

Managing Weather Risk with Rainfall Option

MFIN UTDT 2009

Mariano Castro

Índice:

Introducción	3
Un poco de historia	4
Opciones climáticas	5
Derivados vs. Seguros	6
1. Valuación	6
1.1 Modelo de Cobb-Douglas	7
1.2 Aplicación del modelo	8
Figura nro.1	8
Figura nro. 2	9
1.2.a Modelo de Valuación	9
1.2.b Ajuste de distribución	10
1.3 Pricing de la opción sobre precipitación	10
Gráfico nro. 1	12
Gráfico nro. 2	13
Gráfico nro. 3	14
Conclusión	15
Apéndice I	16
Apéndice II	18
Bibliografía	21

Managing Weather Risk with Rainfall Option

Mariano Castro
Universidad Torcuato di Tella
Maestría en Finanzas 2009

Introducción

Los derivados climáticos constituyen una herramienta para reducir el riesgo financiero que enfrentan empresas cuyas ganancias o flujos de efectivo están directamente correlacionados a las condiciones climáticas. Proporcionan cobertura frente a eventos altamente probables (lluvias, sequías, nieve, temperaturas demasiado altas/frías, etc.) de relativo bajo riesgo.

Un derivado del clima se basa en un subyacente que no es negociable como si lo son los precios de activos financieros, este instrumento se apoya en el clima mismo. En el caso de una opción climática aplicado a agricultura el objetivo es cubrir la incertidumbre sobre volúmenes producidos o sea sobre el rinde final, por ello mismo lo que intentaremos realizar en este trabajo será una valuación donde se intenta modelizar una variable que esta íntimamente relacionada con el rendimiento del cultivo como lo es la precipitación.

Si bien en la Argentina esta muy poco desarrollado el mercado de derivados financieros, este trabajo tiene como objetivo acompañar el resurgimiento a nivel internacional de la necesidad de protegerse contra las inclemencias de la madre naturaleza, que día tras día produce perdidas cuantiosas y millonarias en las economías de los países.

Debido a que este país ha tenido una larga historia ligada a la agricultura, es una mezcla interesante tratar de analizar la aplicabilidad de un derivado exótico a la producción agrícola.

Abstract

Weather derivatives constitute a tool to reduce the financial risk faced by companies whose profits or cash flows are directly correlated to weather conditions. They supply support against highly probable events (rain, draughts, snow, extremely hot or cold temperature, etc.) of relatively low risk.

A weather derivative is based on an underlying which is not negotiable the way financial assets prices are. This tool intends to assess the climate itself. In the case of a climate option applied to agriculture, the aim is to remove uncertainty regarding produced volumes, that is to say, the final yield. That is why what we shall try to perform in this research is an assessment in which we are aiming at modeling a variable that is closely related to the crops yield: precipitation.

Although in Argentina the financial derivative market is scarcely developed, the objective of this research is to support the resurgence at an international level the need to protect against mother nature which, day after day, produces substantial losses in the millions of dollars to countries' economies.

Owing to the fact that Argentina has had a long history related to agriculture, it is an interesting mixture to try to analyze the applicability of an exotic derivative to agricultural production.

*“Cuando el último árbol se haya caído
Cuando el último río se haya secado
Cuando el último pez sea capturado
Se comprenderá que el dinero no se come”*

Greenpeace.

Un poco de Historia:

La primer transacción OTC sobre derivados del clima se realizó en 1996 cuando Koch Industries y ENRON completaron un HDD (Heating degree day) swap para el invierno de 1997 en Milwaukee, Wisconsin (WRMA-Weather Risk Management Association, 2010). A partir de aquel momento, el mercado de los derivados del clima comprendía en 2001 alrededor de 4.200 millones de dólares con aproximadamente 4.000 contratos negociados en el mismo año según *Price Waterhouse Coopers*. Actualmente se estima que el sector de los derivados del clima acumula aproximadamente 45.200 millones de dólares en transacciones WRMA (Weather Risk Management Association, 2010).

La CME es la bolsa precursora a nivel mundial en el tema de los derivados del clima, en Septiembre de 1999 la CME inició con la emisión de contratos de futuros basados en días de calentamiento (Heating degree-days)¹ y días de enfriamiento (Cooling degree-days)² para las principales ciudades de EE.UU. donde se negocian estos derivados. Estas operaciones de cobertura se realizaron con la temperatura promedio diaria de las ciudades seleccionadas. Actualmente el CME Group, empresa que surgió en 2007 a partir de la fusión de la CME y la CBOT (Chicago Board of Trade), es la bolsa más grande del mundo en cuanto a transacciones de futuros climáticos³. Al 01 de Junio de 2010, la CME ofrece derivados del clima en 24 ciudades en Estados Unidos, 11 en Europa, 6 en Canadá, 3 en Australia y 3 en Japón (Chicago Mercantile Exchange Group, 2010).

Entre 1998 y 2005 el monto negociado de estos derivados financieros alcanzó un crecimiento de 263,4%, al pasar de 90 mil MM. de dólares, a más de 340 mil MM. de dólares, respectivamente y las operaciones OTC han representado, en promedio, el 84% del total global de derivados para el periodo de estudio. Según la estimación realizada por el Instituto Meteorológico Británico, más del 80% de la actividad empresarial en el mundo depende del estado meteorológico, por ello esta comprobado que cualquier sector de la economía está sujeto directa o indirectamente a los cambios climáticos (Paz de Cobo 2004).

¹ HDD: Grados de calor extremo, el HDD se obtiene como el número de grados Celsius en que la temperatura diaria promedio, calculada como la media entre las temperaturas máxima y mínima registradas desde las 0 hasta las 24hs, es inferior a 18 °C (para temperaturas superiores a 18° C se considera no hay necesidad de calefacción.). Por eso representan temperaturas para días en que se utiliza energía para calefacción.

² CDD: Grados de frío extremo, el valor de CDD para un día particular es el número de grados Celsius en que la temperatura diaria promedio, calculada como la media entre las temperaturas máxima y mínima registradas desde las 0 hasta las 24hs, es superior a 18° C (para temperaturas inferiores a 18° C se considera no hay necesidad de refrigeración.) Este derivado se negocia en épocas de verano y el índice representa la sumatoria de las temperaturas promedio diarias superiores al strike, que cuantifican el uso de energía para los acondicionadores o refrigeración

³ También en el NYMEX (New York Mercantile Exchange) se encuentra “The Green Exchange” donde se cubren riesgos que conllevan una cierta similitud con los riesgos climáticos; estos son la administración de riesgos medioambientales a través de futuros y opciones donde el subyacente son las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂), Oxidos de Nitrógeno (NOx) y Dióxido de Azufre(SO₂) Fuente: <http://nymex.greenfutures.com>

Entre los participantes de este mercado pueden encontrarse compañías energéticas y agroindustriales, bancos y compañías de seguros, empresas dedicadas al entretenimiento, agricultores y compañías constructoras, etc... También están comenzando a intervenir fondos de cobertura en forma especulativa en los mercados abiertos, inyectando mayor volumen y liquidez. Los derivados climáticos más frecuentemente comercializados son aquellos que cubren riesgos relacionados a cambios adversos de temperatura. A diferencia de otros derivados financieros, no tienen un precio de ejercicio sino un nivel de ejercicio que depende del valor adoptado por una medida climática. Estos instrumentos toman como referencia índices construidos en términos de temperaturas mensuales / estacionales promedio; a cada valor del índice se le asigna una cantidad determinada de unidades monetarias, haciendo posible transar cambios de temperatura de modo similar a cualquier activo.

En los Estados Unidos estos índices son elaborados para 24 ciudades⁴ seleccionadas sobre la base de cantidad de población, variabilidad climática y nivel de actividad observado en los mercados climáticos OTC.

Opciones climáticas

En los mercados climáticos podemos ver a un CALL como una forma que sus tenedores tienen de cubrirse frente a “excesos” climáticos, como por ejemplo demasiada lluvia. Proveen protección frente a subas en el nivel del índice y permiten capitalizar cualquier movimiento del índice a la baja. Son generalmente utilizados por las empresas cuyas ventas se ven expuestas al riesgo climático.

De forma análoga, un PUT puede entenderse como una forma que los tenedores adoptan para cubrirse frente a “déficits” climáticos, como por ejemplo insuficientes precipitaciones o nevadas. Los PUTS otorgan protección frente a bajas en el nivel del índice y permiten capitalizar cualquier movimiento del índice al alza.

