

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS**

**MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS
MENCIÓN FINANZAS**

Tema: Derivados vinculados al clima: opciones exóticas – subyacente precipitaciones pluviales. Aproximación a su valuación y uso para la provincia de Entre Ríos en relación al cultivo de soja

Alumno: Cr. Fernando A. Borghello

**Director: Esp. en Finanzas de la empresa Cr. Miguel Ángel Pacher
Co-Directora: Esp. en Docencia Belquis Alaniz**

Santa Fe, Septiembre de 2015

Este trabajo está dedicado a Evelyn, *nur* de mis ojos, mi manual para la vida
y a Genaro, Manuela y Julián, brotes de milagro que me recuerdan que Dios existe

Agradecimientos

Nominar puede hacerme caer en olvidos imperdonables. En los años que duró esta travesía mucha gente ayudó, aportó sus saberes y habilidades para concretar este sueño. Gracias.

Miguel y Belquis, especialmente gracias.

También a quienes sin el conocimiento en la materia, me ayudaron cuidando lo más importante que tengo para poder “encerrarme” en la oficina: gracias abus, nuevamente gracias Eve.

Dios, siempre presente y eternamente agradecido.

A todos ellos muchas gracias, todo este tiempo fue un aprendizaje constante.

Índice de contenidos

Introducción.....	9
La producción agrícola.....	11
Clasificaciones de los tipos de agricultura.....	14
1- Según su dependencia del agua:.....	14
2- Según la magnitud de la producción y su relación con el mercado:.....	15
3- Según se pretenda obtener el máximo rendimiento o la mínima utilización de otros medios de producción, lo que determinará una mayor o menor huella ecológica:.....	15
Producción agrícola de Argentina y de la provincia de Entre Ríos.....	17
Entre Ríos.....	22
La producción agrícola entrerriana.....	23
Actividades agropecuarias de Entre Ríos.....	25
Agricultura	25
Avicultura	25
Ganadería.....	25
Citricultura	27
Expansión de la frontera agrícola en la provincia de Entre Ríos.....	28
Clima y agricultura.....	31
Clima	32
La meteorología y la hidrología.....	35
Fenología: conceptos y definiciones	37
Otros conceptos a tener en cuenta	39
Clima: crecimiento y desarrollo vegetal	39
Elementos Bioclimáticos para el crecimiento y el desarrollo: agua y temperatura	40
Ciclos ontogénicos en los vegetales	41
Fases en los seres vivos	42
Observaciones fenológicas según escalas decimales	44

Introducción	44
Escalas fenológicas.....	46
Escala de Fehr	47
Estados de desarrollo.....	47
Estados vegetativos:	48
Estados reproductivos:.....	48
Fotoperiodismo	51
Exigencias y tolerancias meteorológicas de los cultivos durante fases y subperíodos.....	52
Reservorio de agua.....	54
Extracción de agua del suelo.....	55
Rendimiento en semilla	55
Comienzo de llenado hasta fin de llenado de semilla	56
Respuesta de cultivares	57
Riesgos en mercados agrícolas.....	58
Según Lobos (2000):	58
Fuentes de riesgo.....	61
1- Fuentes de riesgo que afectan volumen y calidad de los cultivos en primera instancia	62
2- Fuentes de riesgo que afectan el precio de los productos agrícolas a nivel nacional –	
internacional	67
Instrumentos existentes para mitigar riesgos: alternativas para estabilizar ingresos a lo largo	
de las campañas agrícolas.....	77
Gestión de riesgos y crisis.....	77
Riesgo – rentabilidad.....	78
Alternativas para gestionar riesgos.....	80
Estrategias de cobertura	81
Políticas públicas para reducir riesgos	83
Diferencias entre productos financieros derivados y seguros para la cobertura de riesgos	
climáticos	84

Diferencias entre productos financieros derivados y reaseguros para la cobertura de riesgos climáticos	86
Introducción a la valoración de activos derivados en mercados incompletos	89
Clasificación de instrumentos derivados.....	90
Instrumentos financieros derivados.....	92
Tipos de negociantes y usos de los derivados	93
Grupos de contratos de instrumentos financieros derivados.....	94
Contratos a término	95
Características:	95
Contratos de futuros.....	96
Características:	96
Contratos de canje o <i>swaps</i>	96
<i>Swaps</i> de tasas de interés	97
<i>Swaps</i> de moneda extranjera	97
<i>Swaps</i> de hipotecas	97
Contratos de Opciones	98
Características:	100
Ámbitos de negociación de los instrumentos financieros derivados.....	101
MATBA – Mercado a término de Buenos Aires:	102
ROFEX:.....	102
MAE - Mercado Abierto Electrónico:.....	103
Riesgos de instrumentos financieros derivados	105
Riesgo de precio.....	107
Riesgo de crédito	107
Riesgo de liquidez.....	108
Otras consideraciones relacionadas con el riesgo de instrumentos financieros derivados	108
Los contratos de opción y su valuación en mercados con información completa.....	109
Clasificación de opciones.....	109
Elementos de las opciones.....	110
Factores que influyen en los precios de las opciones	111

