beneficio dependerá de la función de producción en función del riego y del precio relativo del riego y del maíz. De acuerdo con este modelo teórico, los productores tienden a intensificar el uso del riego si el precio del maíz aumenta y el resto de los precios se mantienen constantes.

El punto máximo de riego, donde  $h = H - L$  ocurre donde se produce el máximo de producción. Por encima de ese punto, más riego no resulta en más producción,

pudiendo incluso tener efectos negativos. El punto de eficiencia técnica y económica se da en algún punto sobre el área gris, donde  $h \leq H - L$ . En este caso particular, esto ocurre en el punto B.

Para acotar el problema de la toma de decisión de la adopción de riego, se asume que el principal riesgo que considera el productor agrícola es el denominado incertidumbre de producción. Se trata de la cantidad de producto que en este caso no es conocida con certeza, debido a la variabilidad climática. Existen otros factores de riesgo, como la volatilidad de precios de insumos y producto, o la incertidumbre tecnológica, asociada a la evolución de las técnicas de producción (Moschini y Hennessy, 2001). La incertidumbre de políticas económicas respecto a impuestos, regulaciones y uso de bienes públicos también pueden jugar un rol importante en la agricultura. Si bien los precios se consideran fijos, un análisis de sensibilidad permite evaluar como la decisión en términos de adopción del riego depende del nivel de precios del maíz.

## **B. FUNCIÓN DE UTILIDAD**

El análisis de la sección anterior estaría reflejando el problema de decisión de un agente que es neutral al riesgo. Se puede considerar que estos agentes maximizan los beneficios esperados. Sin embargo es común que se considere que los productores agropecuarios manifiesten algún grado de aversión al riesgo.

Para estudiar este comportamiento del productor y, en particular, de qué manera la actitud frente al riesgo y la incertidumbre en la producción pueden afectar la toma de decisiones, se toma un abordaje teórico neoclásico, donde se asume al productor como un agente económico con una función de utilidad definida. La función de utilidad de los productores y el análisis sigue, en líneas generales de acuerdo a lo propuesto por Novak, Nadolniak y McNider (2008). En ese artículo, los autores utilizan valores progresivos para las primas de riesgo (5%, 10%,...,40%). Para cada prima de riesgo<sup>2</sup> calcula el equivalente de certeza de los beneficios simulados. La diferencia de los valores de equivalente de certeza con riesgo y sin riesgo se compara con el costo anual de la inversión en un sistema de riego, obteniendo así la preferencia de la adopción o no del sistema de riego por parte de los productores. Es decir, que amerita la inversión en riego siempre y cuando se cumpla lo siguiente:

$$CE_{\text{RIEGO}} - CE_{\text{SECANO}} > CI_{\text{RIEGO}}$$

Siendo  $CE_{\text{RIEGO}}$  y  $CE_{\text{SECANO}}$  los equivalentes de certeza con riego y en seco respectivamente, y  $CI_{\text{RIEGO}}$  el costo anual de inversión en un sistema de riego.

En Novak, Nadolniak y McNider (2008) se asume que las preferencias de los productores son racionales. Es decir, que cumplen con las propiedades de completitud y transitividad. Siendo  $x$  e  $y$  dos alternativas del conjunto total de alternativas  $X$  y  $x \succcurlyeq y$  la relación binaria que indica que  $x$  es tan bueno como  $y$ , se tiene que:

---

<sup>2</sup> La prima de riesgo es un porcentaje del ingreso esperado estocástico que un individuo está dispuesto a ceder de forma tal de eliminar el riesgo.

- Completitud: Para todo  $x, y \in X$ , se tiene que  $x \succcurlyeq y$  o  $y \succcurlyeq x$  (o ambos)
- Transitividad: Para todo  $x, y \in X$ , si  $x \succcurlyeq y$  y  $y \succcurlyeq z$ , entonces  $x \succcurlyeq z$

Al asumir racionalidad en las decisiones de los agentes, es posible representar sus preferencias mediante una función de utilidad. El individuo se comporta como si estuviera maximizando el valor esperado de cierta función de utilidad (tipo Bernoulli) definida sobre las salidas potenciales (Mas-Colell, Whinston y Green, 1995).

Formalmente, la función de utilidad  $u: X \rightarrow \mathbb{R}$  representa la relación de preferencia  $\succcurlyeq$ , si para todo  $x, y \in X$ ,

$$x \succcurlyeq y \leftrightarrow u(x) \geq u(y)$$

Se define al equivalente de certeza de una actividad con retornos variables (o lotería),  $F(\cdot)$ , que se denota  $c(F, u)$  como el monto de dinero por el cual el individuo es indiferente entre la lotería y el monto sin incertidumbre  $c(F, u)$ . La función  $u(\cdot)$  representa la función de utilidad Bernoulli. Formalmente, se puede definir como;

$$u(c(F, u)) = \int u(x) dF(x)$$

Si el equivalente de certeza de un individuo frente a una actividad riesgosa es menor que la ganancia esperada de la actividad, se dice que el individuo tiene

aversión al riesgo. Si es igual se califica como riesgo neutral y si es mayor se lo denomina buscador de riesgos (Kirkwood, 2002). Aversión al riesgo equivale a tener funciones de utilidad cóncavas.

Para agentes que tienen aversión al riesgo como los considerados aquí se utiliza comúnmente y por conveniencia una función de utilidad exponencial con aversión absoluta al riesgo constante (CARA) (Kirkwood, 2002)

$$u(R) = 1 - e^{(-A*R)}$$

donde  $R$  es el beneficio definido para valores mayores o iguales a cero.  $A$  es una constante en el dominio  $(0; \text{inf}]$ . Es el coeficiente que refleja el grado de aversión al riesgo, donde mayores valores corresponden a mayor aversión al riesgo. La función es cóncava en ese rango. Cuanto mayor la curvatura de la función de utilidad, más aversión al riesgo muestra el individuo.

Una medida para definir el nivel de aversión al riesgo es el índice Arrow-Pratt de aversión al riesgo absoluto:

$$AP(R) = \frac{-u''(R)}{u'(R)}$$

Si bien la información de la curvatura de una función está contenida en las condiciones de segundo orden (derivada segunda), esto no es suficiente para medir el grado de aversión al riesgo. Una de las propiedades que se deriva de la condición de racionalidad es que las funciones de utilidad son invariantes frente a transformaciones lineales. Esto quiere decir que una función de utilidad que es combinación lineal de otra, lleva a las mismas decisiones del agente. El índice de

Arrow-Pratt está construido de forma tal que el valor permanece constante luego de cualquier transformación lineal.

La función de la forma  $u(R) = 1 - e^{(-A \cdot R)}$  es la única con índice de aversión Arrow-Pratt constante en  $R$ , con  $AP(R) = A$ , como se muestra a continuación;

$$AP(R) = \frac{-u''(R)}{u'(R)} = -\frac{A^2 \cdot e^{(-A \cdot R)}}{-A \cdot e^{(-A \cdot R)}} = A$$

Para calcular la utilidad del beneficio de la producción se utiliza el equivalente de certeza en cada caso, calibrando los parámetros de la función de utilidad para distintas primas de riesgo. No se utiliza el valor esperado como criterio para tomar decisiones, ya que este tiene sentido cuando el riesgo es lo suficientemente pequeño como para que el individuo tenga capacidad de promediar a largo plazo, o cuando el agente es neutral al riesgo. En la práctica el riesgo puede ser demasiado alto para que esto no sea un supuesto apropiado.

Para reflejar solamente actitudes razonables frente al riesgo, los supuestos se realizan en base a niveles de primas de riesgo, en vez del coeficiente de aversión al riesgo. Estas presentan la ventaja adicional de ser más intuitivamente comprensibles que pensar en términos de coeficientes de aversión al riesgo. Se puede tomar como valores razonables de 40% a 5% (Vedenov y Barnett, 2004).

Asumiendo una prima de riesgo de  $\theta$ , el coeficiente de aversión  $A$  se obtiene igualando el valor esperado de la utilidad de los ingresos con la utilidad del ingreso esperado:

$$E[u(R)] = u((1 - \theta)E[R]).$$

Dado que:

$$E[u(R)] = E[1 - e^{(-A*R)}],$$

$$u((1 - \theta)E[R]) = 1 - e^{(-A*(1-\theta)*E[R])},$$

se resuelve la siguiente ecuación:

$$E[1 - e^{(-A*R)}] = 1 - e^{(-A*(1-\theta)*E[R])}$$

Se puede obtener el parámetro  $A$  numéricamente, y aquí se hace a través de un macro en Excel, mediante el lenguaje Visual Basic que varía el parámetro  $A$  hasta que se cumpla la igualdad para los valores de  $\theta=5\%,10\%,\dots,40\%$ .

Una vez obtenido el valor de  $A$ , se procede a calcular el equivalente de certeza. Dada la función de utilidad  $u(R) = 1 - e^{(-A*R)}$ , para calcular el equivalente de certeza se parte de la definición matemática del equivalente de certeza:  $u(CE) = u(c(F,u)) = EU$ , siendo CE=equivalente de certeza y EU=utilidad esperada.

Entonces:

$$(CE) = 1 - e^{(-A*CE)} = EU \rightarrow e^{(-A*CE)} = 1 - EU \text{ y aplicando logaritmo:}$$

$-A * CE = \ln(1 - EU)$ , despejando CE se obtiene:

$$CE = -\frac{\ln(1 - EU)}{A}$$

Es de esperar que el equivalente de certeza para los beneficios utilizando riego disminuya junto con la aversión al riesgo y con el precio del maíz. Al aumentar los precios del maíz, se incrementa la diferencia en ingresos entre la producción bajo riego en relación a de seco, haciendo más factible que la adopción se torne más conveniente.

Al tener la función de utilidad aversión absoluta al riesgo constante significa que si se agrega un monto fijo a todas las loterías de una apuesta, el equivalente de certeza de la apuesta también aumenta ese monto fijo. Esto trae como consecuencia que a la hora de realizar los cálculos de equivalentes de certeza, todos los costos comunes de las apuestas pueden dejarse de lado.

#### **IV. HIPÓTESIS A CONTRASTAR**

La hipótesis principal del trabajo consiste en que, en un sentido económico, la adopción de riego para la agricultura en maíz en Uruguay se justifica bajo ciertas condiciones de precios, preferencias de los productores, tecnologías y costos de producción y tasas de interés.

La segunda hipótesis consiste en que existe una determinada estrategia de riego deficitario, que si bien no maximiza el rendimiento biológico del cultivo, es la que logra mayores beneficios económicos.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. FUENTES DE INFORMACIÓN

Dado que no existen series de datos que representen rendimientos de maíz para diferentes medidas de manejo, incluyendo por ejemplo el riego, estos se simulan utilizando el modelo biofísico de crecimiento de cultivos denominado DSSAT. Este modelo está ampliamente aceptado y validado en la literatura, incluyendo las ciencias agrarias.

De todas maneras, se incluye una sección donde se comparan las simulaciones en seco con los datos históricos nacionales, para confirmar que existe una coincidencia razonable entre ellas. En ese sentido, es de particular interés verificar el comportamiento del modelo en la captura de la variabilidad y los eventos en que los rendimientos observados fueron afectados por déficits hídricos. Para esta comparación se utiliza la serie de datos de promedios nacionales de maíz en seco, provista por la Dirección de Estadísticas Agropecuarias (DIEA) del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), para el período 1980-2014 (MGAP-DIEA, 2015).

Si bien se opta por utilizar DSSAT, es posible realizar estudios similares con otros productos. Trabajos recientes de Cusicanqui *et al.* (2013), utilizan Aquacrop<sup>3</sup> para

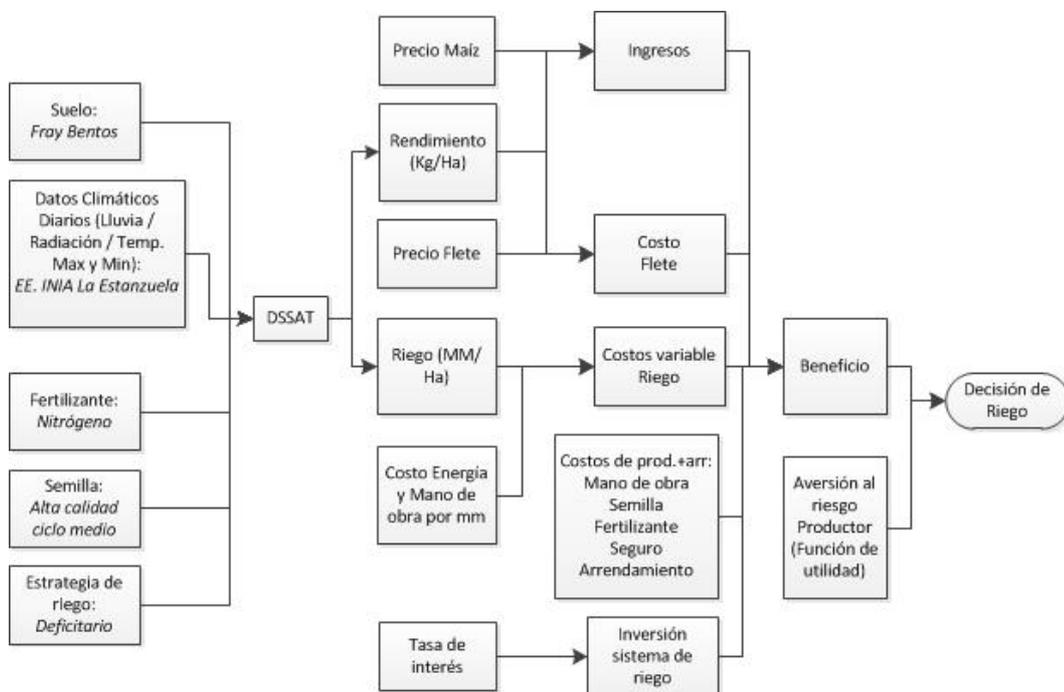
---

<sup>3</sup> Modelo de simulación de rendimiento en respuesta al agua, elaborado por la [Food and Agriculture Organization of the United Nations](#) (FAO).

realizar un estudio económico para el caso de la Quínoa en Bolivia. Se trabaja con el DSSAT por entender que en Uruguay existe más disponibilidad de datos de entrada para este modelo, además de mayor conocimiento nacional por ser el más utilizado en simulación de crecimiento de cultivo. En particular, ha sido calibrado y evaluado en Uruguay desde los años 1990's.

En base a los distintos rendimientos obtenidos, se calculan los beneficios anuales, teniendo en cuenta los costos de los insumos y el precio del maíz. De esta forma es posible analizar rendimientos potenciales frente a escenarios climáticos cambiantes y distintas estrategias de riego.

En Figura V.1 se ilustran las distintas entradas y salidas a lo largo del estudio:



**Figura V.1 - Diagrama de flujo de variables**

## **1. Entradas del DSSAT**

Las entradas del modelo DSSAT contemplan una serie de variables necesarias para realizar la simulación: datos del suelo, datos climáticos diarios (lluvia, temperatura máxima y mínima y radiación), cantidad y fecha de fertilizante aplicado, características del cultivar (variedad o híbrido) y una estrategia de riego.

### **Suelo**

Se utiliza para la simulación un suelo de Fray Bentos, que se puede considerar como un suelo de fertilidad media-alta del Uruguay. Entre las características que definen la calidad de un suelo se destaca la fertilidad y capacidad de retención de agua. En DSSAT un tipo de suelo es modelado como un conjunto de capas (llamadas horizontes), una encima de otra, cada una con una determinada profundidad, textura, características químicas, capacidad de almacenar agua, y conductividad hidráulica. Como características generales del suelo es posible definir la permeabilidad, el escurrimiento y el drenaje. En DSSAT es necesario definir la cantidad inicial de agua en suelo. Se asume que para cada año el suelo comienza con un 90% de agua a capacidad de campo, que corresponde aproximadamente a un 75% de agua disponible.