El uso conjunto de CALLS y PUTS permite crear estrategias más complejas, como por ejemplo los COLLARS⁵, muy utilizado en EE.UU. es una estrategia que utilizan las empresas proveedoras de energía a través de la compra de un PUT con un nivel de ejercicio bajo (que actúa como un límite inferior) y la venta de un CALL con un nivel de ejercicio alto (que actúa como un límite superior) una empresa cuyas ventas están expuestas al riesgo climático puede establecer un rango dentro del cual no efectuar ni recibir pagos.

Si el índice excede el límite superior, la empresa tendrá que hacer un pago por el ejercicio del CALL; que se supone tendrá más flujo de caja para hacer frente al pago; y si en cambio el valor del índice cae por debajo del límite inferior, ejercerá el PUT y recibirá el pago dado que el índice se sitúa por debajo del strike, de esta forma la empresa proveedora se cubre de los mayores costos porque tendrá que producir energía eléctrica mediante fuentes alternativas que de por sí serán más costosas.

Esta estrategia se utiliza para nivelar sus flujos de caja, al combinar estos resultados con sus resultados operativos, la empresa consigue estabilizar su flujo de fondos fuera del rango establecido, dentro del rango el flujo de fondos sigue su tendencia normal.

Esta estrategia es más barata para la empresa que la sola compra de un PUT, no obstante la venta del CALL la obliga a limitar sus ganancias potenciales por movimientos al alza en el índice.

⁴ Atlanta, Baltimore, Boston, Chicago, Cincinnati, Colorado Springs, Dallas, Des Moines, Detroit, Houston, Jacksonville, Kansas City, Las Vegas, Little Rock, Los Angeles, Minneapolis-St. Paul, New York, Philadelphia, Portland, Raleigh Durham, Sacramento, Salt Lake City, Tucson y Washington, D.C

⁵ Los COLLARS proveen protección frente a cambios extremos en los precios, es decir en el valor que adopta el índice.

Derivados vs. Seguros

El principal objetivo de los derivados sobre el clima es cubrir los riesgos sobre el volumen de ventas más que riesgos del precio, las variaciones en los volúmenes se puede deber a cambios en la demanda de bienes que a su vez está influenciada por un cambio meteorológico. Incluso aunque el cambio en el comportamiento de la demanda pueda afectar al precio de esos bienes, el riesgo del precio puede cubrirse más eficientemente a través de futuros u opciones sobre el precio de esas mercancías.

Estos derivados cubren riesgos tales como el riesgo de reducción del consumo energético provocado por una subida significativa en las temperaturas invernales o riesgo de menores ganancias en un centro de ski por presentarse una temporada con bajas nevadas.

En el trabajo de investigación de Antoni Ferrer Garcia y Franz Sturzenegger, 2001⁶ valúan múltiples derivados financieros y al mismo tiempo realizan un análisis exhaustivo de variables macroeconómicas y meteorológicas que afectaban a las ventas de leche y de jugos naturales de fruta para una empresa suiza no identificada⁷; llegaron a la conclusión que si bien en temporadas calidas el consumo de leche es inelástica, presenta una tendencia a aumentar las ventas en temporadas de bajas temperaturas, no así la venta de jugos naturales que presentan una gran dependencia a temperaturas calidas, pero con un piso asegurado en ventas, sin importar que tanto baje la temperatura en estaciones frías; producto quizás de haber logrado que el consumidor consuma los jugos por considerarlos “buenos para la salud”.

Por otro lado la misma compañía puede adquirir al mismo tiempo un seguro contra una catástrofes climática como lo puede ser un terremoto o una inundación o evento que es de alto riesgo, pero de baja probabilidad de ocurrencia

1-Valuación

Históricamente para la valuación de derivados financieros se utilizó la tradicional fórmula de Black-Scholes, pero esta no es aplicable en este campo, si bien puede convertirse por medio de la indexación la variable climática en un subyacente transable es imposible crear una cartera sin riesgo combinando el derivado climático y su subyacente.

Dado que las variables climáticas presentan estacionalidad (podemos hablar de ciclos anuales, de una estación y hasta diarios) otra propuesta para la valuación de los derivados climáticos consiste en el uso de “mean-reverting models”. Estos fueron específicamente planteados para la valuación de *derivados vinculados a la temperatura*⁸. Concretamente se propone que la temperatura diaria promedio sigue un proceso estocástico cuya media vuelve (se revierte) a una media determinística, el modelo incluye, por supuesto, tendencia (para contemplar el calentamiento global y estacionalidad). La media determinística a la que se hace referencia puede estimarse a partir de los registros históricos de temperatura efectuando una regresión. Se debe ser cuidadoso con la aplicación de este tipo de modelos ya que la incorrecta estimación de alguno de los parámetros o la omisión de alguna variable puede conducir a importantes errores⁹.

⁶ Hedging Corporate Revenues with Weather Derivatives: A Case Study, 2001

⁷ El trabajo se realizó para los principales mercados donde se comercializaban sus productos, esto es en Suiza, Reino Unido, Alemania y Francia para los periodos entre 1992 a 1998

⁸ En un trabajo muy completo Stephen Jewson utiliza varios modelos con movimientos brownianos, reversión a la media y modelos GARCH donde testea su ajuste. “Weather Derivative Modelling and Valuation: A Statistical Perspective”, RMS 2002

⁹ Además se debe poder capturar o quitar de los datos el efecto “isla urbana”, denominada así debido a que las edificaciones realizadas por el hombre como casas, puentes etc... contienen cemento u hormigón; cuando los rayos del sol llegan a la tierra el material los absorbe y los irradia durante el día en forma progresiva. La medición de la temperatura se ve distorsionada en el tiempo presentando una tendencia creciente a medida que la ciudad crece cerca de la estación meteorológica de medición.

Como el comportamiento de la precipitación es muy diferente al comportamiento de la temperatura para el pricing de este derivado vamos a dejar de lado los modelos anteriores y la valuación se va a construir con un modelo sencillo y muy aplicado en la industria de seguros y en la valuación de derivados del clima¹⁰ que consiste en el “Burn analysis o Burn rate” (Cao & Wei, Octubre 1999 – Dischel, Octubre 1998); a través de una simulación de Montecarlo con cierta distribución dada (utilizando datos históricos) podemos obtener el nivel esperado de precipitación mensual acumulado para el período o periodos en donde queremos valorar. Luego relacionaremos la precipitación con la rentabilidad esperada en un cultivo y así podremos establecer el precio asignado a cada mm. de lluvia precipitado.

1.1 Modelo Cobb-Douglas:

Ahora desarrollaremos un modelo sencillo de la producción agrícola donde la variable exógena que determinará el output será el nivel de precipitación. La función de Cobb- Douglas describe la sensibilidad o respuesta marginal de la producción de la cosecha ante cambios en una variable dada, en este caso la variable es un evento climático representado por la precipitación mensual acumulada en dos localidades de la provincia de Buenos Aires.

El modelo tradicional mide la producción como una función de el capital (K) y el trabajo (L), las variables exógenas como el clima son asumidas generalmente como constantes (*ceteris paribus*) o como ruido blanco (*e*).

En el modelo siguiente se evalúa la producción de las cosechas basándose únicamente en un factor climático externo (nivel de precipitación) dejando constantes los demás factores inputs; este modelo nos va a permitir medir efectos marginales de la pluviosidad sobre la producción o dicho de otro modo la productividad marginal de la precipitación.

$$Y = \beta_0 R_i^{\beta_1}$$

La variable Y representa la producción de la cosecha, β_0 es la intersección en el eje de las ordenadas, R (rain) es la lluvia acumulada mensual y β_1 es el coeficiente o elasticidad de la precipitación. Esta relación es no lineal, pero si lo transformamos mediante la función logaritmo, se obtiene:

$$\ln Y = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln R + e_i$$

Donde β_1 es la elasticidad parcial¹¹ del producto o rendimiento de la cosecha con respecto al nivel de precipitación mensual ocurrido; mide el cambio porcentual en la producción debido a una variación del 1% en la precipitación (milímetros caídos), manteniendo las demás variables como dadas o constantes.