Valor de una opción	112
Límites superiores e inferiores del precio de las opciones.....	112
Modelos de valuación.....	113
Modelo Binomial	113
Modelo de Black, Scholes y Merton	119
Valuación neutral al riesgo para la valuación de derivados financieros.....	121
Volatilidad: su cálculo y estimación.....	122
1. Volatilidad histórica.....	123
2. Volatilidad implícita.....	124
Paridad entre opciones de venta y de compra (<i>Put – Call parity</i>).....	125
Aspectos particulares de los activos derivados sobre el clima.....	127
Historia del mercado del clima: negociando riesgo climático.....	130
Gerenciamiento de riesgos climáticos como negocio.....	133
1. Adversidades climáticas y sus consecuencias (<i>Management</i>).....	133
2. Comercialización de riesgos climáticos (<i>Comercial Trading</i>)	138
Diseño de soluciones para el clima ó <i>Weather Structured Solutions (WSS)</i>	141
El agua en la atmósfera	147
Evapotranspiración.....	152
Balance hidrológico – climático (BHC).....	152
Cálculo del Balance Hidrológico Climático Mensual (BHCM).....	154
Ítems de la planilla tipo de un BHMC	154
Determinación de las propiedades agrohidrológicas del suelo	155
Densidad de volumen	155
Fig. 42: Instrumentos utilizados para la determinación de la densidad de volúmen.....	156
Capacidad de campo	156
Punto de marchitez	157
Nubes	159
Condensación y precipitación.....	160
Principales tipos de precipitación.....	160
Otros hidrometeoros.....	161

Lluvia y llovizna.....	162
Regímenes de precipitación.....	163
Medición de las precipitaciones.....	164
Año hidrológico.....	165
Tratamiento estadístico de las precipitaciones.....	166
a- Primeras características a nivel estadístico.....	166
b- Frecuencias de clases, con distribuciones normales anuales, de cantidad diaria de precipitación.....	167
c- Distribución empírica de frecuencia, determinación de percentiles.....	171
d- Distribuciones teóricas de frecuencia.....	172
e- Variación interanual de la precipitación.....	173
Decisiones arriesgadas.....	174
¿Convienen los derivados climáticos para un productor agropecuario?.....	179
Campaña 2008 – 2009:.....	180
Campaña 2013 – 2014:.....	180
La beta (β) de estos instrumentos, ¿teoría o realidad?.....	186
Las precipitaciones en la provincia de Entre Ríos y sus consecuencias para la producción de soja.....	187
Inteligencia de Riesgos climáticos en Entre Ríos.....	187
Cobertura de rendimientos de soja utilizando derivados del clima.....	201
Conclusiones.....	207
Anexo N° 1.....	209
Índice de figuras.....	210
Bibliografía.....	213

Introducción

“Prefiero tener razón de una manera vaga que estar equivocado de una manera precisa”

J.M. Keynes

Existen diversas y variadas actividades económicas, como la agricultura, el turismo, la generación y distribución de energía eléctrica, la extracción y distribución de gas y los seguros, entre otras, que presentan un rasgo en común: todas, de una u otra forma, se ven afectadas por las consecuencias de los cambios climáticos en algún estadio del ciclo de cada una de ellas o en la totalidad del mismo.

En tal sentido, en el ámbito de las finanzas, los productos derivados climáticos aparecen como una herramienta para reducir el riesgo que enfrentan las empresas cuyos flujos de efectivo están directamente correlacionados a las condiciones climáticas que los afectan.

Dichos productos derivados se basan en un subyacente que no es negociable en los mercados como, por otra parte, lo son los constituidos por activos financieros. En nuestro caso, se trata de un instrumento cuyo subyacente es el clima mismo. Esto tiene connotaciones muy importantes e interesantes de analizar y describir y precisamente en ese sentido abordaremos la cuestión en el presente trabajo.

El objetivo central y de génesis de una opción climática dentro de la agricultura, desde el punto de vista del empresario agrícola, es cubrir la incertidumbre sobre volúmenes producidos. Estos son los determinantes, en última instancia, del rendimiento de la explotación.

Concomitantemente, por ejemplo para las compañías de seguros, el clima afecta los volúmenes de contratación de primas y, consecuentemente, la indemnización de siniestros.

Así, a lo largo del trabajo, veremos motivos específicos para actividades económicas de las más diversas, que aumentan la necesidad de cobertura ante eventos relacionados con el clima y que impactan en forma directa en su negocio.

Precisamente esta problemática nos lleva a preguntarnos si existen datos suficientes y confiables para construir o elaborar opciones financieras “exóticas” cuyo subyacente sea las precipitaciones pluviales en el ámbito regional de la provincia de Entre Ríos que permitan transferir riesgos climáticos a los productores agrícolas de soja y a las compañías de seguros, entre otros actores económicos.