### **Datos climáticos diarios**

Se cuenta con la serie de datos de condiciones climáticas para el período 1980-2014, proporcionada por INIA (2015). La serie proviene de la Estación

Experimental La Estanzuela y contiene datos diarios de las siguientes variables: temperatura máxima y mínima del aire, radiación solar y lluvia.

### **Fertilizante**

El nutriente utilizado en las simulaciones de DSSAT es nitrógeno aplicado como urea. La cantidad de urea agregada se mantiene constante de una simulación a otra, definiéndose una estrategia de fertilización estándar del Uruguay. Esta implica una fertilización inicial en la etapa de cultivo y una re fertilización al mes y medio luego de la siembra. Durante la fertilización se aplican 40 Kg de nitrógeno (aproximadamente 85 Kg de urea), mientras que en la re fertilización se aplican 100 Kg más (aproximadamente 214 Kg de urea). Además de nitrógeno, también se aplica típicamente fósforo y potasio para la producción de maíz. Si bien las versiones disponibles de DSSAT no consideran a estos últimos en la simulación de crecimiento de cultivos (es decir, se consideran no limitantes), sí se tienen en cuenta en el cálculo de los costos.

### **Cultivar**

Se utiliza una semilla de un híbrido de alto potencial de producción y ciclo medio (120-130 días de ciclo total). Se supone que el productor aplica la tecnología disponible para alcanzar los altos rendimientos productivos, entre ellos el riego.

### **Estrategia de riego deficitario**

Para simular el riego deficitario en distintos niveles, se utiliza la opción *Fixed amount automatic* de DSSAT. Cuando se simula riego deficitario a un determinado porcentaje, en el momento que la cantidad de agua en el suelo es menor a ese determinado valor de la capacidad máxima de almacenar agua disponible para las plantas, se dispara el sistema de riego hasta llegar a su capacidad de campo<sup>4</sup>. Se asume también que la capacidad máxima de aplicación de riego del sistema utilizado es 5 milímetros diarios (asumiendo este valor como el promedio de la evapotranspiración de un cultivo durante todo su ciclo).

### **Pesticida**

Se entiende por pesticida a los herbicidas, insecticidas y fungicidas. Estos no son tenidos en cuenta en la simulación, dado que DSSAT no simula el uso de pesticidas, pero sí son tenidos en cuenta en la estructura de costos.

## **2. Salidas del DSSAT**

Como salida del modelo se obtiene, entre otros datos, la producción de granos en Kg/Ha. Los ingresos se calculan multiplicando el rendimiento obtenido por el precio por tonelada del maíz.

Dada la estrategia de riego definida, también se obtiene como salida la cantidad de milímetros de riego aplicado. Para calcular los costos variables del riego se

---

<sup>4</sup> Contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente.

multiplica esta salida por el precio de la aplicación del milímetro de agua (costo de mano de obra y de energía). El ingreso calculado menos los costos de flete, producción y arrendamiento, da como resultado el beneficio de la producción. Dado el beneficio, tasa de interés y el grado de aversión al riesgo del productor, se identifican las situaciones en que se hace viable la adopción del sistema de riego.

Para poder procesar los resultados de las simulaciones en forma automática, se desarrolla un software integrado a Excel que invoca a DSSAT con los parámetros necesarios para ejecutar las simulaciones. Una vez ejecutadas, el software se encarga de leer las salidas en formato archivo de texto plano y cargarlas en un archivo Excel. Esto permite automatizar los cálculos de beneficios cuando se varían los parámetros de las simulaciones. La información de cada año simulado para las distintas simulaciones es cargada e integrada en hojas de cálculo.

Además de la información necesaria para calcular el beneficio, también se obtienen de DSSAT otros datos de información complementaria para el análisis, como el estrés de nitrógeno de cada simulación en las distintas fases del crecimiento. En el resumen de estrés de nitrógeno de las simulaciones de este trabajo se verificó que la cantidad utilizada de nitrógeno es suficiente todos los años. Esto indica que el nitrógeno no fue limitante por lo que es muy probable que la principal fuente de variación en los resultados obtenidos haya sido la disponibilidad de agua para el cultivo. También se procesa el archivo de temperaturas y lluvia para obtener información de interés, como la cantidad

máxima de días sin llover y las temperaturas mínima y máxima promedio por mes.

Si bien el desarrollo del software implica un esfuerzo adicional en una fase inicial del proyecto, posteriormente es posible cambiar los parámetros de entrada de DSSAT y procesar las salidas con esfuerzo prácticamente nulo.

### 3. Costos de producción

En **Tabla V.1** se presentan los costos definidos para las simulaciones (US\$/Ha)<sup>5</sup>:

**Tabla V.1 - Costos para cosecha en secano y con riego**

Costos por hectárea	Con Riego	Sin Riego
Preparación de chacra	7,3	7,3
Siembra	318,4	233,8
Fertilización - Siembra	182,0	182,0
Herbicida	30,6	39,3
Manejo Sanitario	38,9	12,5
Re Fertilización	105,6	105,6
Seguro	13,0	13,0
Cosecha	100,0	100,0
Arrendamiento	331,0	331,0
Costos estructurales	106,0	106,0
Flete (US\$ 25 por tonelada producida)	303,1	125,1
Riego (US\$ 1,2 por mm regado)	250,8	
	1.786,7	1.255,6

Fuente: FUCREA

<sup>5</sup> Para calcular los costos de flete se asumen los rendimientos simulados sin riego de 5.005 Kg/Ha y con riego deficitario al 50% de 12.127 Kg/Ha. Para calcular el riego se asume 209 mm aplicados.

Se debe tener en cuenta que los costos asumidos corresponden a un contexto económico con un precio del maíz alto. Históricamente existe una alta correlación entre la estructura de costos y el precio del maíz, por lo que en caso que se quiera realizar un análisis similar para precios de maíz más bajos, también se deben revisar sus respectivos costos de producción.

Existen diferencias en los costos de un cultivo regado al compararlo con uno en seco. Si bien los datos que se utilizaron corresponden a un año en particular y no se pueden generalizar a todos los casos, es esperable que el costo de siembra sea superior en un cultivo bajo riego ya que se busca tener un mayor número de plantas por hectárea, por lo que se utiliza mayor cantidad de semillas. Para este trabajo, el costo de siembra para el maíz de seco fue de 233 dólares por hectárea y el regado de 318.

En cuanto al costo de herbicidas, la mayor cobertura del maíz regado genera mejores condiciones de competencia del cultivo con las malezas. Por lo tanto, es esperable que el costo de su control sea menor por una reducción en la cantidad de producto aplicado. Finalmente, para el caso de los insecticidas, generalmente un cultivo regado demanda mayores controles dado que es esperable que se tomen mayores recaudos cuando se decide invertir en regar el cultivo buscando obtener mayores rendimientos.

Para calcular los costos de producción asociados a las simulaciones, tanto en secano como con riego, se dispone de datos reales de productores proporcionados por la Federación Uruguaya de los Grupos Crea (FUCREA).

Los costos a utilizar son:

- Costos de preparación de chacra (servicio de maquinaria y mano de obra)
- Costos de siembra (costo de semilla y maquinaria)
- Costos de fertilización (precio de fertilizantes, maquinaria, mano de obra y combustible)
- Costos de aplicación de herbicidas (precio de herbicida y costo de aplicación)
- Costo de manejo sanitario (precio de insecticida, costo de aplicación de insecticida, precio de fungicida y costo de aplicación de fungicida)
- Costos variables de riego (precio de la electricidad y mano de obra)

El costo de flete varía en función de la cantidad de kilómetros a transportar y del momento del año en que se realiza. Las tarifas de mercado se fijan en pesos. Para realizar la conversión a dólares se asume un tipo de cambio de \$21,5 (precio del primero de enero del 2014). Dadas las tarifas de la Intergremial de Transporte de Carga Terrestre del Uruguay para el mes de setiembre del año 2013 (ITPC, 2013), se observa que varían entre 10 y 40 dólares por tonelada, dependiendo de la distancia y periodo. Para el estudio se asume un costo de 25 dólares por tonelada.

El costo de seguro se asume como 13 dólares por hectárea. El dato se obtiene del documento de Costos de Cultivos para setiembre del año 2015, del Departamento Técnico de la Unión Rural de Flores (URF, 2015). En el documento se presenta el precio promedio indicado por la Cámara Uruguaya de Servicios Agropecuarios (CUSA) para los seguros en maíz.

El costo de cosecha se asume como 100 dólares por hectárea. El dato se obtiene también del documento de Costos de Cultivos para setiembre del 2015, del Departamento Técnico de la Unión Rural de Flores (URF, 2015). En el documento se presenta el precio promedio indicado por la CUSA para la cosecha en maíz.

El costo de arrendamiento se asume 331 (US\$/Ha/Año), que se trata del costo promedio para la agricultura en secano para el año 2014, según la serie Precio de la Tierra del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, a través de la Dirección de Estadísticas Agropecuarias (MGAP-DIEA, 2014). La información de base es proporcionada por la Dirección General de Registros (DGR) del Ministerio de Educación y Cultura (MEC), en el marco de un acuerdo interinstitucional con la DIEA. El promedio es tomado en base a 722 contratos con un promedio de 317 hectáreas arrendadas por contrato.

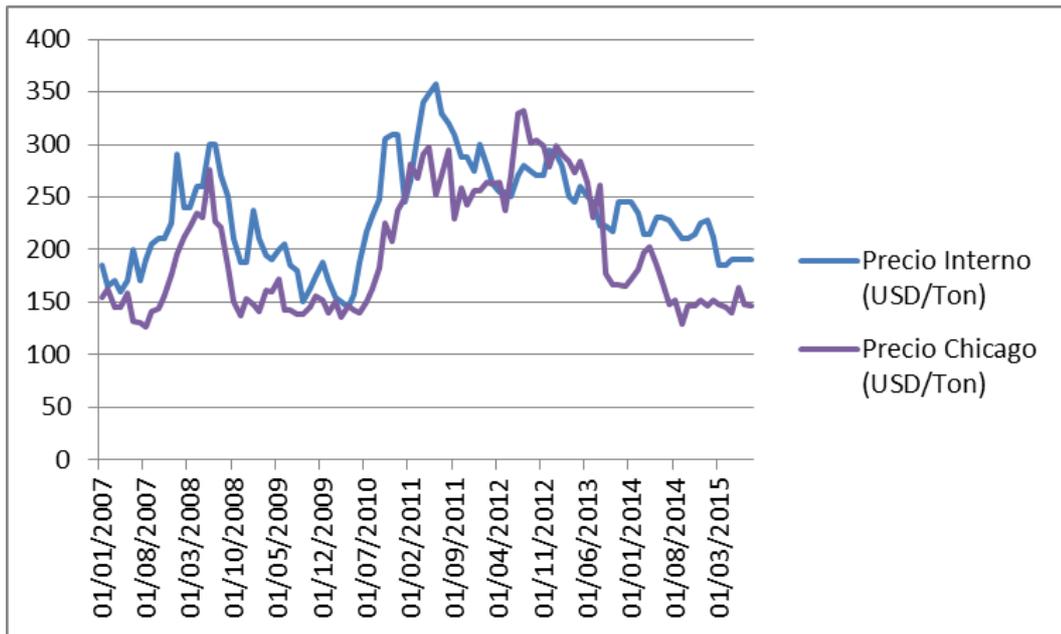
El costo de estructura incluye los costos de administración, mano de obra estructural (no asociada a la producción), mantenimiento del establecimiento, vehículos de la empresa, impuestos y depreciaciones de activos. El costo se asume como 106 US\$/Ha. El dato es facilitado por operadores privados (agrícolas y agrícola-ganaderos) del Taller de Gestión Agrícola Ganadera, para el año 2014. Esta actividad es llevada a cabo por FUCREA.

#### **4. Precio del maíz**

Si bien en los últimos años comenzó a exportarse parte del maíz producido, históricamente la mayor porción de la producción se utiliza para el mercado interno. Para calcular el beneficio de las simulaciones se realiza el estudio para tres precios: 200, 250 y 300 dólares por tonelada. El precio 250 corresponde al promedio del precio del mercado interno para el periodo 2010-2014 y 200 al período 2007-2009. El precio 300 corresponde al promedio anual para el año 2011, año récord en el valor del precio del maíz.

Al ser el Uruguay tradicionalmente un importador del cereal, en general, el precio del mercado interno supera al precio internacional del maíz. Es por esto que los productores intentan colocar su mercadería en el mercado interno, fundamentalmente para la producción ganadera (carne vacuna y lechería) y para la avicultura (MGAP, 2015). A su vez, cuando se vende internamente, es común ahorrar en costos de flete, ya que se suele vender a establecimientos vecinos, mientras que para exportar se debe transportar el maíz hasta el puerto de Nueva

Palmira. A continuación se presenta el gráfico comparativo del precio de mercado interno e internacional. Los datos fueron obtenidos de la Cámara Mercantil de Productos del País (CMPP, 2015):



**Gráfico V.1 - Comparación de precio de maíz en mercado interno y Bolsa de Chicago**

Fuente: Chicago Stock Exchange (2015) y CMPP (2015)

Se puede apreciar como en 2011 se llega a un pico en el precio en el mercado interno que supera los 350 dólares. Luego de este máximo, se observa una marcada tendencia a la baja que se mantiene hasta la fecha, acentuándose aún más en 2015 debido al creciente stock a nivel mundial.

## **B. TÉCNICAS Y ESTRATEGIAS DE ANÁLISIS DE DATOS**

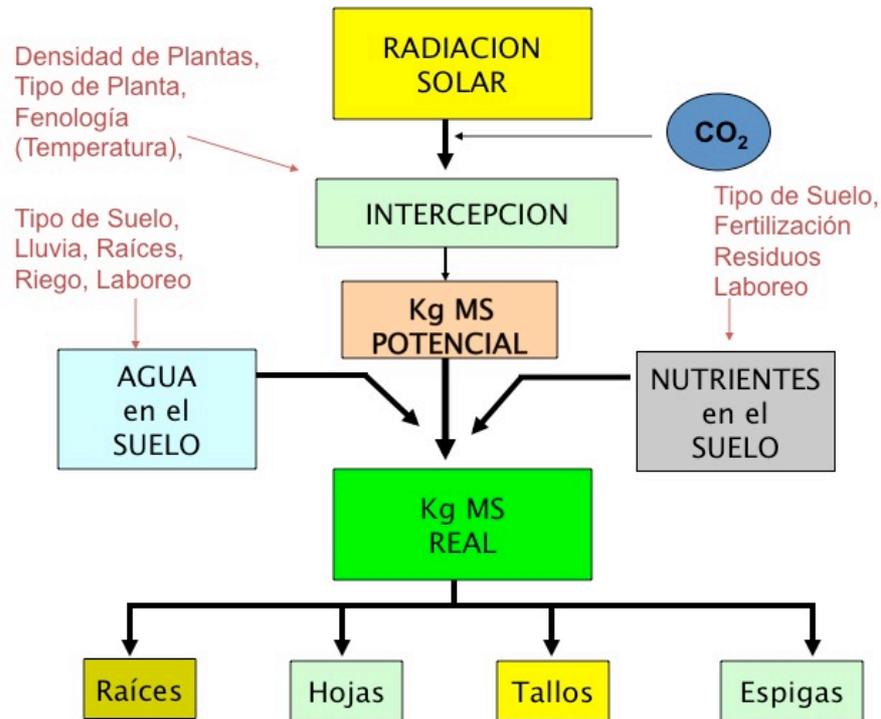
### **1. Modelo DSSAT**

DSSAT es un software desarrollado en el marco del proyecto International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer (IBSNAT), ejecutado durante el período 1982-1992 con el financiamiento de la United States Agency for International Development (USAID). El objetivo de la iniciativa fue demostrar la efectividad de entender las opciones a través de análisis de sistemas y simulaciones para el beneficio de los productores en los trópicos y sub trópicos (Tsuji y Uehara, 1998).