La condición necesaria para que el derivado sea efectivo es que la derivada de la producción con respecto a la precipitación sea mayor a cero (0). En el caso contrario implicaría que el clima no

¹⁰ La mayor cantidad de Derivados del clima tienen como subyacente a la temperatura. Sin embargo se están empezando a negociar mayor cantidad de derivados donde el subyacente son las precipitaciones. El Banco ABN-AMRO empezó a traedear en el mercado over the counter contratos que protegen a productores agrícolas y a empresas de las lluvias monzónica en el sudeste de la India. La economía de este país es muy sensible al clima debido a que la agricultura es responsable del 28% del PBI y más del 60% de la población esta relacionado con el sector agrícola ó agrícola-industrial. – “Weather Derivatives: A Need for Indian Farmers”, K.Nagarajan RST. Kiruthika - Department of Commerce K.S.R. College of Arts & Science, Abril 2009

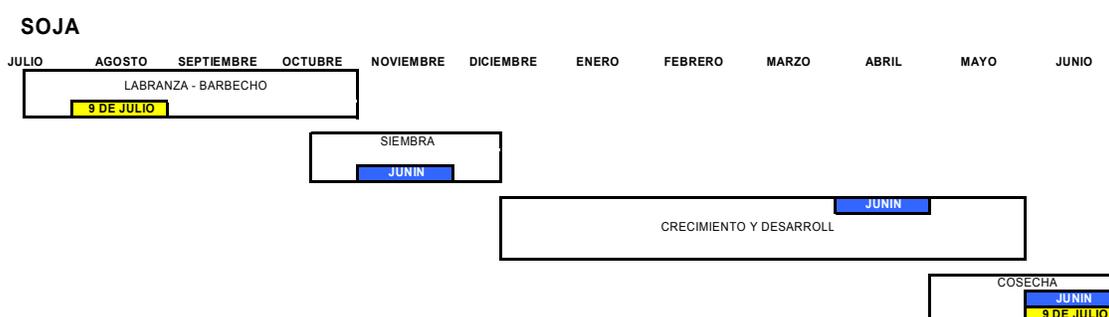
¹¹ Si derivamos parcialmente $\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln R + e_i$ con respecto al log de cada variable x. Por consiguiente, $\frac{\partial \ln Y}{\partial \ln R} = \left(\frac{\partial Y}{\partial R} \right) \left(\frac{R}{Y} \right) = \beta_1$ que por definición es la elasticidad de Y con respecto a R.

incide en la producción agrícola y no tendría sentido realizar una estrategia de cobertura para mitigar el riesgo de producción.

1.2 Aplicación del modelo:

A continuación se testea si existe una verdadera relación entre nivel de precipitación-rentabilidad en 2 cultivos de oleaginosas¹², como lo son la Soja y el Girasol para la localidades de Junín y 9 de Julio (pcia. de Buenos Aires, Argentina). En el caso que la elasticidad parcial sea significativa; nos servirá más adelante como inputs a la hora de valorar este derivado del clima.

Figura nro. 1



Como se aprecia en la figura nro.1 y en la tabla de más abajo se encontró una relación significativa¹³ entre rentabilidad de la Soja¹⁴ y precipitación mensual acumulada para la localidad de Junín para los meses de Abril, Junio y Noviembre y para la localidad de 9 de Julio solo se pudo encontrar la misma relación para los meses de Junio y Agosto¹⁵.

Soja

Localidad	Mes	Coefficiente β_1	Estadístico t
Junín	Abril	0,09327	2,08054
Junín	Junio	-0,07101	-2,33534
Junín	Noviembre	0,26727	3,60056
9 de Julio	Junio	-0,05875	-2,00945
9 de Julio	Agosto	0,05585	2,39519

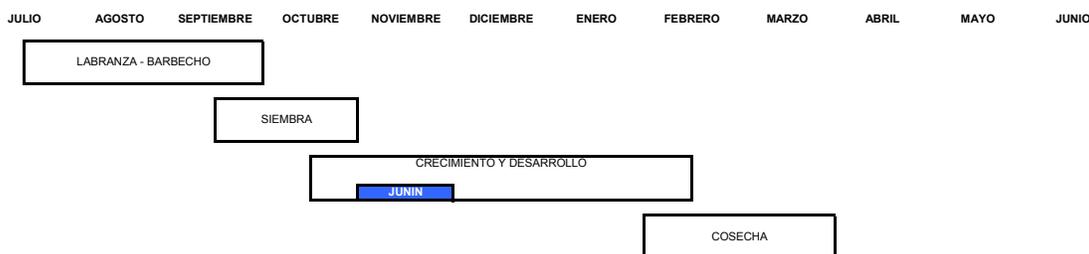
Figura nro.2

¹² Las plantas oleaginosas son vegetales de cuya semilla o fruto puede extraerse aceite, además de estas dos se encuentran en la palma elaeis, maní, maíz, lino, nogal, cártamo, colza, olivo, nogal, ricino, sésamo, jojoba, tung, almendro, arroz y la uva.

¹³ Con un nivel de significancia del 95%

¹⁴ Para el análisis se disponía de las series completas acumuladas mensuales de precipitación desde 1960 hasta 2009 (50 años), pero solo desde 1970 hasta la actualidad, o sea 40 años para las rentabilidades anuales de los cultivos.

¹⁵ Al no disponer de datos específicos de rentabilidad anual por hectárea para cada una de las localidades en forma individual, se considero como valida para cada localidad la rentabilidad promedio de toda la pcia. de Bs. As. www.minagri.gob.ar

GIRASOL

Para el girasol se pudo comprobar la relación directa de la variable solo para el mes de Noviembre en Junín. Es decir el nivel acumulado de precipitaciones mensuales en Noviembre afecta a la rentabilidad anual (toneladas por hectárea) para el cultivo del Girasol.

Girasol

Localidad	Mes	Coefficiente β_1	Estadístico t
Junín	Noviembre	0,21213	2,05550

Tomemos como ejemplo lo obtenido para la soja en el mes de Abril en la localidad de Junín, la regresión nos explica que un aumento en 1% en los milímetros mensuales precipitados aumenta la rentabilidad anual en promedio un 0,093% según los datos históricos (ver apéndice I). A su vez podemos observar en el cuadro que tanto en Junín como en 9 de julio un aumento de las precipitaciones en la época de cosecha (Junio) produce una merma significativa en el rendimiento final de la soja, esto se debe a que este cultivo tiene que ser cosechado con un cierto nivel de humedad y si de lo contrario es cosechado estando el grano muy húmedo (a causa de mayores lluvias en épocas de cosechas) produce mayores costos de secado para su correcto almacenamiento como es la aireación forzada en silos-bolsa; no todos los productores disponen de esta tecnología, sea porque no repararon en este punto o porque su capital no es suficiente como para afrontar esa inversión y por ende el rendimiento final de la soja comestible disminuirá

¹⁶

1.2.a Modelo de Valuación:

Conectando cada valor de precipitación simulado con la cantidad de rendimiento excedente esperado según el modelo de Cobb – Douglas (respecto a un valor strike) obtenemos una distribución de rentabilidades por arriba o debajo de un umbral, se realiza un promedio y ese valor obtenido se multiplica por el precio futuro en el momento en que se dispondrá del bien, (en este caso los granos de soja o las semillas de girasol) listas para ser vendidos en el mercado, luego se actualiza descontando los flujos a una tasa de bajo riesgo o libre de riesgo¹⁷.

Analizando con el software @Risk los datos históricos (1960 – 2010) de las diferentes realizaciones de las precipitaciones mensuales acumuladas, podemos descubrir cual distribución ajusta mejor a cada mes en particular, para luego aplicarlo al modelo de simulación.

¹⁶ Diario El litoral – suplemento Campo Litoral, “Consejos para evitar pérdidas en soja, maíz, sorgo y girasol” INTA. nota del 13-03-10.

¹⁷ Como tasa de descuento se utilizó la tasa libre de riesgo de las Letras y Notas del Banco Central Argentino más un spread del 2% anual que se pueden atribuir a costos de almacenaje en el caso que todo lo producido no se venda en forma instantánea luego de la cosecha.

1.2.b Ajuste de Distribución:

A continuación se procede a testear los datos de precipitación mensual con 3 diferentes pruebas que miden la bondad de ajuste a una distribución teórica planteada, en este caso una distribución lognormal.

Los test aplicados son la prueba de Anderson-Darling, χ^2 cuadrado y la prueba de Kolmogorov - Smirnov. Los resultados son expuestos en el Apéndice II, como también los gráficos de ajuste a la distribución lognormal para cada mes y separado por localidad. Para todos los meses los resultados fueron los mismos, no se puede rechazar la hipótesis nula; por lo tanto los datos se ajustan a una distribución lognormal.

1.3 Pricing de la opción sobre precipitación:

Una vez determinada la distribución de la precipitación mensual se procede a ingresar los inputs en el modelo de simulación. Al disponer de los datos históricos en logaritmos calculamos su media y desvío estándar para los 3 meses analizados en Junín y para los 2 meses en 9 de Julio.

Mediante simulación de Montecarlo, modelizamos la variable (precipitación mensual media esperada) con distribución lognormal 10.000 veces y a cada valor de (X) obtenido le asignamos una producción esperada de rentabilidad (Y) sea que estemos valuándolo respecto a la soja o al girasol con el modelo de Cobb-Douglas.

La valuación de esta opción va a estar definida también por el nivel del strike elegido; en este caso se tomo como consideración al “strike index justo” como el promedio de rentabilidades de los últimos 40 años¹⁸.