En este trabajo se utiliza la versión 4.5 de DSSAT, compatible con sistema operativo Windows. Incluye herramientas para el manejo de suelo, clima, genética, cosecha y datos económicos. También incluye modelos de simulación biológica para más de 28 cultivos y permite la creación y gestión de experimentos y archivos de datos de suelos y climas. DSSAT simula crecimiento, desarrollo y rendimiento de un área de cultivo uniforme. El cálculo es a paso diario de forma simulada o predefinida por el usuario en lo que refiere a los cambios en el suelo, agua, carbono y nitrógeno. Simula producción de materia seca como una función de condiciones climáticas, propiedades del suelo, características del cultivar (sensibilidad del fotoperiodo, duración de las etapas de crecimiento, etc.) y prácticas de manejo (fecha de siembra, densidad de plantas, uso de fertilizante, riego, etc). El agua disponible en el suelo y el balance de nutrientes se calculan en

una base diaria, y se comportan como un limitante para la producción de biomasa. De esta manera, en base al agua diaria disponible en el suelo y la demanda de agua se estima un factor de estrés que disminuye el crecimiento diario del cultivo y su rendimiento. La materia seca producida para un día dado es particionada en los distintos órganos de la planta formados para el correspondiente día (Chisanga, Phiri, Shepande y Sichingabula, 2014).

La Figura V.2 ilustra como el rendimiento potencial (rendimiento máximo) se calcula en base a los datos de radiación solar, la densidad de siembra, el tipo de planta, y la fenología. Este rendimiento se puede ver limitado tanto por estrés hídrico como por estrés de nutrientes en el suelo. Como resultado se obtiene el rendimiento real, que es menor o igual al potencial. La biomasa simulada se divide entre los distintos componentes de la planta.



**Figura V.2 - Funcionamiento de DSSAT**

Fuente: Baethgen, 2016, com. pers

Para la simulación del maíz, DSSAT incluye el modelo CERES-Maize, que se trata de un modelo predictivo y determinístico, diseñado para simular el crecimiento del maíz, contenido de agua y nitrógeno en el suelo para una estación de crecimiento. Un modelo determinístico es aquel que realiza las predicciones para las cantidades sin ninguna distribución de probabilidad asociada, varianza o elemento variable.

El modelo CERES-Maize ha sido utilizado en forma extensiva en todo el mundo, simulando el crecimiento del maíz y el rendimiento de granos como herramienta para planificación y toma de decisiones. Se puede utilizar para predecir la variabilidad en el rendimiento, la respuesta frente a distintas aplicaciones de

fertilizante y escenarios hídricos. También puede servir para explorar el uso de nuevos cultivares para una zona, para calcular las fechas de siembra óptimas o para predecir variaciones en los rendimientos debido a cambios climáticos.

Las entradas necesarias para ejecutar DSSAT son variables diarias climatológicas (temperatura máxima y mínima, lluvia y radiación solar), información de prácticas de manejo del cultivo y de la cosecha, características del cultivar e información del suelo. La salida incluye entre muchas otras cosas, el rendimiento final del grano, la biomasa total de la cosecha y la partición de biomasa entre los diferentes componentes de la planta al momento de la cosecha.

## **2. Definición de simulaciones**

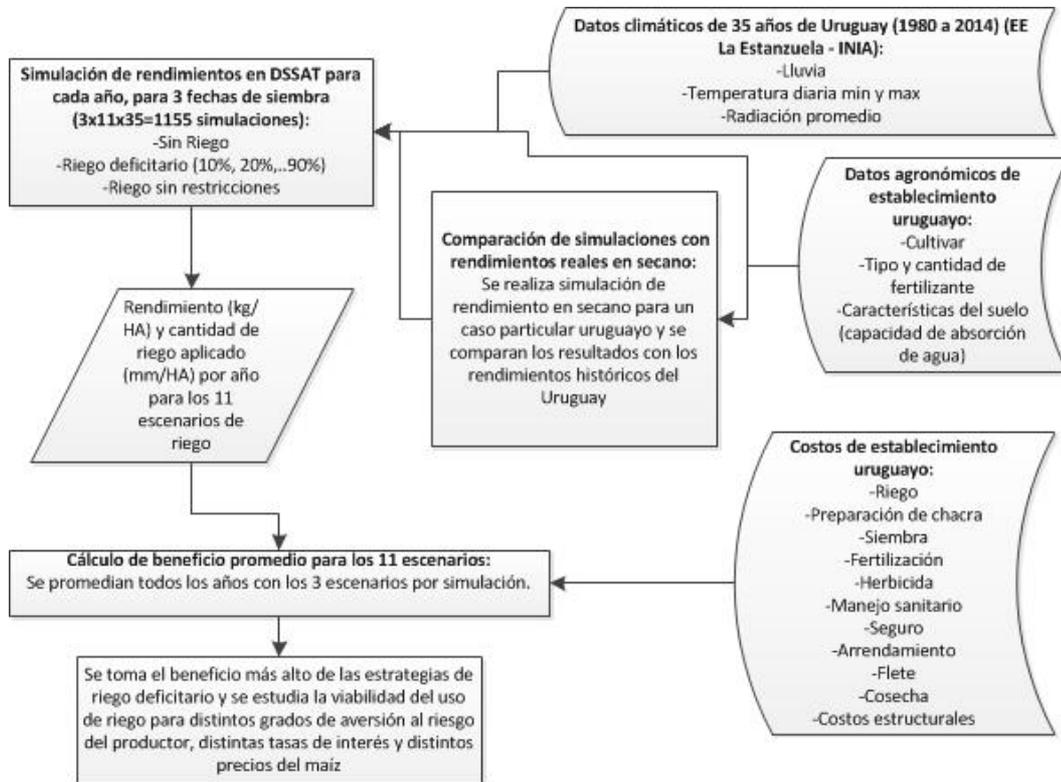
Para verificar que las simulaciones arrojan resultados coherentes con los rendimientos nacionales, se ejecuta el modelo de simulación en secano con datos climáticos históricos (1980-2014) y se comparan los resultados con la serie de rendimientos históricos promedio del Uruguay. Se puede asumir que la serie de datos corresponde a rendimientos en secano, ya que el área de maíz regada es despreciable respecto al área en secano.

Como se indica anteriormente, el uso de datos simulados es necesario dado que en Uruguay hay poca información sobre producción de maíz con riego o sin riego a nivel de productores, y en suelos determinados. Las series de rendimientos de maíz disponibles son promedios a nivel nacional, agregando entre productores con

diferentes recursos (por ejemplo suelos), escalas, capacidades técnicas y tecnologías de producción y manejo. Estos datos no permitirían aislar los impactos del riego para productores que utilizan las mejores técnicas disponibles en suelos de buena aptitud agrícola (que es donde el riego tiene mayores posibilidades de desarrollo). La herramienta se ejecuta considerando la variabilidad climática, la calidad del suelo y las características del cultivar, utilizando prácticas de fertilización constante. De esta manera, es posible atribuir las diferencias de rendimiento a la utilización de riego suplementario.

Una vez comparados los rendimientos de las simulaciones en secano con los datos históricos de producción, se simulan los rendimientos de maíz en distintos escenarios de riego con los datos históricos del clima. Para cada estrategia de riego deficitario, se calcula el beneficio promedio de las simulaciones de cada año. La estrategia de riego que maximice el beneficio será la que se tome como base de trabajo. Los escenarios de riego a simular son riego deficitario al 10%, 20%,..., 90%. También se simula riego sin restricciones, es decir con la cantidad de agua ideal para maximizar el rendimiento.

A continuación se muestra un diagrama de flujo de las simulaciones a realizar:



**Figura V.3 – Flujo y estrategia de análisis para el estudio**

Dado el escenario de riego, para cada año se ejecuta la simulación para tres fechas de siembra alrededor del 9 de Noviembre, cada una con una semana de diferencia entre sí. De esta manera, se evitan posibles resultados extremos, producto de periodos de sequía durante la etapa de floración del maíz. A continuación se presentan las fechas de siembra definidas en DSSAT y el promedio de las fechas de madurez fisiológica, calculado por el software como resultado de las simulaciones. Se puede observar que la diferencia entre la fecha de siembra y de madurez fisiológica promedio es prácticamente la misma para los distintos escenarios de simulaciones.

**Tabla V.2 - Fechas de siembra y cosecha promedio de las simulaciones**

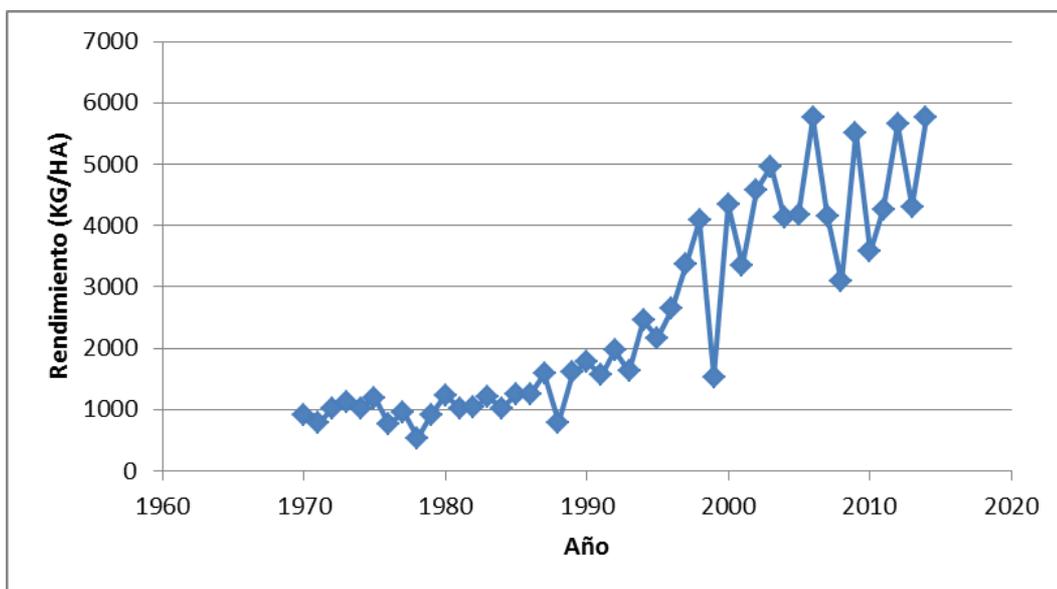
		<b>Fecha siembra</b>	<b>Fecha cosecha prom.</b>	<b>Duración (días)</b>
<b>Con Riego</b>	<b>Siembra 1</b>	2 de noviembre	10 de marzo	129
	<b>Siembra 2</b>	9 de noviembre	16 de marzo	128
	<b>Siembra 3</b>	16 de noviembre	23 de marzo	128
<b>Sin Riego</b>	<b>Siembra 1</b>	2 de noviembre	11 de marzo	130
	<b>Siembra 2</b>	9 de noviembre	17 de marzo	129
	<b>Siembra 3</b>	16 de noviembre	24 de marzo	129

Utilizando el beneficio óptimo simulado con riego y el beneficio simulado en seco, se comparan ambos asumiendo distintas actitudes frente al riesgo del productor, precios del maíz y tasas de interés. La tasa de interés se utiliza para calcular el costo de inversión en el sistema riego. El sistema supuesto así como el cálculo del costo anual de inversión es presentado en el anexo A.

## VI. RESULTADOS

### A. ANÁLISIS DE SIMULACIONES

En Gráfico VI.1 se muestra la evolución del rendimiento promedio del cultivo del maíz en Uruguay. Se aprecia una tendencia creciente, que se puede explicar por avances tecnológicos como pueden ser la utilización de semillas genéticamente mejoradas que aumentan el rendimiento, ajustes en prácticas de manejo y una más efectiva fertilización. Asimismo, se pueden observar importantes desviaciones de esa tendencia creciente para los diferentes años.

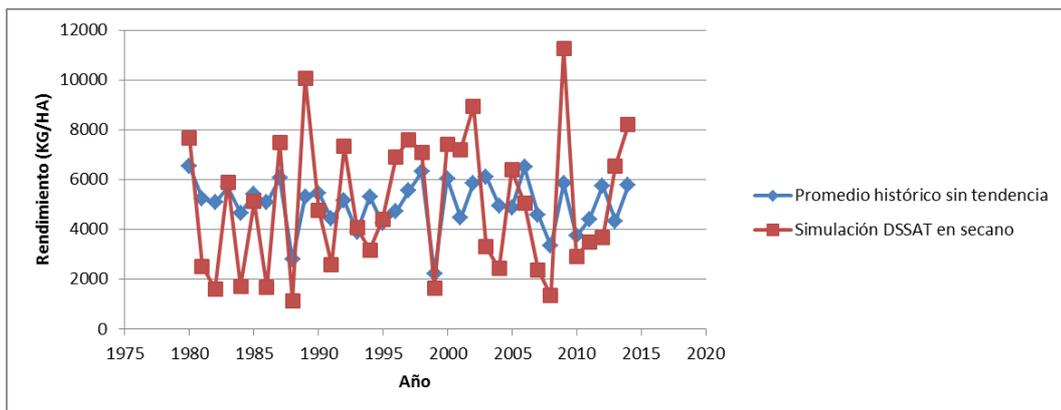


**Gráfico VI.1 - Serie de tiempo de rendimiento de maíz en Uruguay (1970-2014)**

Fuente: MGAP-DIEA (2015)

El foco de este trabajo es en la variabilidad interanual atribuible fundamentalmente a riesgos climáticos. Para aislar y visualizar esta variación

interanual, se le quita la tendencia al componente de aumento sistemático aplicando el comando LOESS del software R.<sup>6</sup> El resultado se muestra en el siguiente gráfico, donde se compara la serie de tiempo de los rendimientos históricos sin la tendencia con los rendimientos simulados en seco:



**Gráfico VI.2 - Serie de tiempo de rendimiento de maíz sin tendencia (1980-2014)**

El modelo captura en forma razonable los rendimientos, esto se da especialmente en el caso para los dos años con caídas más pronunciadas del rendimiento histórico (1988 y 1999). Resultados similares se observan en Baethgen, Carriquiry y Ropelewski (2009). En estos años, de particular interés para evaluar impactos de reducción de riesgos a través de la utilización de riego, el modelo simula reducciones de rendimientos similares a las observadas. Además se aprecia que en la mayoría de los años, si bien se mantienen las tendencias entre los valores simulados y los históricos, los valores simulados tienden a ser más altos y tener mayores niveles de variabilidad (ver **Tabla V.1**).

<sup>6</sup> Este comando ajusta regresiones polinómicas locales.

Estos dos resultados son esperables, dada la naturaleza de los datos históricos observados. Los valores históricos son promedios de distintos establecimientos con diferentes paquetes tecnológicos y suelos. El hecho de ser promedios tiende a reducir la variabilidad (capturado por la desviación estándar). En tanto que los simulados reflejan condiciones de crecimiento en un punto dado, y con una práctica de manejo supuesta (como ser fertilización, materiales genéticos, densidad, etc.). En el modelo planteado se analiza solamente una serie de resultados del DSSAT. La comparación del promedio, desviación estándar, rendimiento mínimo y máximo se puede ver en la tabla VI.1:

**Tabla VI.1 – Comparación de rendimientos promedios nacionales (sin tendencia) y simulados sin riego utilizando DSSAT**

Variable	Media	Des. Est.	Mínimo	Máximo
Prom. Histórico	5.020	1.004	2.237	6.536
Simulación	5.005	2.733	1.137	11.247

La desviación estándar es notoriamente mayor para el caso de las simulaciones, casi triplicando la cifra del promedio histórico. Lo mismo sucede para los valores mínimos y máximos, siendo más amplios para el caso de las simulaciones. Las medias son muy similares (5.020 Kg/Ha el promedio histórico y 5005 Kg/Ha la simulación), esto indica que en promedio DSSAT simula los rendimientos razonablemente.