	A	B	D	E	F	G
1	Escenario	R acumulado	Rentabilidad esperada (Y)	Y - Strike		
2	1	343,32	1.736,3	65,7		
3	2	142,79	1.441,5	0		
4	3	145,80	1.447,9	0		
5	⋮	⋮	⋮	⋮		
9.999	9.998	200,43	1.549,0	0		
10.000	9.999	140,21	1.435,9	0		
10.001	10.000	438,33	1.828,7	158,1	←	=MAX(0 ; Y - STRIKE)
10.002						
10.003						

$$e^{(\ln \beta_0 + \beta_{1i} \ln R)}$$

$$= \text{DISTR.LOG.INV}(\text{ALEATORIO.ENTRE}(); \text{MEDIA}; \text{DESVIO})$$

Para la Soja se obtuvo un strike cercano a 2.000 Kg/Ha. y para el Girasol un Strike de 1.300Kg./Ha. Luego se obtiene la rentabilidad en kilos por hectárea por sobre el strike o por debajo de el, según estemos valuando un CALL o un PUT; se calcula la media de todos esos valores y lo multiplicamos por el precio que recibiremos al vender el producto una vez cosechada y almacenada la soja o el girasol.

¹⁸ En el strike queda implícito que el productor espera protegerse de una merma en la rentabilidad del cultivo y espera obtener una cobertura si en la próxima temporada esta es inferior a la rentabilidad promedio esperada para ese período.

Del total de opciones, 5 la valuamos al día 1° de mayo (o 30 de Abril) para todos los contratos salvo para el contrato que protege la precipitación de Abril, por obvias razones se elige una fecha anterior y lo valuamos al principio del mes, o sea al 1° de Abril (o 31 de Marzo)¹⁹

Como la realización financiera de la soja se produce luego de ser vendida, debemos elegir la fecha inmediata siguiente a la cosecha (Junio – Julio).

En el modelo de valuación se multiplica la rentabilidad esperada (normalizada por el strike) al precio futuro de la soja Julio, Septiembre o Noviembre (según sea el caso) para entrega en el puerto de Rosario, pcia. de Santa Fe, (ROFEX) por disponer el precio de este futuro mayor liquidez y transparencia. Para el caso del girasol no existe un mercado de futuros en Argentina que refleje los precios que espera el mercado adopte esta oleaginosa, y por ello se optó por tomar el precio spot como el precio hipotético futuro de entrega a Noviembre.

En el cuadro de más abajo vemos los precios futuros utilizados y la fecha de valuación, con los precios de las primas en pesos.

CONTRATO JUNIN - SOJA -

Precipitación	PRECIO u\$S	FUTURO	VALUADO AL	PRECIO \$ por Ha. CALL	PRECIO \$ por Ha. PUT
ABRIL	223	JULIO	01-abr-10	66,03	91,67
JUNIO	238,7	JULIO	01-may-10	68,20	72,26
NOVIEMBRE	236,5	NOVIEMBRE	01-may-10	112,12	83,45

CONTRATO JUNIN - GIRASOL -

Precipitación	PRECIO u\$S	FUTURO	VALUADO AL	PRECIO \$ por Ha. CALL	PRECIO \$ por Ha. PUT
NOVIEMBRE	235 (FUTURO HIP.)	NOVIEMBRE	01-may-10	60,57	61,07

CONTRATO 9 DE JULIO - SOJA -

Precipitación	PRECIO u\$S	FUTURO	VALUADO AL	PRECIO \$ por Ha. CALL	PRECIO \$ por Ha. PUT
JUNIO	238,7	JULIO	01-may-10	49,59	73,07
AGOSTO	235,5	SEPTIEMBRE	01-may-10	63,11	74,11

La tasa a descontar los flujos es la tasa libre de riesgo de Argentina²⁰ más un spread del 2% anual que representa el costo de almacenamiento de la cosecha en el caso de que no se logre vender todo el volumen obtenido.

Para la valuación de esta opción climática incluimos un futuro que nos permite eliminar el riesgo de precio, logrando asegurar el precio futuro de venta y al mismo tiempo darle mas certidumbre a los flujos en t_{+1} ²¹; sin embargo todavía hay un riesgo no cubierto, y es el riesgo cambiario. Aunque el escenario ideal para la valuación seria tener la variable cambiaria controlada o fija mediante un futuro de dólar, se eligió utilizar el tipo de cambio spot al momento t_0 para mantener la simplicidad del modelo y también en parte debido a que para tomar una posición determinada en futuros de dólar que sea conveniente (para el productor) se debe tener en cuenta conceptos y cuestiones macroeconómicas y de expectativas que exceden al objetivo de este trabajo.

Tomemos como ejemplo 3 contratos; en el primer caso vamos a considerar que un productor de Junín desea cubrirse del riesgo que le provoca que en el mes de Abril las precipitaciones sean menores a las normales, y esto ocasione una perdida en la rentabilidad de su cultivo de soja, lo más conveniente es que tome una posición long en un PUT, o sea el productor adquiere pagando

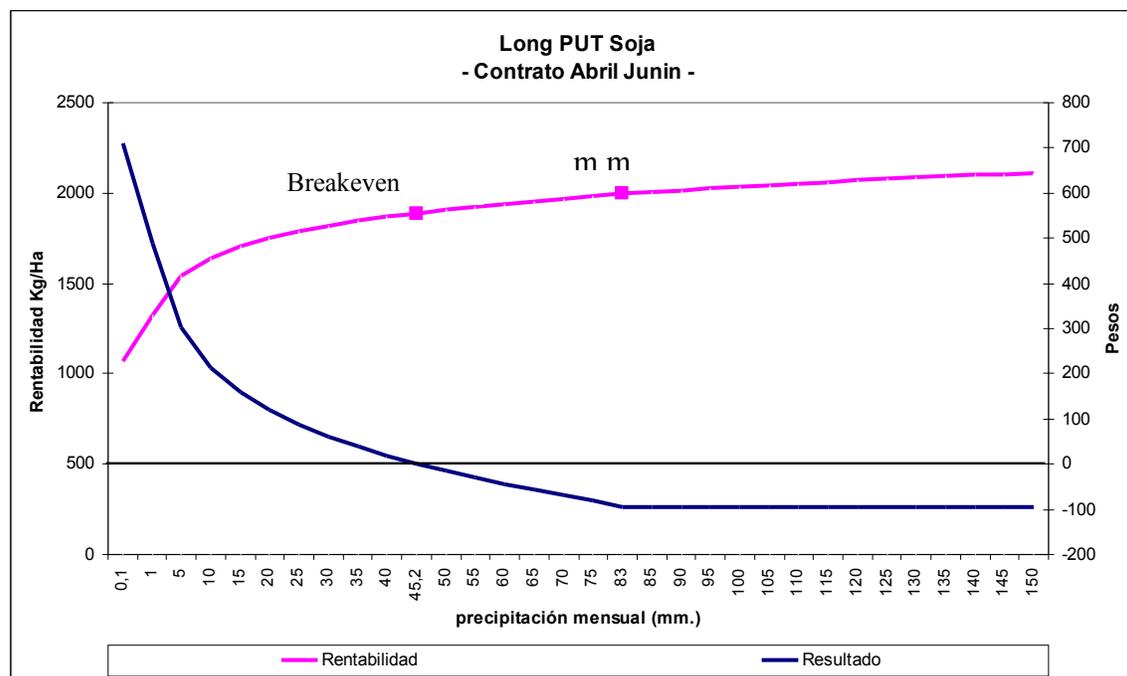
¹⁹ Por ejemplo al valorarlo al primer día de Abril hacemos referencia a que seria el precio de ese derivado a primera hora de ese día; 00:00 hs. Pero lo correcto seria decir que el precio equivale al 31 de Marzo, o sea antes que empiece a medirse la precipitación acumulada de ese mes.

²⁰ Tasa de la Letras y Notas del Banco Central de la Republica Argentina.

²¹ Nótese que para el contrato de Abril-Junín el precio futuro de la soja Julio utilizado era el precio existente al 1° de Abril.

una prima el derecho pero no la obligación de ejercer la opción climática cuando al finalizar el mes de Abril la precipitación mensual acumulada haya sido inferior a 83 m.m.²²

Gráfico nro. 1



Como se aprecia en el gráfico en el eje izquierdo de las Y podemos observar que el strike medido en rentabilidad (Kg./Ha.) es el inicialmente seleccionado para descifrar el precio del PUT, 2000Kg/Ha., de acuerdo al modelo de valuación a este strike le equivale un nivel de 83 mm. de precipitación acumulada para el mes de Abril.