A continuación se muestran los resultados de las simulaciones para cada estrategia de riego. Se realiza un promedio de las simulaciones para los 35 años, para las tres fechas de siembra simuladas. El costo se divide en el costo de producción y arrendamiento, que difiere para el caso de secano y con riego, el costo variable del flete, que depende de la cantidad de toneladas a transportar y el costo variable del riego, que depende de la cantidad regada. El ingreso en la tabla se calcula con un precio del maíz de 250 dólares por tonelada, asumiendo una tasa de interés del 7% instalando un sistema de riego con fuente de agua.

**Tabla VI.2 – Costos, ingresos y beneficios por estrategia de riego**

Estrategia Riego	Rendimiento (kg/ha)	Riego Aplicado (mm)	Ingreso (US\$/ha)	Costo Prod. + Arr. (US\$/ha)	Costo Variable Flete (US\$/ha)	Costo Fijo Riego (US\$/ha)	Costo Variable Riego (US\$/ha)	Beneficio (US\$/ha)
Sin riego	5.005	0	1.251	1.121	125	0	0	5
Deficitario 10%	7.532	79	1.883	1.233	188	339	95	28
Deficitario 20%	9.409	124	2.352	1.233	235	339	149	397
Deficitario 30%	11.012	164	2.753	1.233	275	339	197	709
Deficitario 40%	11.955	191	2.989	1.233	299	339	230	888
Deficitario 50%	12.127	209	3.032	1.233	303	339	251	906
Deficitario 60%	12.175	225	3.044	1.233	304	339	270	897
Deficitario 70%	12.198	243	3.049	1.233	305	339	292	881
Deficitario 80%	12.208	263	3.052	1.233	305	339	316	859
Deficitario 90%	12.208	292	3.052	1.233	305	339	351	825
Riego 100%	12.201	328	3.050	1.233	305	339	393	780

Se puede observar que el mayor beneficio se obtiene adoptando una estrategia de riego deficitario al 50%. Resultados similares se obtienen con un precio del maíz de 200 y 300 dólares. Según las simulaciones, el rendimiento marginal a partir del riego deficitario al 60% en adelante es despreciable, con lo que no amerita incrementar los niveles de riego. También se observa que el rendimiento obtenido al 50% es más que el doble del rendimiento del cultivo en secano (12.127 Kg/Ha y 5.005 Kg/Ha respectivamente).

En Tabla VI.3 se observa un aumento en la desviación estándar para el cultivo en seco, ya que el riego lleva a estabilizar el rendimiento. La producción con riego es más que el doble que la producción en seco en todos los casos. También se puede observar que si bien existen años con rendimientos muy bajos en seco (por ejemplo, 900 Kg/Ha para la cosecha 1), no existen años con pérdidas totales de la cosecha.

**Tabla VI.3 – Comparación de resultados para cultivo en seco y riego deficitario al 50%**

Precio maíz = 250		Rendimiento (Kg/Ha)		Valor Prod. (US\$/Ha)		Beneficio (US\$/Ha)	
		Con riego	Sin riego	Con riego	Sin riego	Con riego	Sin riego
Promedio	Cosecha 1	12.252	4.995	3.063	1.249	927	3
	Cosecha 2	12.351	5.000	3.088	1.250	955	4
	Cosecha 3	11.778	5.021	2.944	1.255	835	9
Desv. Est.	Cosecha 1	1.041	2.838	260	709	264	639
	Cosecha 2	1.189	2.733	297	683	288	615
	Cosecha 3	1.141	2.653	285	663	261	597
Min.	Cosecha 1	9.531	900	2.383	225	261	-918
	Cosecha 2	9.762	1.137	2.441	284	422	-865
	Cosecha 3	10.074	918	2.519	230	441	-914
Max.	Cosecha 1	13.984	11.101	3.496	2.775	1.318	1.377
	Cosecha 2	14.546	11.247	3.637	2.812	1.491	1.410
	Cosecha 3	14.019	9.168	3.505	2.292	1.393	942

Si se observan los valores máximos, se puede ver que existen años en que es más beneficioso el cultivo en seco que con riego. Esta situación se debe a que los costos de producción con riego son siempre mayores que en seco, y pueden existir años climáticamente muy buenos que no requieran riego para optimizar el rendimiento. Utilizando riego no existe ningún año con beneficio negativo, mientras que en seco los hay para las tres repeticiones de fechas de siembra. Observando el aumento en los retornos esperados y menores niveles de variabilidad en las simulaciones con riego, es de esperar que los productores con mayor aversión al riesgo adopten sistemas de riego. En la próxima sección se

analiza la decisión teniendo en cuenta los distintos grados de aversión al riesgo de los productores y distintas tasas de interés.

## **B. COMPARACIÓN DE EQUIVALENTES DE CERTEZA**

Teniendo en cuenta los resultados de las simulaciones del rendimiento en secano y riego deficitario al 50%, se calcula el equivalente de certeza para las tres repeticiones de fechas de siembra. Dado que los resultados de las tres repeticiones arrojan resultados similares, para conservar espacio, únicamente se muestran los resultados de una fecha en el cuerpo del documento. Los resultados para las restantes fechas de siembra pueden ser consultados en los anexos.

Como se definió anteriormente, para el agricultor, el equivalente de certeza es la ganancia fija a la cual le resulta indiferente participar o no en la actividad de cultivar maíz, el que tiene retornos inciertos. Para verificar si la inversión en riego es una mejor alternativa que el cultivo en secano, se compara la diferencia de equivalentes de certeza de la producción con y sin riego con la tasa de descuento anual de la inversión en un sistema de riego con pivot central. Si la diferencia de coeficientes supera la tasa de descuento, significa que es preferible para el agente la inversión en riego.

Dada una tasa de interés y un sistema de riego con o sin fuente, se obtiene el valor de la inversión anual en el sistema de riego de la Tabla VI.4. El sistema supuesto

así como el cálculo del costo anual de inversión es presentado en el anexo A. El valor de la inversión se compara con la columna *Con riego – Sin riego*, que es la diferencia de equivalentes de certeza entre los cultivos en secano y con riego. Dado un precio del maíz y una prima de riesgo, si el resultado del valor de la Tabla VI.4 es menor que el valor de la columna *Con riego – Sin riego*, significa que el agricultor prefiere el riego.

**Tabla VI.4 – Costo anual y por hectárea de la inversión en riego para diferentes tasas de interés y necesidad de construcción de fuente de agua**

Tasa interés	Con fuente	Sin fuente
3%	269 US\$	243 US\$
5%	303 US\$	270 US\$
7%	339 US\$	298 US\$
10%	396 US\$	343 US\$

**Tabla VI.5 – Equivalentes de certeza para precio de maíz US\$ 250**

Precio = 250			
Prima riesgo	Sin Riego	Con Riego	Con riego - sin riego
40%	-28 US\$	369 US\$	397 US\$
35%	-24 US\$	372 US\$	396 US\$
30%	-20 US\$	375 US\$	396 US\$
25%	-17 US\$	376 US\$	393 US\$
20%	-13 US\$	378 US\$	391 US\$
15%	-9 US\$	378 US\$	388 US\$
10%	-6 US\$	379 US\$	384 US\$
5%	-2 US\$	379 US\$	381 US\$

**Tabla VI.6 – Equivalentes de certeza para precio de maíz US\$ 200**

Precio = 200			
Prima riesgo	Sin Riego	Con Riego	Con riego - sin riego
40%	-125 US\$	143 US\$	268 US\$
35%	-123 US\$	146 US\$	268 US\$
30%	-120 US\$	148 US\$	268 US\$
25%	-118 US\$	150 US\$	268 US\$
20%	-116 US\$	151 US\$	267 US\$
15%	-113 US\$	152 US\$	265 US\$
10%	-111 US\$	152 US\$	263 US\$
5%	-109 US\$	153 US\$	262 US\$

**Tabla VI.7 – Equivalentes de certeza para precio de maíz US\$ 300**

Precio = 300			
Prima riesgo	Sin Riego	Con Riego	Con riego - sin riego
40%	66 US\$	595 US\$	529 US\$
35%	72 US\$	597 US\$	526 US\$
30%	77 US\$	600 US\$	523 US\$
25%	83 US\$	601 US\$	519 US\$
20%	88 US\$	603 US\$	514 US\$
15%	94 US\$	603 US\$	509 US\$
10%	99 US\$	604 US\$	504 US\$
5%	105 US\$	604 US\$	499 US\$

Los resultados muestran que el equivalente de certeza aumenta a medida que aumenta el precio del maíz y se reduce la aversión al riesgo del productor. Intuitivamente esto se condice con el hecho de que cuanto más aversión al riesgo tiene el productor, más va a preferir los beneficios menos volátiles de la producción con riego. A su vez, un aumento del precio del maíz conlleva a un aumento en la variabilidad de los retornos del cultivo en seco en mayor medida que con riego, haciendo la producción con riego más deseable.

Para el caso del precio del maíz de 250 dólares por tonelada, en caso de ser necesario realizar la inversión del sistema de riego con fuente de agua, amerita el riego para una tasa de interés del 7% o menor, independientemente del grado de aversión del productor. Para una tasa de interés del 10% la preferencia de riego depende del grado de aversión al riesgo del productor. Para valores de 30% o mayores se prefiere el riego, mientras que para valores de 25% o menores se prefiere el cultivo en seco. De no requerirse la inversión en la fuente de agua, el riego amerita para cualquier tasa de interés y para cualquier coeficiente de aversión. Para todos los coeficientes de aversión el equivalente de certeza en seco es negativo. Esto indica que para el precio de maíz de 250 el productor prefiere en todos los casos no producir frente a producir en seco, asumiendo que el productor no tiene costos fijos.

Para el precio de maíz a 200 dólares, de requerirse la inversión en la fuente de agua, no amerita el riego para ninguna tasa de interés y ningún grado de aversión al riesgo. Si no se requiere la inversión en la fuente de agua, solamente para una tasa de interés del 3% se prefiere el riego, independientemente del grado de aversión al riesgo del productor. Al igual que para el caso del precio de maíz a 250 dólares, también se observa que el equivalente de certeza en seco es negativo para todos los coeficientes de aversión. Por lo que el productor prefiere en todos los casos no producir a producir en seco, asumiendo que el productor no tiene costos fijos.

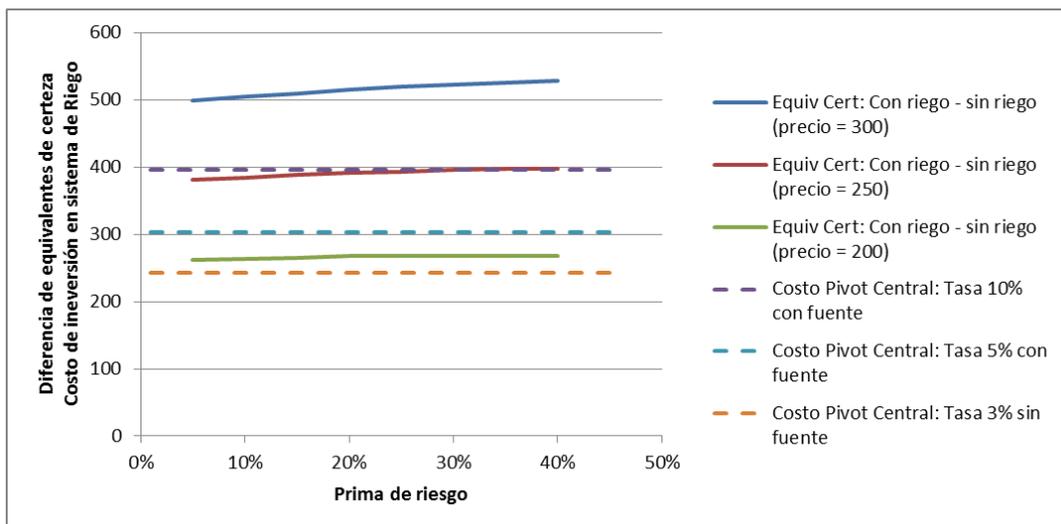
Para el caso del precio de maíz a 300 dólares en cualquier caso es preferible el riego respecto al cultivo en seco. Es decir, que independientemente de la tasa de interés (10% o menor), del grado de aversión al riesgo del productor (40% o menor) y de si el sistema de riego requiere fuente de agua, se prefiere el riego. Es clara la preferencia de riego con este precio del maíz, dado que aún con el sistema de riego más caro (a tasa de interés 10% con fuente de agua) y con el menor grado de aversión al riesgo del productor (5%), la diferencia entre el equivalente de certeza y el costo del sistema de riego es de 103 dólares (es la diferencia entre 499 y 396). Es decir, que aún con un sistema de riego 102 dólares más caro, se sigue prefiriendo el riego. A diferencia del precio de maíz a 200 y 250 dólares, dado que los equivalentes de certeza son positivos en seco, el productor sí prefiere cultivar en seco a no cultivar.

Se puede resumir entonces que, en las condiciones del escenario de simulación utilizado, para un precio de 300 dólares, el riego es viable para todos los agentes agropecuarios considerados, independientemente de si se debe invertir en una fuente de agua o no. Para un precio de 250 dólares, de no requerirse fuente de agua el riego es viable para todos los agentes agropecuarios. Si se requiere fuente de agua la viabilidad del riego depende de la tasa de interés y del coeficiente de aversión al riesgo del productor. Para un precio de 200 dólares, si se requiere fuente de agua, no amerita en ningún caso la inversión, mientras que si no se requiere fuente de agua solamente es viable para tasas de interés bajas (3% o

menor). Los resultados también muestran que para un precio del maíz de 250 dólares o menor el productor prefiere no cultivar a cultivar en seco, mientras que para un precio de 300 dólares sí lo prefiere.

En **Gráfico VI.3** se representan gráficamente los resultados obtenidos. Se puede ver en líneas rayadas algunos casos de costos de inversión en sistemas de riego y en líneas lisas la diferencia de equivalentes de certeza para distintos precios del maíz, en función de las primas de riesgo. Como anteriormente se menciona, para el precio de 200 dólares, en caso de requerirse fuente de agua, no amerita la inversión en un sistema de riego para ninguna tasa de interés. Esto es así porque la curva de diferencia de equivalentes de certeza para 200 dólares no se encuentra por encima de ninguna curva de costo en este caso. En el gráfico se observa que la curva no supera la curva de costos para los sistemas de riego con fuente de agua con tasa de interés de 5% y 10%. De no requerirse fuente de agua, sí se supera la curva de costos para una tasa de interés del 3%. Gráficamente se ve que la pendiente de la curva de diferencia de equivalentes de certeza para este precio es prácticamente nula. Esto indica que por más que se siga aumentando la prima de riesgo, los resultados no varían, dado que no logrará intersectarse con ninguna curva de costo. Para el precio de 250 dólares se puede ver que la pendiente de la curva de diferencia de equivalentes de certeza es positiva, aunque muy cercana a cero. La curva se cruza únicamente con la curva de costo con tasa de interés de 10% con fuente de agua, a una prima de riesgo aproximada del 30%. Es por esto que para valores de 30% o mayores se prefiere el riego frente al cultivo en seco.

También se observa que la curva de diferencia de equivalentes de certeza supera ampliamente a la curva de costos con fuente de agua y tasa de interés de 5%, y más aún a la curva de costos sin fuente de agua y tasa de interés de 3%. Para el caso de 300 dólares se aprecia que la curva de diferencia de equivalentes de certeza se encuentra siempre por encima de todas las curvas de costos. Esto significa que, independientemente de la prima de riesgo, de la tasa de interés, y de si se requiere fuente de agua, siempre amerita el riego. La pendiente de la curva es mayor que para el resto de los otros casos, por lo que se puede concluir que para mayores precios del maíz, el grado de aversión al riesgo tiende a incidir en mayor medida en la decisión de adopción de un sistema de riego. En Novak, Nadolniak y McNider (2008) las pendientes de las curvas de diferencia de equivalentes de certeza también aumentan a medida que aumenta el precio de venta del maíz. A diferencia del presente trabajo, donde las curvas son aplanadas, las curvas son más empinadas.