A su vez también podemos ver en el gráfico el punto de equilibrio (Breakeven point) que se da cuando la precipitación es de 45,2 mm. mensuales y la rentabilidad es del orden de los 1890Kg/Ha.; a estos niveles el resultado (eje derecho Y) que le corresponde es de 94,88\$ por Ha. protegida que no es más ni menos que la prima pagada en t_0 actualizada a t_{+1} , por eso el resultado final para el tomador de la opción es de 0\$²³.

En el segundo caso el contrato es similar, pero ahora se va a utilizar para proteger a la rentabilidad del girasol de una disminución en el nivel de precipitación en el mes de Noviembre para Junín.

Para el nivel de la rentabilidad strike de 1.300 Kg/Ha. le corresponde una precipitación acumulada mensual de 88 mm. (Strike). En el punto de equilibrio donde el resultado iguala a la prima pagada en t_0 el nivel de precipitación es de 66,7 mm. con una rentabilidad esperada de 1.227 kg/Ha. y al estar en equilibrio el pay-off neto de la operación es de 0\$.

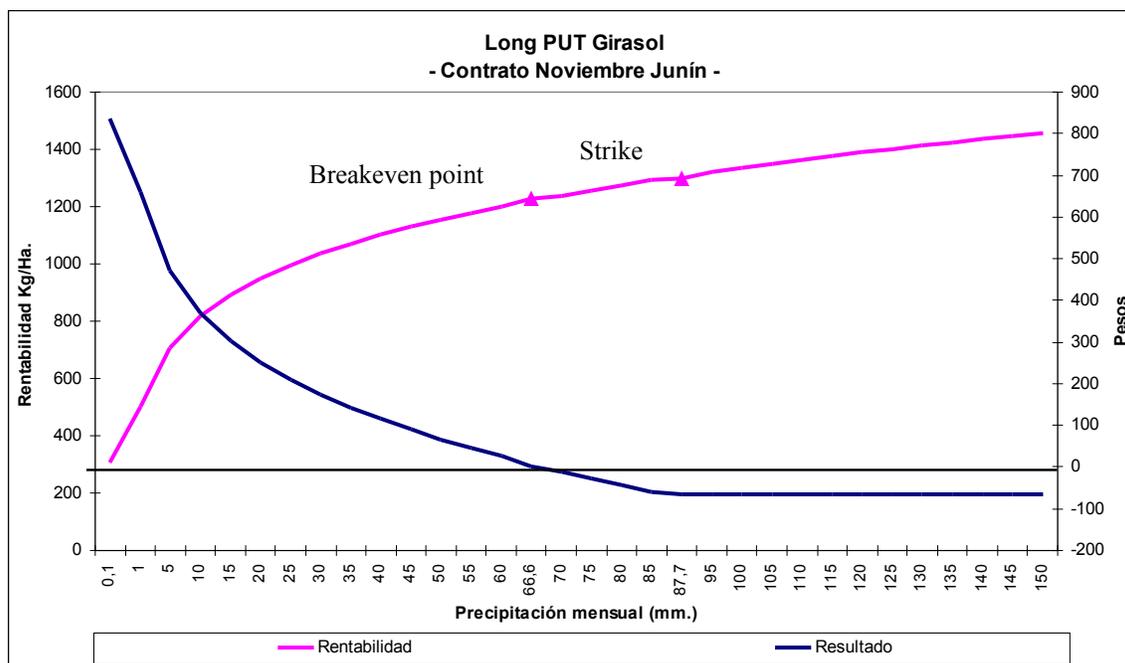
Se puede apreciar a simple vista que el pay-off de este derivado no es lineal porque esta directamente relacionado con la variabilidad en la rentabilidad del cultivo. La pendiente del pay-off sigue una tendencia logarítmica a medida que disminuye la precipitación acumulada y al

²² Calculado como el nivel de precipitación mensual de Abril (Junín) que produce que la rentabilidad de la soja sea igual al strike a cubrir de 2000Kg/Ha. si los demás factores (incluyendo capital, fertilizantes, riego y precipitación en los otros meses) permanecen en parámetros normales

²³ Todas las opciones climáticas negociadas en el CBOT (Chicago Board of Trade) son opciones de tipo Europeo, como este derivado tiene como subyacente a la precipitación acumulada obliga a que el ejercicio de la opción pueda realizarse una vez finalizado el mes del contrato y no durante el transcurso del mismo.

mismo tiempo se hace más notorio los efectos negativos que puede conllevar una temporada de sequía al observar la línea de rentabilidad en el que luego de un punto crítico, cae abruptamente.

Gráfico nro. 2



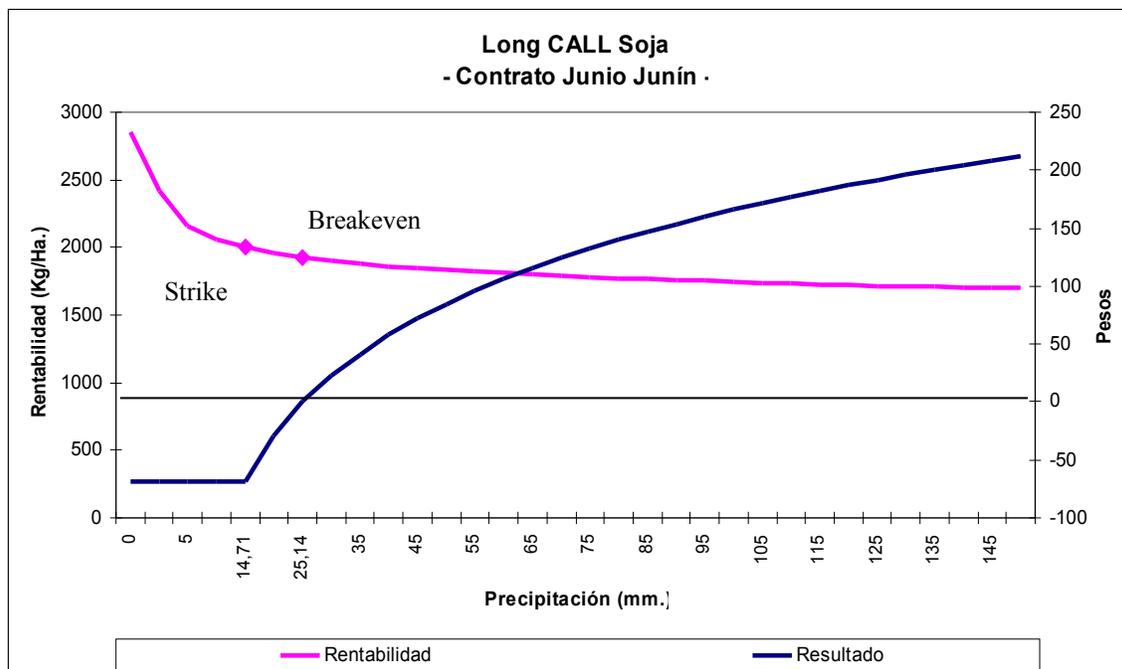
En el tercer ejemplo suponemos que un productor desea negociar un contrato a proteger la rentabilidad de la soja para la localidad de Junín para el mes de Junio. En este caso al tener la rentabilidad esperada de la soja y la precipitación mensual acumulada de Junio una correlación negativa, la posición más conveniente para el productor será la de estar long en un CALL; de esta forma el productor recibirá una compensación a medida que la precipitación total del mes sobrepase el strike y vaya en aumento.

De nuevo el strike se sitúa en una rentabilidad de 2000Kg./Ha. que le corresponde un valor de strike de precipitación mensual de 14,71 mm. El punto de equilibrio se sitúa en el nivel de precipitación donde se igualan el pay-off de la opción y la inversión realizada en la prima, en este caso si la precipitación mensual terminara siendo de 25,14 mm. el productor se encontrará con un desembolso de 0\$ y la rentabilidad esperada del cultivo será de 1925,3 Kg./Ha..

En el caso extremo que no se hayan presentado precipitaciones en todo el mes de Junio²⁴ se esperaría una rentabilidad de 2.850 Kg./Ha.

Gráfico nro. 3

²⁴ Ya se expuso anteriormente al principio de este trabajo las razones de porque una mayor cantidad de precipitación en el mes de Junio se esperaría afecte la rentabilidad final de la soja.



En la tabla siguiente se muestran las 6 opciones analizadas en este trabajo, aquí las podemos ver clasificadas por localidad, mes, cultivo a cubrir y el tipo de opción; como se optó por una cobertura simple²⁵ todas las opciones se analizaron en una posición Long.