**Gráfico VI.3 – Comparación de diferencia de equivalentes de certeza con y sin riego vs costos de inversión en sistema de riego.**

Se debe tener en cuenta que las simulaciones realizadas únicamente contemplan la variabilidad del rendimiento, dejando de lado la volatilidad en el precio del maíz. Dado que la decisión de adoptar riego por parte de un productor no afecta el precio del maíz, la volatilidad del precio puede ser vista como exógena. De todas maneras, esto se trabaja en forma parcial al realizar el análisis de sensibilidad para diferentes precios del maíz.

Independientemente del precio elegido, los resultados muestran también que el beneficio siempre es superior con riego, si no se tiene en cuenta la inversión en el sistema de riego. Es decir, que para los tres casos, los costos variables del riego son menores al aumento en los ingresos producto del aumento en la producción. Esto significa que una vez que el productor realiza la inversión en el sistema de riego, éste debe regar más allá del precio del maíz. Dado un sistema de riego completo, pagado a tasa de interés de 7%, el menor precio sin obtener pérdidas (beneficio cero) con riego deficitario al 50% es de 175 dólares para el promedio de las simulaciones, mientras que para el cultivo en seco es de 249 dólares. Este resultado muestra que, en caso que el Estado pretenda aumentar la producción de cultivos con riego, una opción puede ser fomentando la implementación de créditos de interés bajo o nulo para invertir en sistemas de riego.

Otro resultado de la tesis que vale la pena destacar es el software desarrollado e integrado con DSSAT, que permite automatizar el análisis económico del riego

frente a distintas simulaciones. Es posible reutilizar el software para hacer otros análisis para maíz y también para otros cultivos como la soja. Tomando como base el software desarrollado se puede implementar una nueva versión donde los productores puedan ingresar los datos por un sitio Web o por una aplicación móvil, que el software realice en tiempo real las simulaciones y muestre los resultados del análisis económico en cuestión de segundos.

## VII. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realizan simulaciones de rendimiento de maíz, para una situación particular de Uruguay que combina un suelo, un paquete tecnológico y el clima de una localidad. Utilizando datos climáticos de treinta y cinco años (1980-2014), costos de insumos y servicios, y costos de implantación de un sistema de riego, se calculan los beneficios para cada año. Las simulaciones se realizan teniendo en cuenta distintas estrategias de riego deficitario y distintas fechas de cultivo. Se estudia el beneficio obtenido variando el precio de venta del maíz (200, 250 y 300 dólares por tonelada). Una vez obtenidos los beneficios, se comparan los resultados de las simulaciones en secano con la mejor estrategia de riego deficitario según las simulaciones (deficitario al 50%). La estrategia implica activar el riego cuando el contenido de agua en el suelo es menor al 50% de su capacidad de almacenaje. Luego, se corta el riego cuando el suelo llega al 100% de su capacidad (es decir, capacidad de campo). Se estudia la decisión de adopción de un sistema de riego del productor, teniendo en cuenta distintas actitudes frente al riesgo, calculando la diferencia de coeficientes de equivalencia de certeza en riego y secano, a partir de una función de utilidad CARA.

Los resultados muestran que la diferencia de equivalentes de certeza aumenta a medida que aumenta el precio del maíz o que el productor exhibe una mayor aversión al riesgo. Esto significa que cuanto mayor aversión al riesgo o más alto

el precio de venta del maíz, más preferible es optar por la agricultura con riego. Considerando que el rendimiento en seco es más variable que el rendimiento con riego, el aumento del precio del maíz lleva a que el beneficio del cultivo en seco sea aún más variable que el cultivo con riego, haciendo la producción con riego aún más deseable.

En la Tabla VI.3 del capítulo anterior se puede ver que a medida que aumenta el precio del maíz, la pendiente de la gráfica de diferencia de equivalentes de certeza se hace más pronunciada. Esto significa que cuanto mayor el precio más incidencia tiene el grado de aversión al riesgo para la toma de decisión de regar o no regar. Para el precio de 200 dólares la curva es prácticamente horizontal, por lo que en este caso el grado de aversión al riesgo es poco relevante para la toma de la decisión.

Para el escenario de simulación definido, que combina un determinado híbrido, suelo, época de siembra, condiciones climáticas y paquete tecnológico, se encuentran los siguientes resultados: para un precio del maíz de 200 dólares, de requerirse la inversión en la fuente de agua, no amerita el riego para ninguna tasa de interés y ningún grado de aversión al riesgo del productor. Si no se requiere la inversión en la fuente de agua, solamente para una tasa de interés del 3% se prefiere el riego, independientemente del grado de aversión al riesgo. Para el caso del precio del maíz de 250 dólares por tonelada, en caso de ser necesario realizar la inversión del sistema de riego con fuente de agua, amerita el riego para una tasa

de interés del 7% o menor, independientemente del grado de aversión del productor. Para una tasa de interés del 10% la preferencia de riego depende del grado de aversión al riesgo del productor. De no requerirse la inversión en la fuente de agua, el riego amerita para cualquier tasa de interés y para cualquier coeficiente de aversión. Para el caso del precio de maíz a 300 dólares en cualquier caso es preferible el riego respecto al cultivo en seco. Es decir, que independientemente de la tasa de interés (10% o menor), del grado de aversión al riesgo del productor (40% o menor) y de si el sistema de riego requiere fuente de agua, se prefiere el riego.

Dadas las simulaciones, también se concluye que solamente para un precio del maíz de 300 dólares los productores considerados prefieren el cultivo en seco a no cultivar, asumiendo que el productor no tiene costos fijos. Esto es así porque para los precios de 200 y 250 dólares, para todos los coeficientes de aversión al riesgo los equivalentes de certeza son negativos.

Si se observa la evolución de precios del maíz en Uruguay, solamente en el año 2011 se llega a un precio promedio cercano a los 300 dólares. Para el periodo 2007-2014 el precio promedio anual varió entre los 190 y 270 dólares por tonelada. Esto indica que dada la evolución del precio del maíz en Uruguay, no es posible afirmar a priori que es conveniente invertir en sistemas en riego. Tampoco es posible afirmar que no lo es. La respuesta va a depender de cada caso particular, en base a las características de cada establecimiento y la necesidad de

producción de granos del sistema, por ejemplo en producción integrada con ganadería o lechería.

Se debe tener en cuenta que los costos de arrendamiento, el costo de flete, la calidad del suelo y los costos de implantación de un sistema de riego tienen un peso muy importante en la ecuación de beneficio. A su vez, pueden variar en gran medida dependiendo de la ubicación del establecimiento. Por ejemplo, la cercanía al punto de venta disminuye el costo de flete mientras que la cercanía a una fuente de agua disminuye el costo de inversión en un sistema de riego. Este análisis arroja luz sobre algunos de los factores que han llevado a un desarrollo en pulsos del riego en Uruguay y a las disímiles conclusiones de estudios anteriores en cuanto a la conveniencia económica de los sistemas de riego en maíz.

Si no se tiene en cuenta el costo de la inversión del sistema de riego, cualquier simulación sugiere que es más conveniente el riego, ya que los costos variables de activar el sistema de riego son sustancialmente menores que los beneficios del aumento de rendimiento. El beneficio calculado para los 35 años en las distintas simulaciones siempre es positivo utilizando sistemas de riego, mientras que en seco no. De esta manera, el riego puede ser visto también como una herramienta estabilizadora de beneficios y mitigadora de riesgos.

A partir del estudio realizado, se concluye que dada la coyuntura económica actual, para poder definir si es conveniente invertir en un sistema de riego, se debe

realizar un estudio detallado según las características del establecimiento. Dado que la implantación de un sistema de riego se trata de una tecnología cara y difícil de amortizar, se vuelve aún más importante conocer la estrategia de riego que maximiza el beneficio. Es necesario conocer en qué momento y qué cantidad de agua se debe regar, de forma tal de maximizar la diferencia de los costos de energía y mano de obra de encender el sistema de riego, contra el excedente de producción generado.

## VIII. TRABAJOS FUTUROS

Para calcular el beneficio para las distintas simulaciones, se asume un escenario particular de un productor uruguayo. Se realizan supuestos y simplificaciones que hace que los resultados no sean generalizables para todos los productores. A partir del modelo desarrollado, es posible elaborar modelos más complejos que levanten los supuestos y abarquen otras realidades.

Las características del suelo, el cultivar y la cantidad de fertilizante aplicado, hacen variar tanto los costos como los rendimientos de la cosecha. Para el caso del fertilizante, se mantiene la cantidad de aplicada constante para todas las simulaciones. Seguramente el hecho de variar la cantidad aplicada de fertilizante según la estrategia de riego pueda modificar los resultados de los beneficios. Respecto a la estrategia de riego, es posible definir técnicas más complejas, como variar la cantidad de agua aplicada según las etapas de crecimiento del cultivo o aplicar riego dependiendo del nivel de estrés hídrico de la planta en vez del estrés hídrico del suelo. En Fereres y Soriano (2006) se plantea que, disminuyendo la cantidad regada sostenidamente a medida que avanza la temporada, permite que las plantas se adapten al déficit hídrico, en suelos con buena capacidad de almacenamiento de agua. Esta alternativa se denomina riego deficitario sostenido, y puede ser considerada como otra técnica de riego deficitario a evaluar.

Un estudio localizado por ubicación del establecimiento lleva a identificar las zonas del país más favorables para el riego. La ubicación define la calidad del suelo, la disponibilidad de agua, el clima, el costo de arrendamiento y el costo del flete, entre otras variables. También es deseable realizar las simulaciones categorizando según el tamaño del establecimiento. Los costos asociados al tipo de productor pueden variar sustancialmente. Grandes productores pueden negociar menores precios de insumos al comprar en cantidad y también pueden tener mayores costos fijos, al tener costos de estructura mayores y más rígidos.

Estudios recientes (Failde *et al.*, 2013) indican que desde el punto de vista económico parece recomendable intentar el uso de obras multiprediales por sobre obras prediales chicas. La diferencia en la inversión inicial en la obra de la represa parece ser sustancial. Por ejemplo, para cubrir unas 20 mil hectáreas, la represa tiene un costo de unos 6 millones de dólares, mientras que en el caso de construir represas chicas para cubrir un área similar, el costo de las obras sería del orden de los 17 millones de dólares. Parece razonable comparar el resultado de las simulaciones asumiendo los costos de inversión de una represa, para estudiar los beneficios económicos asociados y compararlos con los obtenidos en el presente trabajo.

Para el estudio de la viabilidad de la aplicación de un sistema de riego, se tiene en cuenta solamente una cosecha de ciclo medio para el cultivo de verano maíz. Existe la posibilidad de aprovechar la superficie y el sistema de riego para plantar

otro cultivo de verano. Es posible realizar un análisis integrado que estudie la viabilidad de implantación de un sistema de riego que se utilice para ambos cultivos. El hecho de evaluar la viabilidad de la implantación de un sistema de riego en el marco de un sistema de producción en vez de un cultivo aislado, permite que el costo del sistema se amortice en los distintos cultivos. DSSAT permite simular rotaciones de cultivos incluso entre distintos años, que ajusta más a la realidad del Uruguay, donde es común plantar más de un cultivo de verano para un año y rotar los cultivos año a año.

En el presente trabajo se realiza un estudio del beneficio de la producción de maíz según su precio de venta, asumiendo que el resto de las variables permanecen constantes. Existen variables como el precio de arrendamiento de la tierra, costo de semilla y mano de obra que tienen cierto grado de correlación con el precio del maíz. Un estudio de la correlación entre las distintas variables llevará a un análisis más detallado del beneficio frente a distintos escenarios de la variación del precio del maíz.

Para acotar el alcance del estudio se excluye el análisis de los posibles beneficios fiscales que pueden aplicarse para la instalación de un sistema de riego. Hoy en día es posible exonerar parcial o totalmente los siguientes impuestos: Impuesto al Valor Agregado (IVA), Tasa Global arancelaria (TGA), Impuesto Específico Interno (IMESI), Impuesto a la Enajenación de Bienes Agropecuarios (IMEBA),

Impuesto al Patrimonio (IP) e Impuesto a la Renta de las Actividades Económicas (IRAE) (Bachino, 2012).

Los resultados de las simulaciones indican que de no tenerse en cuenta el costo de inversión en el sistema de riego, siempre es preferible el cultivo con riego por sobre seco. Esto sucede debido a que los costos variables del riego son menores al excedente de producción para cualquier precio del maíz. Plantear escenarios de exoneraciones impositivas que reduzcan el costo del sistema de riego hace viable el uso de riego para precios del maíz menores. Es deseable cuantificar el monto de estos beneficios fiscales para así conocer los precios del maíz que hacen viable la inversión en estos casos. Este estudio ofrece evidencia parcial en ese sentido y explica, en parte, el importante aumento del área bajo riego en el pasado reciente.

Por último, se plantea como futuro trabajo, tomando como base el presente, el desarrollo de un modelo de programación bio-económico de riego en sistemas de producción agrícola online (aplicado a pc y/o telefonía móvil) que ayude a la toma de decisión de los empresarios de distintos tamaños (chicos, medianos y grandes) tanto en la mejor combinación de área a regar y equipo de riego a utilizar como la optimización de los beneficios en sus sistemas productivos. Es posible tomar como base el software desarrollado en el presente trabajo, debido a que logra comunicarse con el software de simulación DSSAT, tanto para ejecutarlo como para leer sus salidas y procesarlas.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACHINO, F. (2012) “Análisis de costos y rentabilidades en riego por aspersión.” En *Riego en cultivos y pasturas*. 2<sup>do</sup> Sem. Internacional, Salto, Uruguay, Cap. 7: 81-97.

BAETHGEN, W., M. CARRIQUIRY y C. ROPELEWSKI (2009) “Tilting the Odds in Maize Yields.” En *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 90: 179-183.

CHICAGO STOCK EXCHANGE (2015) *Serie histórica de precios de maíz de Bolsa de Chicago (2007-2015)*. Accesible en:

<http://www.barchart.com/chart.php?sym=ZCY00&style=technical&template=&p=MO&d=X&sd=&ed=&size=M&log=0&t=B>. Consultado el 23/11/2015. s/p.

CHISANGA, C.B., E. PHIRI, C. SHEPANDE y H. SICHINGABULA (2014) “Evaluating CERES-Maize Model Using Planting Dates and Nitrogen Fertilizer in Zambia.” En *J. of Agric. Science*, 7(3): 79-97.

CMPP (2015) *Serie histórica de precios de maíz para mercado interno y exportación (2007-2015)*. Cámara Mercantil de Productos del País. Accesible en:

<http://www.camaramercantil.com.uy/softis/documentos/dl/ceroleag/>. Consultado el 11/10/2015.

CUSICANQUI, J., K. DILLEN, M. GARCIA, S. GEERTS, D. RAES y E. MATHIJS (2013)

“Economic assessment at farm level of the implementation of deficit irrigation for quinoa production in the Southern Bolivian Altiplano.” En *Spanish J. of Agric. Research*, 11(4): 894-907.

FAILDE, A., C. PEIXOTO, E. ESTOL y A. PREVE (2013) “Estudio sobre riego agropecuario en Uruguay”. En *Anuario OPYPA 2013*. Montevideo, Uruguay

FERERES, E. y M. A. SORIANO (2006) “Deficit irrigation for reducing agricultural water use”. En *J. of Exp. Botany*, Vol 58, No. 2, pp. 147-159.

GARCÍA PETILLO, M. (2012) “Conceptos básicos para el diseño y el manejo del riego.” En *Riego en cultivos y pasturas*. 2<sup>do</sup> Sem. Internacional, Salto, Uruguay, Cap. 2: 25-32.