Localidad	Mes contrato	Cultivo a cubrir	Tipo de contrato	Precipitación (mm.)	Pay-off	Producción Kg./Ha.
Junín	Abril	soja	PUT	40,2	\$ 94,88	1,890
				83	\$ -	2,000
Junín	Junio	soja	CALL	20,1	\$ 69,00	1,920
				60	\$ -	2,000
Junín	Noviembre	soja	PUT	74,9	\$ 92,60	1,899
				91	\$ -	2,000
Junín	Noviembre	girasol	PUT	66,6	\$ 67,26	1,226
				88	\$ -	1,300
1 de Julio	Junio	soja	CALL	24,7	\$ 0,12	1,940
				60	\$ -	2,000
1 de Julio	Agosto	soja	PUT	9,2	\$ 76,00	1,916
				20	\$ -	2,000

Se expone la precipitación acumulada mensual que corresponde con el nivel de rendimiento strike elegido y el nivel de precipitación de equilibrio que provocaría un desembolso total para el tomador de 0\$.

Conclusión:

²⁵ Existen múltiples estrategias de cobertura realizadas con opciones en el mercado financiero que combinan posiciones long, short, diferentes strikes y fechas de ejercicio tales como por ejemplo: strips, straps, strangles, straddle, butterfly spreads, bear spreads, bull spreads, etc... Para poder llevarlas a cabo se necesita un mercado sumamente líquido; situación poco probable para este tipo de opciones fuera del mercado estadounidense, a menos que se negocie en un contrato específico over the counter.

Lo interesante de este instrumento es que va más allá de la típica protección de precios que hoy en día se puede realizar en el mercado financiero a través de futuros, también da un paso más a la administración del riesgo como es la necesidad de cubrirse de recibir flujos de cajas variables, lográndolos estabilizar mediante la negociación de un Swap.

Los productores agrícolas muchas veces están indefensos a disminuciones considerables en los rindes de sus cultivos a causa de años o temporadas con escasez de precipitaciones o escasez de días soleados para el buen desarrollo de determinados cultivos agrícolas²⁶ donde ciertos factores climáticos o ambientales son fundamentales para obtener un buen rinde final y consecuentemente buenas ganancias.

Las variabilidades en los rindes a causa del clima son eventos de alta probabilidad pero de bajo riesgo (solo producen pérdidas pequeñas en relación al conjunto del negocio), en cambio los seguros aplicados al sector agrícola intentan cubrir solo ciertos eventos climáticos de baja probabilidad pero de alto riesgo, es decir eventos que tienen efectos muy significativos o devastadores en los rindes de los cultivos agrícolas-forestales como son la caída de granizo, heladas tempranas, incendios²⁷, etc...

Una vez más nos encontramos con un instrumento financiero que llega a un nivel mayor de protección y nos permite asegurar los volúmenes de rendimientos de venta y con ello volver más previsible los flujos de caja de las empresas y de los productores agrícolas.

La importancia de estos derivados seguramente irá en aumento a causa de los cambios bruscos que están sucediendo hoy en día en el clima del planeta, inestabilidades climáticas causadas por el paradigma de la sociedad de consumo que se apoya en un crecimiento no sustentable consumiendo grandes cantidades de combustibles fósiles y destruyendo millones de bosques cada año. Esto solo puede llevar al calentamiento global y a provocar desbalances en el frágil equilibrio del sistema climático ambiental de la tierra.

Las costosas consecuencias ya la estamos padeciendo en forma acelerada hace más de 30 años con crecimientos exponenciales de desastres naturales²⁸ y pérdidas millonarias para los Estados, para las empresas y para la sociedad en su conjunto. La pregunta que queda por responder es la siguiente: *¿Siempre estará a nuestro alcance instrumentos en el mercado que nos permita protegernos de los desequilibrios que nosotros mismos producimos?* sinceramente creo que no... es como pretender tener siempre disponible un cuarto en nuestra casa donde dormir tranquilos cuando acabamos de prender fuego el techo de ella, no importa en que cuarto nos mudemos tarde o temprano el fuego nos llegará.

Apéndice I

²⁶ El caso más común es la vid, que necesita una gran cantidad de días de insolación para su buen desarrollo.

²⁷ Es muy común que productores de olivares en la pcia. de San Juan se protejan contra el “viento Zonda”

²⁸ Provocar desequilibrios en el sistema climático provoca que las temporadas de precipitación y temperatura se desincronicen, una llanura fértil puede convertirse en una llanura semi-árida en años si escasean las precipitaciones, precipitaciones abundantes en ciertas zonas ya esta generando inundaciones graves para la población, cambiando el mapa productivo a nivel mundial. Esto sin mencionar huracanes, tornados, etc... Algunos científicos atribuyen también a los terremotos y erupciones volcánicas (que han crecido como nunca antes en la historia) como consecuencia del desequilibrio magnético que esta sufriendo el planeta tierra.

Dependent Variable: Rentabilidad Soja **Junin**

Method: Least Squares

Included observations: 40

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
c	7,791832181	0,094993454	82,02493801	0.0000
Junio	-0,07101488	0,030408718	-2,335346082	0.0244
R-squared	0.126393	Mean dependent var		7.591.500
Adjusted R-squared	0.103403	S.D. dependent var		0.270873
S.E. of regression	0.256486	Akaike info criterion		0.165223
Sum squared resid	2.499.835	Schwarz criterion		0.249666
Log likelihood	-1.304.450	F-statistic		5.497.816
Durbin-Watson stat	0.862300	Prob(F-statistic)		0.024366

Dependent Variable: Rentabilidad Soja **Junin**

Method: Least Squares

Included observations: 40

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
c	7,188799143	0,197776348	36,34812365	0.0000
Abril	0,093279995	0,044834323	2,080548764	0.0455
R-squared	0.101191	Mean dependent var		7.591.500
Adjusted R-squared	0.077538	S.D. dependent var		0.270873
S.E. of regression	0.260159	Akaike info criterion		0.193663
Sum squared resid	2.571.952	Schwarz criterion		0.278107
Log likelihood	-1.873.255	F-statistic		4.278.153
Durbin-Watson stat	0.536005	Prob(F-statistic)		0.045460

Dependent Variable: Rentabilidad Soja **Junin**

Method: Least Squares

Included observations: 40

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
c	6,39534966	0,334260555	19,13282784	0.0000
Noviembre	0,26727098	0,07423029	3,600564925	0.0010
R-squared	0.252203	Mean dependent var		7.591.500
Adjusted R-squared	0.232524	S.D. dependent var		0.270873
S.E. of regression	0.237300	Akaike info criterion		0.009724
Sum squared resid	2.139.829	Schwarz criterion		0.094168
Log likelihood	1.805.525	F-statistic		1.281.591
Durbin-Watson stat	0.901199	Prob(F-statistic)		0.000960

Dependent Variable: Rentabilidad Girasol **Junin**
 Method: Least Squares
 Included observations: 40

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
c	6,22098	0,46471	13,38670	0.0000
Noviembre	0,21213	0,10320	2,05551	0.0467
R-squared	0.100061	Mean dependent var		7.170.172
Adjusted R-squared	0.076379	S.D. dependent var		0.343058
S.E. of regression	0.329697	Akaike info criterion		0.667421
Sum squared resid	4.130.601	Schwarz criterion		0.751865
Log likelihood	-1.134.841	F-statistic		4.225.102
Durbin-Watson stat	0.348290	Prob(F-statistic)		0.046749

Dependent Variable: Rentabilidad Soja **9 de Julio**
 Method: Least Squares
 Included observations: 40

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Intercepción	7,76136	0,09706	79,96847	0,00000
Junio	-0,05876	0,02924	-2,00946	0,04982
R-squared	0.053351	Mean dependent var		7.585.466
Adjusted R-squared	0.027766	S.D. dependent var		0.272096
S.E. of regression	0.268292	Akaike info criterion		0.256439
Sum squared resid	2.663.284	Schwarz criterion		0.341750
Log likelihood	-3.000.567	F-statistic		2.085.247
Durbin-Watson stat	0.704021	Prob(F-statistic)		0.157143

Dependent Variable: Rentabilidad Soja **9 de Julio**
 Method: Least Squares
 Included observations: 40

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
c	7,43381	0,07721	96,28628	0.0510
Agosto	0,05586	0,02332	2,39520	0.0216
R-squared	0.131170	Mean dependent var		2.819.156
Adjusted R-squared	0.108306	S.D. dependent var		1757711
S.E. of regression	1659798	Akaike info criterion		3899976
Sum squared resid	1.046.874	Schwarz criterion		3984420
Log likelihood	-7.599.952	F-statistic		5.736.970
Durbin-Watson stat	1250709	Prob(F-statistic)		0.021645

Apéndice II

Junín (Tamaño de la muestra: 50)

Anderson-Darling (Stephens 1977)

Nivel de significancia	0,1	0,05	0,01
Valor Crítico	0,619	0,736	1,009
Estadístico Abril	0,3895		
Estadístico Junio	0,5111		
Estadístico Noviembre	0,5681		

Chi² cuadrado

K-1: 9 gr. de libertad	0,05	0,01	0,001
Valor Crítico	16,92	21,67	27,88
Estadístico Abril	5,36		
Estadístico Junio	7,6		
Estadístico Noviembre	6		

Kolmogorov – Smirnov

Nivel de significancia	0,1	0,05	0,01
Valor Crítico	0,169	0,188	0,226
Estadístico Abril	0,1040		
Estadístico Junio	0,0912		
Estadístico Noviembre	0,1037		

9 de Julio (Tamaño de la muestra: 50)

Anderson-Darling (Stephens 1977)

Nivel de significancia	0,1	0,05	0,01
Valor Crítico	0,619	0,736	1,009
Estadístico Junio	0,3482		
Estadístico Agosto	0,6970		

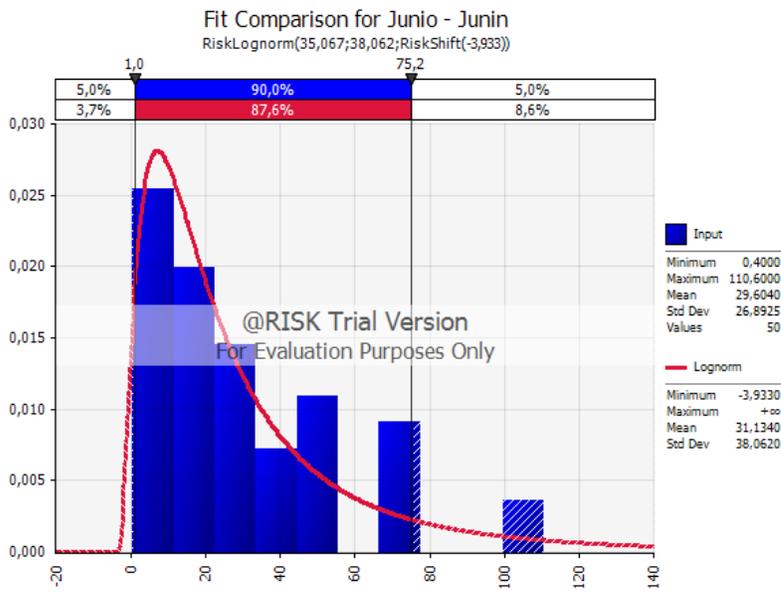
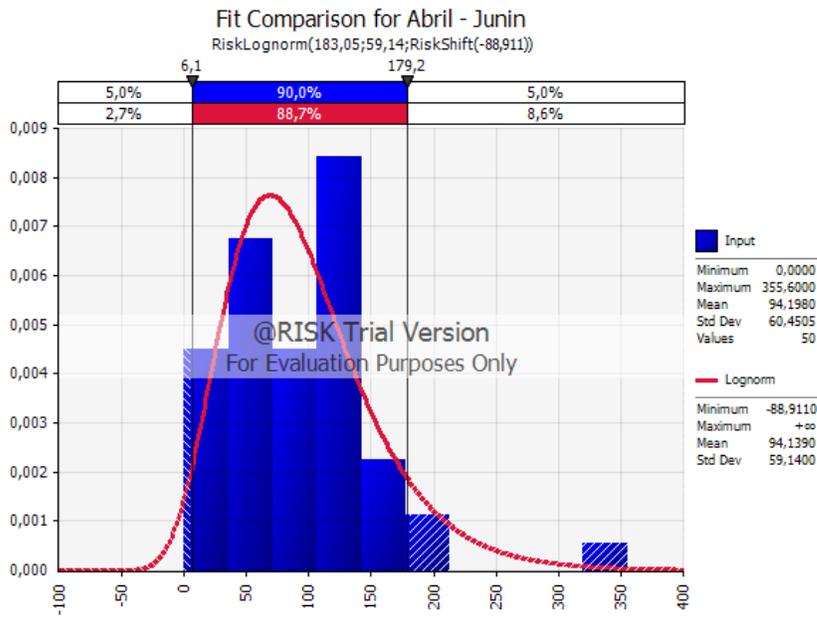
Chi² cuadrado

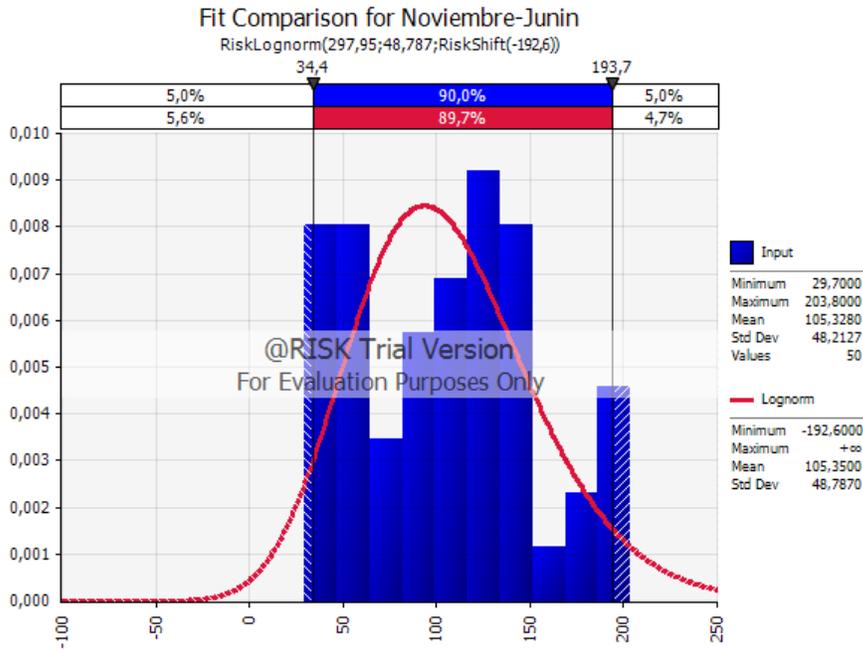
K-1: 9 gr. de libertad	0,05	0,01	0,001
Valor Crítico	16,92	21,67	27,88
Estadístico Junio	3,76		
Estadístico Agosto	6,32		

Kolmogorov – Smirnov

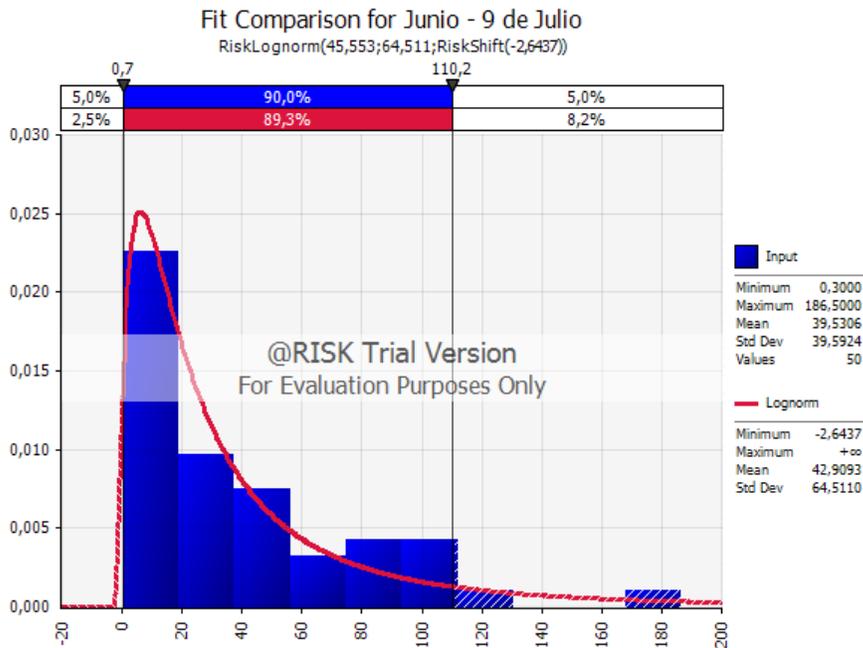
Nivel de significancia	0,1	0,05	0,01
Valor Crítico	0,169	0,188	0,226
Estadístico Junio	0,0693		