GIMÉNEZ, L. (2010) “Efectos de la disponibilidad hídrica en diferentes etapas de desarrollo de maíz y soja.” En *Potencial del riego extensivo en cultivos y pasturas*. 1<sup>er</sup> Sem. Internacional. Paysandú, Uruguay, Cap. 3: 29-37.

GIMÉNEZ, L. (2012) “¿Cuánto estamos perdiendo por no regar cultivos en Uruguay?” En *Riego en cultivos y pasturas*. 2<sup>do</sup> Sem. Internacional, Salto, Uruguay, Cap. 3: 35-41.

INIA (2015) “Serie histórica de datos climáticos diarios en Estación Experimental INIA La Estanzuela (1980-2014).” Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Accesible en:

<http://www.inia.uy/investigaci%C3%B3n-e-innovaci%C3%B3n/idades/GRAS/Clima/Banco-datos-agroclimatico>. Consultado el 27/6/2015.

ITPC (2013) *Tarifas de referencia de flete de cereales*. Intergremial de Transporte Profesional de Carga Terrestre. Accesible en: <http://www.intergremial.com/secciones/tarifas>. Consultado el 11/10/2015.

KIRKWOOD, C. W. (2002) *Decision Tree Primer*. Department of Supply Chain Management, Arizona State University, Kluwer Academic Publishers, pp 19-26.

MAS-COLELL, A., M.D. WHINSTON y J.R. GREEN (1995) *Microeconomic Theory*. Oxford University Press.

MGAP (2013) Anuario Estadístico Agropecuario 2013. *Página Web del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca*. Accesible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-anuario-2013,O,es,0>, Consultado el 27/6/2015, pp. 21-26.

MGAP (2015) Anuario 2015 OPYPA. *Página Web del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca*. Accesible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,opypa,opypa-anuario-2015,O,es,0>, Consultado el 2/2/2016, pp. 179-180.

MGAP-DIEA (2014) *Precio de la tierra – Arrendamientos año 2014*. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de estadísticas Agropecuarias. Serie Precio de la Tierra. Accesible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-pre-precio-de-la-tierra,O,es,0>, Consultado el 11/10/2015.

MGAP-DIEA (2015) *Serie histórica de rendimientos promedios anuales de maíz en Uruguay (1960-2009)*. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Dirección de Estadísticas Agropecuarias. Accesible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-series-historicas,O,es,0>, Consultado el 27/6/2015.

MOSCHINI, G. y D.A. HENNESSY (2001) “Uncertainty, risk aversion, and risk management for agricultural producers.” En *Handbook of Agric. Econ.* Vol 1(part A): 87-153.

NOVAK, J. L., D.A. NADOLNYAK y R. McNIDER (2008) “Analysis of irrigated corn production adoption decisions in Alabama.” En *SAEA Annual Meetings*. Dallas, TX.

OECD-FAO (2013) “Agricultural Outlook 2013-2022.” Office of Economic Cooperation and Development. United Nations Food and Agriculture Organization. Accesible en: [http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2013\\_agr\\_outlook-2013-en](http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2013_agr_outlook-2013-en). Consultado el 24/1/2016.

PIEDRABUENA, L. (2010) “¿Es viable económicamente el riego extensivo en Uruguay?” En *Potencial del riego extensivo en cultivos y pasturas*. 1<sup>er</sup> Sem. Internacional. Paysandú, Uruguay, Cap. 15: 165-175.

SAHA, A., H. LOVE y R. SCHWART (1994) “Adoption of emerging technologies under output uncertainty.” En *Amer. J. of Agric. Econ.*, 76(4): 836-846.

SAWCHIK, J., C. MAS, E. PÉREZ GOMAR, R. BERMÚDEZ, V. PRAVIA, D. GIORELLO Y W. AYALA (2010) “Riego suplementario en pasturas: antecedentes de investigación nacional.”

En *Potencial del riego extensivo en cultivos y pasturas*. 1<sup>er</sup> Sem. Internacional. Paysandú, Uruguay, Cap. 13:141-153.

TIMMER, C.P., W.P. FALCON y S.R. PEARSON (1983) *Food Policy Analysis*. World Bank. The John Hopkins University Press. Accesible en:  
<http://www.stanford.edu/group/FRI/indonesia/documents/foodpolicy/chapt3.fm.html>. Consultado el 27/6/2015.

UEHARA G., y G.Y TSUJI (1998) Overview of IBSNAT. En *Understanding Options for Agricultural Production*. G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom y P.K. Thorton (Eds.) Kluwer Academic Publishers. Dordrecht-Boston-London; 1-7.

URF (2015) *Costos de Cultivos*. Unión Rural de Flores. Departamento Técnico. Accesible en:  
[http://www.urf.com.uy/IMG/pdf/Costo\\_cultivo\\_SETIEMBRE\\_2015.pdf](http://www.urf.com.uy/IMG/pdf/Costo_cultivo_SETIEMBRE_2015.pdf). Consultado el 22/10/2015.

URUNET (2015) Serie histórica de exportaciones de maíz en Uruguay (2000-2014). *Página Web de URUNET*. Accesible en: <http://urunet.com.uy/en/> Consultado el 27/6/2015.

VEDENOV, D.V. y B. J. BARNETT (2004) "Efficiency of weather derivatives as primary crop insurance instruments. En *J. of Agric. and Res. Econ.*, 29(3):387- 403.

## **ANEXO A: SISTEMA DE RIEGO**

A la hora de definir la implantación de un sistema de riego en Uruguay, se deben tener en cuenta los siguientes puntos (Bachino, 2012):

- Agronomía: qué, cuándo y cuánto regar, plan de cultivos, rotaciones.
- Agrimensura: niveles de terreno, ubicación de equipos, identificación de obstáculos, permisos ante la Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA).
- Hidrología – Hidráulica: fuentes de agua, caudales, equipos de bombeo, conducciones, permisos DINAGUA.
- Ambiental: en proyectos que requieren análisis ambiental, permiso Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA).
- Energía: fuente de energía, tendidos eléctricos, tableros, protecciones eléctricas, transformadores, trámites Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE).
- Economía y finanzas: cálculo de rentabilidades, cálculo del repago.
- Estudio de beneficios fiscales: análisis de posibilidades de exoneración fiscal.

Existen diversos sistemas de riego para el cultivo de maíz. La conveniencia de usar uno u otro depende de las características anteriormente nombradas. Para el estudio de la viabilidad del riego se asume el uso del sistema de riego por pivot central, debido a que se trata de uno de los más comunes para el riego de maíz en

Uruguay. Los costos de riego se obtienen del estudio de Bachino (2012). Este asume costos promedio de un equipo para uso común (terreno de escasa pendiente, largo de equipo medio, riego cultivo de baja altura).

La fuente de agua en un sistema de riego puede contemplar perforaciones, toma directa de arroyos y tajamares o represas. La toma de agua directa de un arroyo hacia los equipos de riego requiere un caudal del curso del río suficiente durante todo el año. Este caso aplica solamente para los cursos de mayor porte del país, por lo que no puede ser generalizado. A su vez, de acuerdo a los límites establecidos para adjudicar tomas directas de los cauces existentes (ríos, arroyos y lagunas), en varias cuencas ya se han agotado los cauces autorizables, lo que refuerza la idea que el crecimiento del riego en el futuro debe basarse fundamentalmente en la construcción de reservas de agua (Failde *et al.*, 2013).

Por otro lado, Uruguay se caracteriza por tener limitaciones del agua subterránea. De esta manera, para calcular el costo de la implantación de un sistema de riego, se diferencia si el establecimiento necesita realizar la inversión en una fuente de agua o no. En el caso que se requiere realizar la inversión, se asume la construcción de un tajamar. El principal defecto de estas obras es la inundación de una parte del predio, ya que es una porción del terreno que se desaprovecha para la agricultura. El empleo de una represa o tajamar es posible en Uruguay debido a su topografía ondulada del territorio (Bachino, 2012). A los efectos del estudio se asume que el lucro cesante del área inundada es marginal.

Las características del sistema de riego son las siguientes:

- Equipo de riego: pivot central de 565 m de radio, 100 ha de riego. Presión de trabajo de 25 mca (2.5 bar, 35 psi). Lámina de riego 5 mm/día. Aplicación anual 350 mm (1400 h de riego al año)
- Fuente de agua: represa con capacidad útil de almacenamiento de 350.000 m<sup>3</sup> (el volumen total almacenado equivale a la demanda del sistema más un 20% de pérdidas por ineficiencia, 420.000 m<sup>3</sup>). El volumen de tierra de la represa es 15.000 m<sup>3</sup> (relación agua/tierra=30). Obra de toma de 50 m de longitud y de 300 mm de diámetro.
- Conducciones: la impulsión se realiza de forma directa con una tubería de 250 mm de diámetro y 1000 m de longitud.
- La diferencia geométrica es 20 m, la presión total necesaria es 55 mca.
- Bomba con capacidad de impulsar 255 m<sup>3</sup>/h con una presión de 55 mca (5.5 bar, 78 psi). El sistema requiere una potencia de 50 kw (70 HP). Para alimentación con energía eléctrica se requiere un motor de 75 HP.
- Energía: se requiere el tendido de red eléctrica nueva de 2 km de extensión para el abastecimiento energía eléctrica.

**Tabla X.1 - Costo de inversión en sistema de riego con pivot central**

Rubro	Ítem	Precio US\$	Subtotal
Equipo de riego, conducciones, obras civiles y equipo de bombeo.	Pivot armado en campo	130.000	195.000 US\$ – 1.950 US\$/ha
	Tubería instalada	40.000	
	Bomba y motor, acople directo	15.000	
	Caseta de bombeo y base de pivot	5.000	
	Fittings	5.000	
Fuente de agua	Movimiento de tierra de represa	45.000	50.000 US\$ – 500 US\$/ha
	Obra de toma	5.000	
Energía	Tendido eléctrico de 2 km	12.000	22.000 US\$ – 2.200 US\$/ha
	Tablero y protecciones	10.000	
<b>Costo de inversión total:</b>			267.000 US\$ – 2.670 US\$/ha

Fuente: Bachino (2012)

El tiempo de amortización de los componentes se asume como su tiempo de vida:

- Equipo de riego: 10 años
- Represa: 30 años
- Obras eléctricas: 20 años

Teniendo en cuenta el tiempo de amortización y los costos, se calculan los siguientes costos anuales para las distintas tasas de interés.

**Tabla X.2 - Costo anual de inversión en sistema de riego (US\$/Ha)**

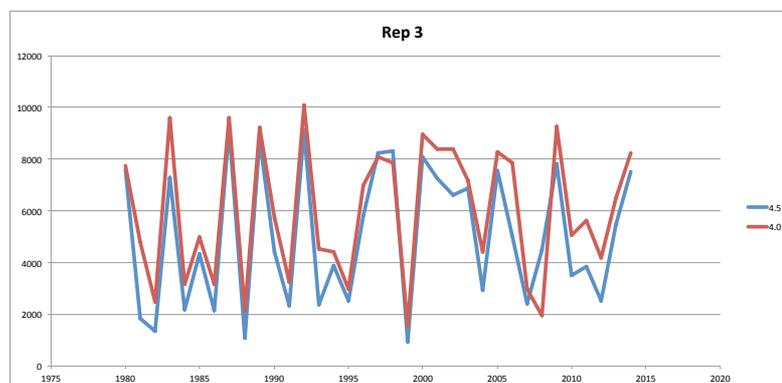
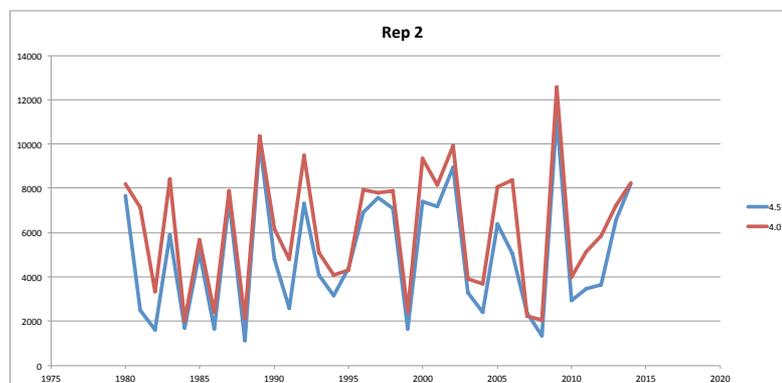
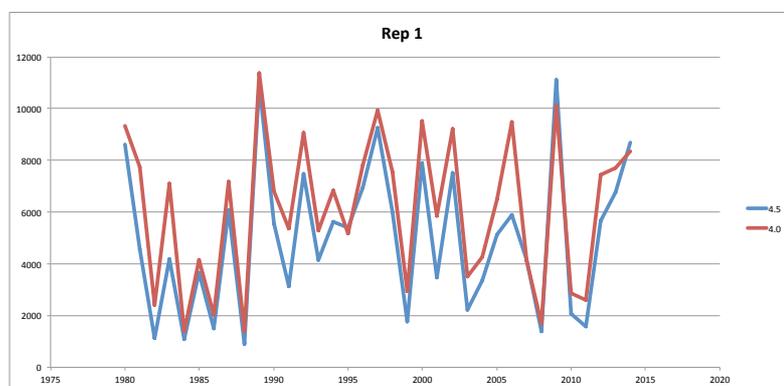
<b>Tasa interés</b>	<b>Con fuente</b>	<b>Sin fuente</b>
3%	269 US\$	243 US\$
5%	303 US\$	270 US\$
7%	339 US\$	298 US\$
10%	396 US\$	343 US\$

Se calcula el monto anual a pagar de un préstamo a 10 años para el equipo de riego, otro préstamo a 30 años de la represa y otro a 20 años de las obras eléctricas. La suma de los tres valores corresponde al gasto anual en la inversión en el sistema de riego. En definitiva, se asume que una vez transcurridos los 10 años, el productor compra un nuevo equipo de riego con un nuevo préstamo a 10 años a la misma tasa de interés, con lo cual, el monto anual total del préstamo siempre se mantiene constante.

## ANEXO B: COMPARACIÓN DSSAT 4.0 vs DSSAT 4.5

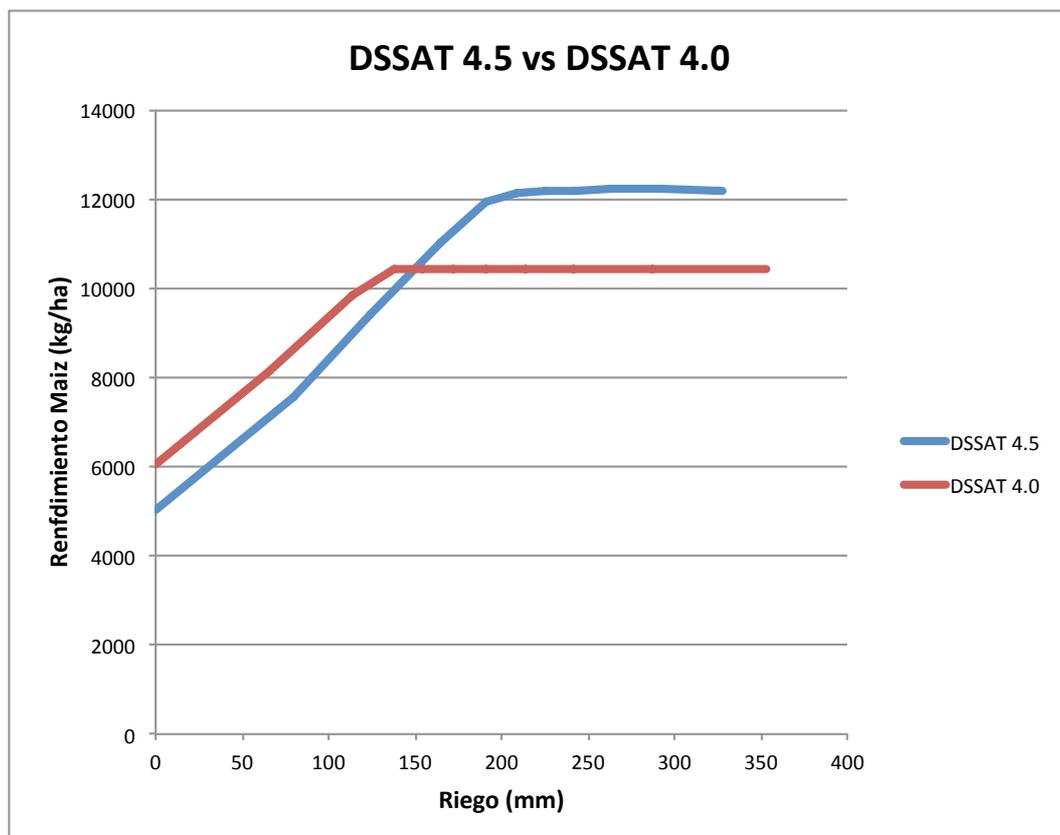
### A. COMPARACIÓN DE RENDIMIENTO EN SECANO

Al comparar los rendimientos anuales en secano para las tres repeticiones en DSSAT 4.0 y DSSAT 4.5, se puede ver que la mayoría de los valores son similares año a año. Sin embargo, se observa que en general los rendimientos de DSSAT 4.0 son superiores respecto a los de DSSAT 4.5.