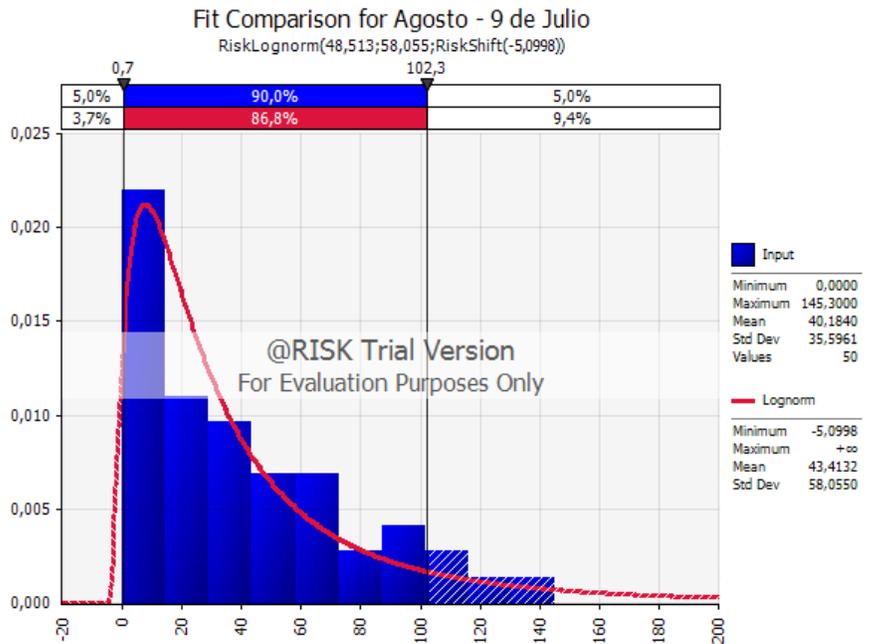
JUNIN





9 DE JULIO





Bibliografía:

- Alaton Peter, Djehiche Boualem and Stillberger David “On Modelling and Pricing Weather Derivatives”, Dept. of Mathematics, KTH
- Babcock A. Bruce, “The Value of Weather Information in Market Equilibrium”, American Journal of Agricultural Economics, Vol. 72, No. 1 (Feb., 1990), pp. 63-72
- Barrieu Pauline and El Karoui Nicole, “Optimal Design of Weather Derivatives”, 2001
- Berg Ernst, Schmitz Bernhard, Starp Michael and Trenkel Hermann, “Weather Derivatives as a Risk Management Tool in Agriculture”, University of Bonn, Department of Farm Management, Bonn, Germany 2003
- Boulanger Jean-Philippe, “Cómo será el clima en nuestro país cuando este siglo termine” Nota periodística, diario Hoy, Diciembre 2005
- Bowers J. A. and Mould G. I., “Weather Risk in Offshore Projects”, School of Management, University of Stirling, The Journal of the Operational Research Society, Vol. 45, No. 4 (Apr., 1994), pp. 409- 418.

- Brockett L. Patrick, Wang Mulong, Yang Chuanhou, “Weather Derivatives and Weather Risk Management”, Risk Management and Insurance Review, 2005, Vol. 8, No. 1, 127-140
- Brockett L. Patrick, Wang Mulong, Yang Chuanhou and Zou Hong, “Portfolio Effects and Valuation of Weather Derivatives” The Financial Review, The Eastern Finance Association, 2006
- Campbell D. Sean, Diebold X. Francis, “Weather Forecasting for Weather Derivatives” Wharton Financial Institutions Center, 2002
- Cao Melanie and Wei Jason, “Weather derivatives: Valuation and market Price of Weather Risk”, 2004.
- Cao Melanie, Li Anlong and Wei Jason, “Weather Derivatives: A New Class of Financial Instruments”, Schulich School of Business York University Toronto, Ontario, Canada, January 2004.
- Considine Geoffrey, “Introduction to Weather Derivatives”, Weather Derivatives Group, Aquila Energy 1998
- Cooper Valerie, “Weather to Hedge, Effectively Managing your Weather Risk”, Energy User News, April 2004
- Cruz Juan Sergio, “Pricing de un exótico del clima para Colombia”, CESA, 2007
- Cruz Juan Sergio y Llinás Andrés “Modelo Analítico de derivados de clima para eventos específicos de riesgo en la Agricultura en Colombia”, CESA 2009
- De Castro Manuel, “Modelos climáticos globales y su fiabilidad” Instituto de Ciencias Ambientales Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo, España. 2007
- De Paz Cobo Sonia, “Derivados vinculados al seguro” Universidad Pontificia de Salamanca Facultad de CC del Seguro, El Plantío, Madrid, 2003.
- Fernández Long María Elena, Barnatán Irene, Serio L. y Murphy G, “Cambios en la disponibilidad térmica para los cultivos de la región pampeana Argentina”, revista Facultad de Agronomía UBA, Octubre 2010.
- Fernández Long María Elena, Barnatán E. Irene, Spescha Liliana, R. Hurtado y G. Murphy, “Caracterización de las heladas en la región pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años”, proyecto UBACYT , 2004-2007.
- Ferrer Garcia Antoni and Sturzenegger Franz, “Hedging Corporate Revenues with Weather Derivatives: A Case Study”, Universit’e de Lausanne Ecole des Hautes Etudes Commerciales HEC, 2001

- Ferrer Vicente Pons “Derivados sobre subyacente no negociable: Valoración de una opción sobre meteorología”. Tesis Doctorado en Finanzas Cuantitativas, Universidad Complutense de Madrid, Universidad del País Vasco, Universidad de Valencia, Julio 2003.
- Garman Mark, Blanco Carlos and Erickson Robert, “Weather Derivatives: Instruments and Pricing Issues”, Financial engineering associates, magazine: Environmental Finance, 2000
- Jewson Stephen, Brix Anders and Caballero Rodrigo, “Long memory in surface air temperature: detection, modeling, and application to weather derivative valuation”, Climate Research, Danish Center for Earth System Science, University of Copenhagen, Denmark. May, 2002
- Jewson Stephen, Ziehmman Christine and Brix Anders, “Weather Derivative Modelling and Valuation: A Statistical Perspective”, Risk Management Solutions 2002
- Jewson Stephen, “Introduction to Weather Derivative Pricing” Weather Risk, Risk Management Solution, London England, September 2004
- Kariya Takeaki , “Weather Risk Swap Valuation”, Research Center for Financial Engineering Institute of Economic Research, Kyoto University, 2003
- Mahul Olivier, “Optimal Insurance against Climatic Experience”, American Journal of Agricultural Economics, Vol. 83, No. 3 (Aug., 2001), pp. 593-604.
- Manfredo R. Mark and Timothy J. Richards, “Hedging with weather derivatives: a role for options in reducing basis risk”, Morrison School of Management and Agribusiness, Arizona State University, 2009
- Murnane J. Richard, Crowe Michael, Eustis Allan, Howard Susan, Koepsell Judy, Leffler Robert, and Livezey Robert, “The Weather Risk Management Industry’s Climate Forecast and Data Needs” a workshop report, August 2002.
- Murphy M. Guillermo y Serio A. Leonardo, “Perspectivas Climáticas: Fundamentos para su Interpretacion” Parte I. Pronósticos Meteorológicos vs. Perspectivas Climáticas, Octubre 2007
- Mussio Veronica, “ Derivados Climáticos Aplicados a la Agricultura”, MFIN UNR, Argentina, 2005
- Platen Eckhard and West Jason, “Fair Pricing of Weather Derivatives”, July, 2004
- Rosenzweig R. Mark and Binswanger P. Hans “Wealth, weather risk and the composition and profitability of Agricultural investments”, The Economic Journal, 103 (January 1993), 56-78

- Roustant Olivier, Laurent Jean-Paul , Bay Xavier, Carraro Laurent, “Model Risk in the Pricing of Weather Derivatives”, September 2003
- Stern Harvey, “The Application of Weather Derivatives to Mitigate the Financial Risk of Climate Variability and Extreme Weather Events”, Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia January 2001.
- Timothy J. Richards, Manfredo R. Mark, and Sanders R. Dwight, “Pricing Weather Derivatives” November 2004
- Toledo Rubén E, “Fases de desarrollo del cultivo de soja”, Marzo 2004
- Turvey G. Calum, “Weather Derivatives for Specific Event Risks in Agriculture”, Review of Agricultural Economics, Vol. 23, No. 2 (Winter, 2001), pp. 333- 351
- Yamada Yuji, “Continuous Swap Valuation under Dynamic Equilibrium for Weather Derivatives”, Graduate School of Business Sciences, University of Tsukuba, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 2004
- Zeng Lixin, “Pricing Weather Derivatives”, Blanch Company, Minneapolis, Minnesota, May 2000.

Páginas Web

- <http://www.bcra.gov.ar/>
- <http://www.wrma.org/>
- <http://www.rofex.com.ar/>
- <http://www.cmegroup.com/>
- <http://www.inta.gov.ar/>
- <http://www.artemis.bm/>
- <http://www.minagri.gob.ar/>
- <http://www.smn.gov.ar/>
- <http://www.pwc.com/>