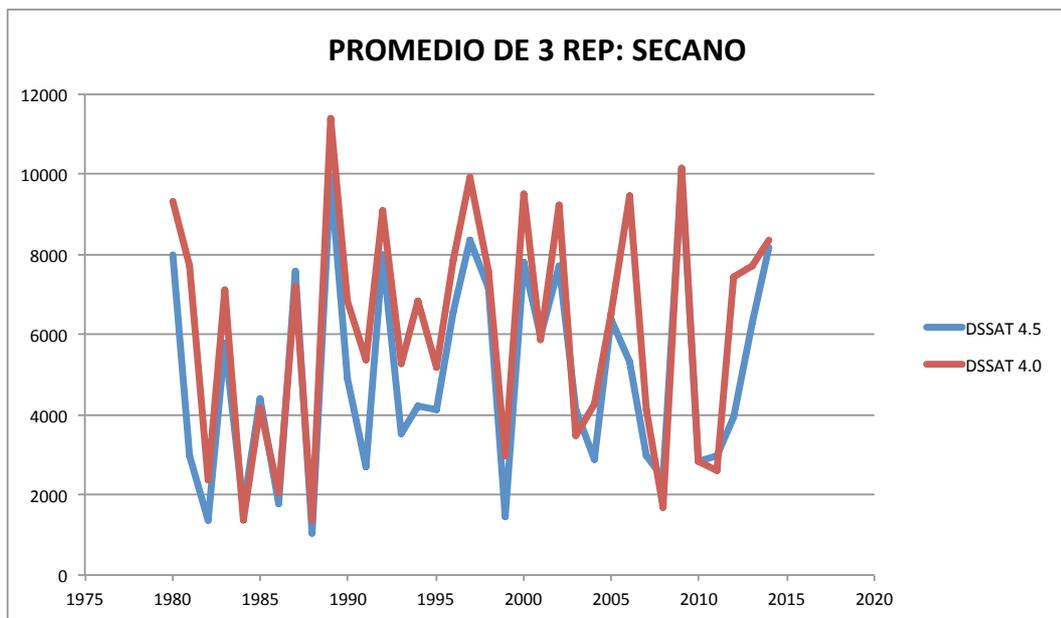
## B. RESPUESTA AL RIEGO - PROMEDIO DE 3 REPETICIONES

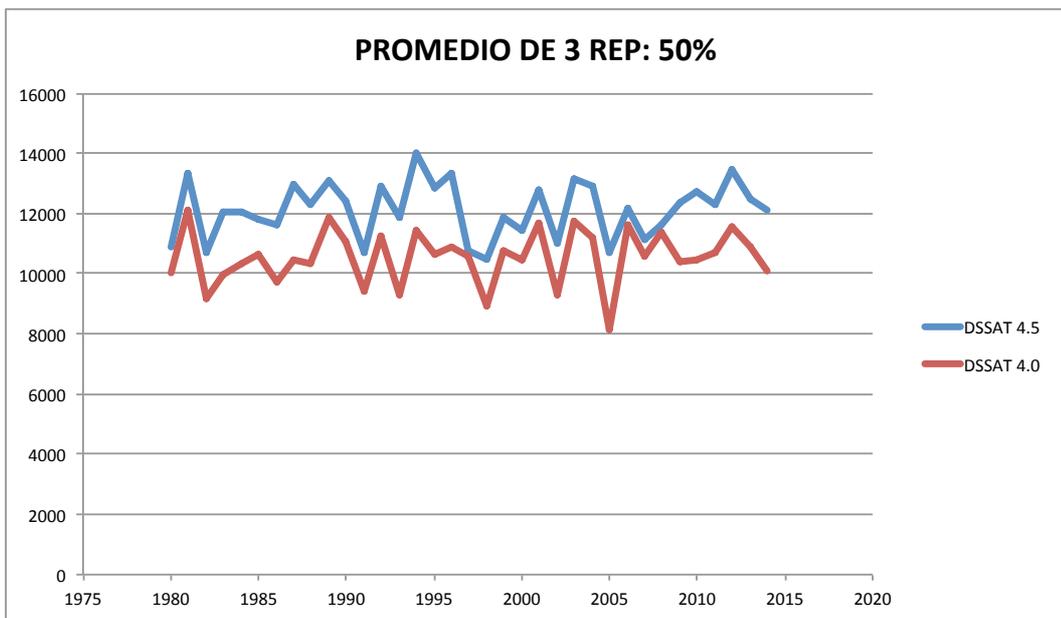
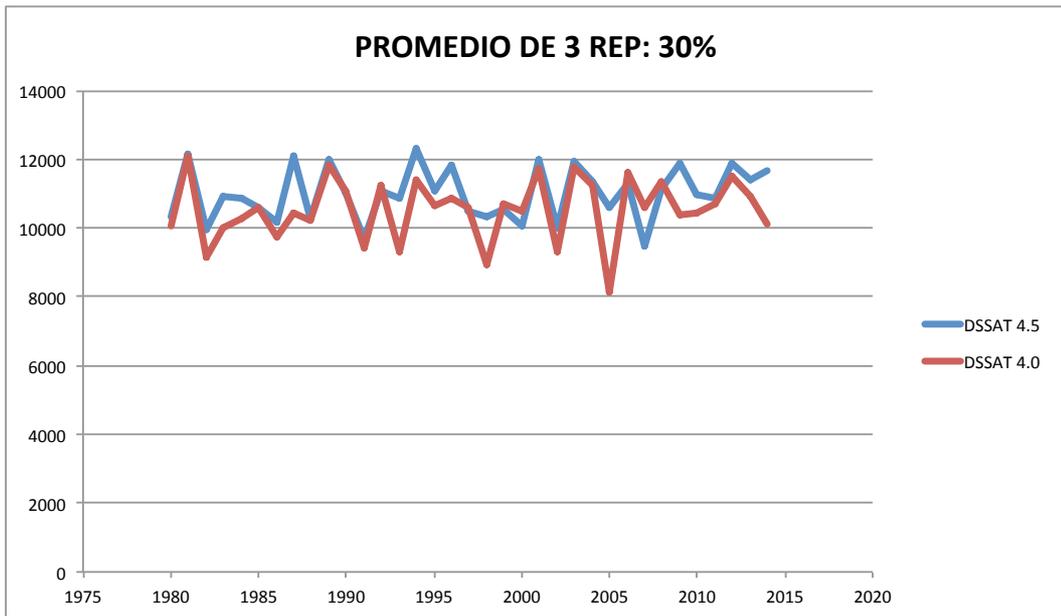
Al graficar el rendimiento promedio de las tres repeticiones respecto a la cantidad regada, se observa que frente a niveles bajos de riego DSSAT 4.0 simula mayores rendimientos que DSSAT 4.5. A los 140 mm de riego el rendimiento se estabiliza en DSSAT 4.0, superando levemente los 10.000 Kg/Ha, mientras que para DSSAT 4.5 el rendimiento se estabiliza recién aproximando los 170 mm en 12.000 Kg/Ha. De esta manera, mientras DSSAT 4.0 tiene mayores rendimientos en condiciones de escasez de agua, al aumentar el riego, es DSSAT 4.5 quien tiene mejor respuesta (aproximadamente a partir de los 150 mm).



### C. COMPARACIÓN PROMEDIO DE RENDIMIENTOS

A continuación se grafica el rendimiento anual promedio de las tres repeticiones, comparando DSSAT 4.0 y 4.5 para el cultivo en seco, con riego deficitario al 30% y con riego deficitario al 50%. Para el rendimiento en seco DSSAT 4.0 presenta mayores rendimientos en la mayoría de los años. Con riego deficitario al 30%, es DSSAT 4.5 quien presenta mayores rendimientos, aunque la diferencia no es sustancial. Sin embargo, para el caso de riego deficitario al 50% es notoria la diferencia de rendimiento de DSSAT 4.5 respecto a DSSAT 4.0.





## ANEXO C: TABLAS DE COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA

### A. COSECHA 1

Precio = 250 / Cosecha 1			
Prima riesgo	Sin Riego	Con Riego	Con riego - sin riego
40%	-27 US\$	307 US\$	334 US\$
35%	-24 US\$	310 US\$	333 US\$
30%	-20 US\$	311 US\$	331 US\$
25%	-16 US\$	312 US\$	328 US\$
20%	-12 US\$	313 US\$	325 US\$
15%	-9 US\$	313 US\$	322 US\$
10%	-6 US\$	313 US\$	319 US\$
5%	-1 US\$	314 US\$	315 US\$

Precio = 200 / Cosecha 1			
Prima riesgo	Sin Riego	Con Riego	Con riego - sin riego
40%	-124 US\$	100 US\$	224 US\$
35%	-122 US\$	102 US\$	224 US\$
30%	-120 US\$	104 US\$	224 US\$
25%	-118 US\$	105 US\$	223 US\$
20%	-115 US\$	105 US\$	221 US\$
15%	-113 US\$	106 US\$	219 US\$
10%	-111 US\$	106 US\$	217 US\$
5%	-109 US\$	106 US\$	215 US\$

Precio = 300 / Cosecha 1			
Prima riesgo	Sin Riego	Con Riego	Con riego - sin riego
40%	68 US\$	514 US\$	446 US\$
35%	72 US\$	517 US\$	444 US\$
30%	78 US\$	518 US\$	440 US\$
25%	83 US\$	519 US\$	436 US\$
20%	90 US\$	520 US\$	430 US\$
15%	94 US\$	520 US\$	425 US\$
10%	100 US\$	520 US\$	421 US\$
5%	106 US\$	521 US\$	415 US\$

## B. COSECHA 2

Precio = 250 / Cosecha 2			
Prima riesgo	Sin Riego	Con Riego	Con riego - sin riego
40%	-28 US\$	369 US\$	397 US\$
35%	-24 US\$	372 US\$	396 US\$
30%	-20 US\$	375 US\$	396 US\$
25%	-17 US\$	376 US\$	393 US\$
20%	-13 US\$	378 US\$	391 US\$
15%	-9 US\$	378 US\$	388 US\$
10%	-6 US\$	379 US\$	384 US\$
5%	-2 US\$	379 US\$	381 US\$

Precio = 200 / Cosecha 2			
Prima riesgo	Sin Riego	Con Riego	Con riego - sin riego
40%	-125 US\$	143 US\$	268 US\$
35%	-123 US\$	146 US\$	268 US\$
30%	-120 US\$	148 US\$	268 US\$
25%	-118 US\$	150 US\$	268 US\$
20%	-116 US\$	151 US\$	267 US\$
15%	-113 US\$	152 US\$	265 US\$
10%	-111 US\$	152 US\$	263 US\$
5%	-109 US\$	153 US\$	262 US\$

Precio = 300 / Cosecha 2			
Prima riesgo	Sin Riego	Con Riego	Con riego - sin riego
40%	66 US\$	595 US\$	529 US\$
35%	72 US\$	597 US\$	526 US\$
30%	77 US\$	600 US\$	523 US\$
25%	83 US\$	601 US\$	519 US\$
20%	88 US\$	603 US\$	514 US\$
15%	94 US\$	603 US\$	509 US\$
10%	99 US\$	604 US\$	504 US\$
5%	105 US\$	604 US\$	499 US\$

### C. COSECHA 3

<b>Precio = 250 / Cosecha 3</b>			
<b>Prima riesgo</b>	<b>Sin Riego</b>	<b>Con Riego</b>	<b>Con riego - sin riego</b>
40%	-26 US\$	373 US\$	399 US\$
35%	-22 US\$	375 US\$	397 US\$
30%	-18 US\$	377 US\$	395 US\$
25%	-14 US\$	379 US\$	393 US\$
20%	-10 US\$	383 US\$	394 US\$
15%	-7 US\$	384 US\$	390 US\$
10%	-3 US\$	384 US\$	387 US\$
5%	1 US\$	384 US\$	383 US\$

<b>Precio = 200 / Cosecha 3</b>			
<b>Prima riesgo</b>	<b>Sin Riego</b>	<b>Con Riego</b>	<b>Con riego - sin riego</b>
40%	-123 US\$	139 US\$	262 US\$
35%	-121 US\$	141 US\$	262 US\$
30%	-118 US\$	143 US\$	262 US\$
25%	-116 US\$	146 US\$	262 US\$
20%	-114 US\$	148 US\$	262 US\$
15%	-112 US\$	150 US\$	262 US\$
10%	-109 US\$	150 US\$	260 US\$
5%	-107 US\$	150 US\$	257 US\$

<b>Precio = 300 / Cosecha 3</b>			
<b>Prima riesgo</b>	<b>Sin Riego</b>	<b>Con Riego</b>	<b>Con riego - sin riego</b>
40%	69 US\$	603 US\$	535 US\$
35%	74 US\$	606 US\$	532 US\$
30%	81 US\$	608 US\$	527 US\$
25%	86 US\$	610 US\$	524 US\$
20%	92 US\$	614 US\$	522 US\$
15%	97 US\$	614 US\$	517 US\$
10%	103 US\$	614 US\$	512 US\$
5%	108 US\$	614 US\$	506 US\$

## ANEXO D: TABLAS COMPARATIVAS DE RESULTADOS

Los resultados corresponden a riego deficitario al 50% para un sistema de riego con fuente de agua incluido y tasa de interés del 7%. La primera corresponde para un valor del maíz de 200 dólares, mientras que la segunda 300.

Precio maíz = 200		Rendimiento (Ton/Ha)		Valor Prod. (US\$/Ha)		Beneficio (US\$/Ha)	
		Con riego	Sin riego	Con riego	Sin riego	Con riego	Sin riego
Promedio	Cosecha 1	12.252	4.995	2.450	999	314	-247
	Cosecha 2	12.351	5.000	2.470	1.000	338	-246
	Cosecha 3	11.778	5.021	2.356	1.004	247	-242
Desv. Est.	Cosecha 1	1.041	2.838	208	568	217	497
	Cosecha 2	1.189	2.733	238	547	233	478
	Cosecha 3	1.141	2.653	228	531	209	464
Min.	Cosecha 1	9.531	900	1.906	180	-216	-963
	Cosecha 2	9.762	1.137	1.952	227	-99	-922
	Cosecha 3	10.074	918	2.015	184	-102	-960
Max.	Cosecha 1	13.984	11.101	2.797	2.220	631	822
	Cosecha 2	14.546	11.247	2.909	2.249	786	847
	Cosecha 3	14.019	9.168	2.804	1.834	697	484

Precio maíz = 300		Rendimiento (Ton/Ha)		Valor Prod. (US\$/Ha)		Beneficio (US\$/Ha)	
		Con riego	Sin riego	Con riego	Sin riego	Con riego	Sin riego
Promedio	Cosecha 1	12.252	4.995	3.676	1.498	1.540	253
	Cosecha 2	12.351	5.000	3.705	1.500	1.573	254
	Cosecha 3	11.778	5.021	3.533	1.506	1.424	260
Desv. Est.	Cosecha 1	1.041	2.838	312	851	313	780
	Cosecha 2	1.189	2.733	357	820	344	751
	Cosecha 3	1.141	2.653	342	796	314	730
Min.	Cosecha 1	9.531	900	2.859	270	737	-873
	Cosecha 2	9.762	1.137	2.929	341	944	-808
	Cosecha 3	10.074	918	3.022	275	964	-868
Max.	Cosecha 1	13.984	11.101	4.195	3.330	2.010	1.932
	Cosecha 2	14.546	11.247	4.364	3.374	2.218	1.972
	Cosecha 3	14.019	9.168	4.206	2.750	2.089	1.400

## ANEXO E: RESULTADOS DE SIMULACIONES EN DSSAT

### A. SIN RIEGO - COSECHA 1

Day Simulation start date	Day Planting date	Day Harvest date	Yield at harvest (kg/ha)	Season irrigation (mm)	Season precipitation (mm)	Season evapotranspiration
1980301	1980306	1981076	8630	0	551	576
1981301	1981306	1982076	4573	0	523	533
1982301	1982306	1983062	1120	0	220	267
1983301	1983306	1984071	4182	0	633	503
1984301	1984306	1985072	1075	0	340	379
1985301	1985306	1986065	3663	0	370	416
1986301	1986306	1987066	1492	0	457	438
1987301	1987306	1988073	6080	0	429	493
1988301	1988306	1989061	900	0	312	350
1989301	1989306	1990067	10964	0	752	553
1990301	1990306	1991075	5559	0	442	498
1991301	1991306	1992074	3113	0	438	446
1992301	1992306	1993076	7464	0	545	537
1993301	1993306	1994079	4145	0	822	502
1994301	1994306	1995069	5618	0	390	472
1995301	1995306	1996073	5393	0	394	437
1996301	1996306	1997068	6968	0	387	423
1997301	1997306	1998087	9257	0	593	557
1998301	1998306	1999075	6010	0	603	564
1999301	1999306	2000064	1763	0	168	259
2000301	2000306	2001067	7888	0	517	531
2001301	2001306	2002073	3456	0	459	524
2002301	2002306	2003070	7518	0	566	547
2003301	2003306	2004080	2211	0	631	554
2004301	2004306	2005072	3356	0	411	403
2005301	2005306	2006071	5149	0	456	405
2006301	2006306	2007068	5905	0	495	453
2007301	2007306	2008074	4152	0	263	338
2008301	2008306	2008327	1377	0	413	12
2009301	2009306	2010065	11101	0	710	546
2010301	2010306	2011064	2051	0	222	293
2011301	2011306	2012066	1584	0	347	399
2012301	2012306	2013067	5649	0	543	523
2013301	2013306	2014062	6750	0	594	439
2014301	2014306	2015069	8699	0	801	534

## B. SIN RIEGO - COSECHA 2

Day Simulation start date	Day Planting date	Day Harvest date	Yield at harvest (kg/ha)	Season irrigation (mm)	Season precipitation (mm)	Season evapotranspiration
1980301	1980313	1981081	7659	0	567	578
1981301	1981313	1982082	2514	0	546	548
1982301	1982313	1983068	1618	0	224	289
1983301	1983313	1984073	5892	0	681	510
1984301	1984313	1985074	1726	0	341	386
1985301	1985313	1986074	5109	0	422	432
1986301	1986313	1987072	1669	0	478	458
1987301	1987313	1988077	7469	0	576	510
1988301	1988313	1989066	1137	0	388	370
1989301	1989313	1990076	10066	0	832	568
1990301	1990313	1991080	4779	0	443	492
1991301	1991313	1992075	2592	0	446	438
1992301	1992313	1993078	7328	0	584	544
1993301	1993313	1994085	4070	0	900	506
1994301	1994313	1995082	3171	0	469	507
1995301	1995313	1996074	4416	0	430	442
1996301	1996313	1997069	6912	0	404	423
1997301	1997313	1998096	7595	0	610	585
1998301	1998313	1999076	7089	0	669	561
1999301	1999313	2000081	1651	0	171	264
2000301	2000313	2001072	7413	0	537	549
2001301	2001313	2002079	7201	0	551	538
2002301	2002313	2003075	8942	0	601	559
2003301	2003313	2004083	3306	0	639	556
2004301	2004313	2005077	2422	0	418	422
2005301	2005313	2006081	6394	0	541	442
2006301	2006313	2007075	5048	0	649	477
2007301	2007313	2008075	2378	0	275	341
2008301	2008313	2009087	1332	0	541	449
2009301	2009313	2010075	11247	0	711	581
2010301	2010313	2011067	2923	0	222	299
2011301	2011313	2012071	3494	0	392	422
2012301	2012313	2013081	3662	0	605	539
2013301	2013313	2014067	6557	0	632	456
2014301	2014313	2015073	8209	0	801	529

### C. SIN RIEGO - COSECHA 3

Day Simulation start date	Day Planting date	Day Harvest date	Yield at harvest (kg/ha)	Season irrigation (mm)	Season precipitation (mm)	Season evapotranspiration
1980301	1980320	1981085	7612	0	567	571
1981301	1981320	1982091	1837	0	609	570
1982301	1982320	1983075	1341	0	262	306
1983301	1983320	1984076	7294	0	755	518
1984301	1984320	1985079	2191	0	349	399
1985301	1985320	1986088	4354	0	426	463
1986301	1986320	1987078	2159	0	485	457
1987301	1987320	1988084	9168	0	661	532
1988301	1988320	1989071	1074	0	391	383
1989301	1989320	1990079	8773	0	832	568
1990301	1990320	1991086	4426	0	443	486
1991301	1991320	1992080	2336	0	485	432
1992301	1992320	1993085	9124	0	584	567
1993301	1993320	1994091	2357	0	901	510
1994301	1994320	1995086	3893	0	470	514
1995301	1995320	1996081	2504	0	438	464
1996301	1996320	1997077	5813	0	406	441
1997301	1997320	1998101	8252	0	616	585
1998301	1998320	1999082	8302	0	705	567
1999301	1999320	2000081	918	0	171	264
2000301	2000320	2001074	8086	0	537	557
2001301	2001320	2002085	7272	0	552	549
2002301	2002320	2003086	6595	0	603	581
2003301	2003320	2004089	6889	0	639	549
2004301	2004320	2005083	2930	0	435	443
2005301	2005320	2006086	7556	0	555	460
2006301	2006320	2007081	5036	0	668	497
2007301	2007320	2008100	2408	0	311	397
2008301	2008320	2009087	4500	0	541	449
2009301	2009320	2010084	7838	0	758	596
2010301	2010320	2011073	3508	0	235	311
2011301	2011320	2012078	3851	0	434	454
2012301	2012320	2013087	2537	0	605	534
2013301	2013320	2014080	5476	0	711	501
2014301	2014320	2015081	7525	0	801	520

#### D. RIEGO DEFICITARIO 50% - COSECHA 1

Day Simulation start date	Day Planting date	Day Harvest date	Yield at harvest (kg/ha)	Season irrigation (mm)	Season precipitation (mm)	Season evapotranspiration
1980301	1980306	1981076	11793	110	561	633
1981301	1981306	1982076	13984	220	546	643
1982301	1982306	1983062	10568	310	224	545
1983301	1983306	1984066	11728	150	633	569
1984301	1984306	1985072	12113	335	341	616
1985301	1985306	1986065	12465	235	370	626
1986301	1986306	1987066	11292	250	471	631
1987301	1987306	1988073	12281	170	576	597
1988301	1988306	1989061	11434	330	352	635
1989301	1989306	1990067	12981	80	781	570
1990301	1990306	1991075	13020	215	442	651
1991301	1991306	1992073	11051	200	445	606
1992301	1992306	1993076	13193	185	577	619
1993301	1993306	1994079	10821	215	883	655
1994301	1994306	1995069	13409	180	421	598
1995301	1995306	1996073	12528	295	430	645
1996301	1996306	1997066	12771	245	387	614
1997301	1997306	1998087	12414	115	602	620
1998301	1998306	1999073	10475	150	603	610
1999301	1999306	2000062	12387	425	168	648
2000301	2000306	2001068	12310	140	537	605
2001301	2001306	2002072	13752	170	505	614
2002301	2002306	2003070	10911	80	600	570
2003301	2003306	2004075	13807	200	631	689
2004301	2004306	2005072	13129	290	412	613
2005301	2005306	2006071	9531	260	457	631
2006301	2006306	2007068	13621	165	637	547
2007301	2007306	2008069	12426	310	275	604
2008301	2008306	2009063	12073	365	518	664
2009301	2009306	2010065	12191	80	710	562
2010301	2010306	2011064	12215	325	222	618
2011301	2011306	2012065	12240	255	392	628
2012301	2012306	2013067	13548	180	596	635
2013301	2013306	2014062	12507	175	630	571
2014301	2014306	2015069	11853	115	801	610

## E. RIEGO DEFICITARIO 50% - COSECHA 2

Day Simulation start date	Day Planting date	Day Harvest date	Yield at harvest (kg/ha)	Season irrigation (mm)	Season precipitation (mm)	Season evapotranspiration
1980301	1980313	1981081	10829	115	567	641
1981301	1981313	1982082	13819	225	546	648
1982301	1982313	1983068	10512	300	224	564
1983301	1983313	1984073	12441	125	681	550
1984301	1984313	1985074	11883	315	341	607
1985301	1985313	1986074	12495	270	422	626
1986301	1986313	1987072	11560	235	478	636
1987301	1987313	1988077	12663	155	576	603
1988301	1988313	1989066	12479	330	388	626
1989301	1989313	1990076	13819	70	832	581
1990301	1990313	1991080	11849	235	443	652
1991301	1991313	1992075	10283	200	446	596
1992301	1992313	1993078	13395	185	584	610
1993301	1993313	1994085	12583	210	900	654
1994301	1994313	1995082	14546	175	469	628
1995301	1995313	1996074	13229	285	430	608
1996301	1996313	1997069	13282	255	404	599
1997301	1997313	1998096	9762	115	610	635
1998301	1998313	1999076	10885	135	669	592
1999301	1999313	2000066	12085	425	168	649
2000301	2000313	2001072	11348	125	537	591
2001301	2001313	2002079	13237	160	551	604
2002301	2002313	2003075	11704	75	601	567
2003301	2003313	2004083	13366	215	639	684
2004301	2004313	2005077	13638	275	418	612
2005301	2005313	2006074	11548	240	466	623
2006301	2006313	2007075	11647	155	649	562
2007301	2007313	2008075	10436	295	275	605
2008301	2008313	2009065	12192	345	518	622
2009301	2009313	2010075	14021	80	711	588
2010301	2010313	2011067	13448	330	222	610
2011301	2011313	2012071	12771	240	392	619
2012301	2012313	2013081	13082	170	605	661
2013301	2013313	2014067	13529	160	632	567
2014301	2014313	2015073	11919	125	801	617

## F. RIEGO DEFICITARIO 50% - COSECHA 3

Day Simulation start date	Day Planting date	Day Harvest date	Yield at harvest (kg/ha)	Season irrigation (mm)	Season precipitation (mm)	Season evapotranspiration
1980301	1980320	1981085	10106	120	567	633
1981301	1981320	1982091	12184	220	609	660
1982301	1982320	1983075	10958	285	262	562
1983301	1983320	1984076	12046	100	755	536
1984301	1984320	1985079	12229	305	349	601
1985301	1985320	1986088	10547	260	426	655
1986301	1986320	1987078	12087	230	485	644
1987301	1987320	1988084	13924	140	661	608
1988301	1988320	1989071	13067	310	391	626
1989301	1989320	1990079	12411	65	832	579
1990301	1990320	1991086	12322	240	443	658
1991301	1991320	1992080	10804	210	485	607
1992301	1992320	1993085	12224	165	584	622
1993301	1993320	1994091	12114	205	901	658
1994301	1994320	1995086	14019	180	470	628
1995301	1995320	1996081	12733	270	438	617
1996301	1996320	1997077	14019	260	406	608
1997301	1997320	1998101	10135	105	616	639
1998301	1998320	1999082	10074	125	705	598
1999301	1999320	2000076	11178	405	168	646
2000301	2000320	2001074	10592	110	537	582
2001301	2001320	2002085	11448	155	552	598
2002301	2002320	2003086	10378	60	603	594
2003301	2003320	2004089	12316	225	639	691
2004301	2004320	2005083	11983	275	435	623
2005301	2005320	2006087	11116	250	555	668
2006301	2006320	2007081	11170	130	668	557
2007301	2007320	2008077	10465	285	275	646
2008301	2008320	2009076	10671	300	541	608
2009301	2009320	2010084	10866	85	758	599
2010301	2010320	2011073	12507	335	235	619
2011301	2011320	2012076	11794	220	434	602
2012301	2012320	2013087	13747	170	605	670
2013301	2013320	2014080	11397	145	711	588
2014301	2014320	2015081	12585	135	801	634

## ANEXO F: ARCHIVO DE SUELO SOIL.SOL DE DSSAT

```

*UYSNOP1903          UYID  SICL  110 P19-03  SNIA SILTY CLAY LOAM FRAY BENTOS DEEP
@SITE                COUNTRY    LAT    LONG SCS FAMILY
UYID                 URUG        -34.0  -57.0 UYID
@ SCOM  SALB  SLU1  SLDR  SLRO  SLNF  SLPF  SMHB  SMPX  SMKE
   BN   .13   6    .4   73   1    1  IB001 IB001 IB001
@  SLB  SLMH  SLLL  SDUL  SSAT  SRGF  SSKS  SBDM  SLOC  SLCL  SLSI  SLCF  SLNI  SLHW  SLHB  SCEC  SADC
   25   A   .235 .434 .536   1   .15  1.12   2   31   50   0    .2    6  -99  -99  -99
   37   BA  .278 .439 .491 .538 .06  1.26   1  45  39   0    .1    6  -99  -99  -99
   68   Bt1 .283 .436 .485 .35  .06  1.28   .8  47  37   0   .08   6  -99  -99  -99
   80   Bt2 .265 .422 .483 .228 .09  1.29   .7  44  41   0   .07   6  -99  -99  -99
   88   Bck .241 .387 .472 .100 .09  1.33   .2  42  42   0   .02   6  -99  -99  -99
  110   Ck  .161 .266 .407 .000 .43  1.51   .2  26  26   0   .02   6  -99  -99  -99
@  SLB  SLPX  SLPT  SLPO  CAC03  SLAL  SLFE  SLMN  SLBS  SLPA  SLPB  SLKE  SLMG  SLNA  SLSU  SLEC  SLCA
   25  0.0  0.0  0.0 -99.0 -99.0 -99.0 -99.0 -99.0  0.0 -99.0  1.0  2.0  0.6 -99.0 -99.0  21.7
   37  0.0  0.0  0.0 -99.0 -99.0 -99.0 -99.0 -99.0  0.0 -99.0  0.8  2.8  1.0 -99.0 -99.0  25.0
   68  0.0  0.0  0.0 -99.0 -99.0 -99.0 -99.0 -99.0  0.0 -99.0  0.8  3.7  1.0 -99.0 -99.0  24.8
   80  0.0  0.0  0.0 -99.0 -99.0 -99.0 -99.0 -99.0  0.0 -99.0  0.7  3.8  1.6 -99.0 -99.0  24.7
   88  0.0  0.0  0.0 -99.0 -99.0 -99.0 -99.0 -99.0  0.0 -99.0  0.8  4.5  1.1 -99.0 -99.0  23.4
  110  0.0  0.0  0.0 -99.0 -99.0 -99.0 -99.0 -99.0  0.0 -99.0  1.0  3.2  1.2 -99.0 -99.0  22.3

```