En la presente tesis nos proponemos verificar si los datos existentes de estadísticas meteorológicas, de rendimientos de cultivos y sus vinculaciones causales,

combinados con variables y funciones financieras que resulten pertinentes, posibilitan construir opciones sobre precipitaciones pluviales para cobertura de este riesgo climático en la producción de soja, en el ámbito regional de la provincia de Entre Ríos.

Para intentar lograrlo describimos aspectos generales de la agricultura, su relevancia para nuestro país y para la provincia de Entre Ríos en particular. Luego introducimos conceptos relacionados al clima y a la función del agua para los seres vivos, para llegar finalmente así a la producción de soja en el ámbito nacional y provincial.

Posteriormente describimos la noción de riesgo en mercados agrícolas, los instrumentos para mitigarlos y dentro de ellos haremos foco en los activos financieros derivados.

En este recorrido, abordamos las opciones financieras y describimos las distintas propuestas conocidas para su valuación en mercados completos e incompletos.

Exponemos las principales características que definen al subyacente para ese tipo de derivado, es decir, las precipitaciones pluviales y sus implicancias para la valuación de opciones pues no se trata, reiteramos, de un subyacente negociable en mercado alguno.

Como consecuencia de todo lo expuesto explicamos el diseño de soluciones financieras para el riesgo clima en general y, finalmente, analizamos aproximaciones teóricas para su uso en la provincia de Entre Ríos.

Otro objetivo de esta investigación es contribuir a la concientización de los empresarios sobre la importancia del uso de este tipo de instrumento derivado para la estabilización de sus ingresos, aportando certeza a la planificación financiera y mayor eficiencia a la gestión de riesgos asociados a los negocios. Para ello, los distintos ejemplos desarrollados sobre usos y beneficios de estos instrumentos, hacen foco en general en la actividad agrícola. También el contenido en su totalidad es un desarrollo con este objetivo general de fondo.

La producción agrícola

La agricultura es la labranza o cultivo de la tierra para obtener productos vegetales útiles al ser humano, especialmente los que están destinados a su alimentación.¹

Forma parte del denominado sector primario de la economía. En sentido amplio abarca una serie de tareas relacionadas con el tratamiento del suelo, el cultivo de vegetales y comprende todo un conjunto de acciones humanas que transforma el medio ambiente natural, con el fin de hacerlo más apto para el crecimiento de las siembras.

Las actividades económicas relacionadas son las que integran el llamado sector agrícola y tienen su fundamento en la explotación de los recursos que la tierra origina, favorecida por la acción del hombre: alimentos vegetales como cereales, frutas, hortalizas, oleaginosas, pastos cultivados y forrajes, fibras utilizadas por la industria textil, cultivos energéticos y tubérculos, entre otros.

Desde el siglo pasado, especialmente con la aparición del tractor, las exigentes tareas de sembrar, cosechar y trillar pueden realizarse de forma rápida y a una escala antes inimaginable. La mecanización agraria fue uno de los mayores logros de la ingeniería del siglo XX.

Hacia 1900, por ejemplo, en Estados Unidos se necesitaba un granjero para alimentar de 2 a 5 personas, mientras que hoy, gracias a la tecnología, los agroquímicos y las variedades actuales de semillas, un granjero puede alimentar a 130 personas utilizando tecnología básica. ¿Contra qué costo? El costo de esta productividad, en constante ascenso, es un gran consumo energético, generalmente de combustibles fósiles, y la destrucción de gran cantidad de bosques cada año. El avance de las fronteras de producción, ampliando las superficies cultivables cada año y dejando de lado otras actividades centrales, como la ganadería, son consecuencias de este crecimiento agrícola que ya empieza a dar señales de alerta a través del denominado cambio climático.

Por otro lado, la gestión de informes, investigaciones experimentales y otros datos en tiempo real son vitales para un adecuado manejo y toma de decisiones de alto impacto en el negocio agrícola.

La difusión a través de los actuales medios de comunicación es de gran ayuda al facilitar informes meteorológicos en tiempo real, estudios de mercado y otros

¹ El pequeño Larousse ilustrado(13ª ed.). México: Larousse, 2008.

instrumentos informativos que mejoran el caudal de datos necesarios para gestionar de manera eficiente una explotación agrícola en la actualidad.

Además de alimentos para humanos y sus animales, se producen cada vez con más amplia utilidad maderas, fertilizantes, productos químicos (etanol, plásticos, azúcar, almidón), fibras (algodón, cáñamo, lino), combustible (biodiesel y etanol, que ahora ya se está obteniendo del maíz), productos biofarmacéuticos y drogas, flores y plantas ornamentales. También existen plantas creadas por la ingeniería genética que producen sustancias especializadas. Un ejemplo de ello es el maíz transgénico, que al igual que la obtención de etanol, está modificando la economía de los cultivos de esta planta y la vida de las comunidades que de ella siguen dependiendo.

La manipulación genética, la mejor gestión de los nutrientes del suelo y la mejora en el control de las semillas han aumentado enormemente las cosechas por unidad de superficie; a cambio estas semillas se han vuelto más sensibles a plagas y enfermedades, para lo cual se desarrollan pesticidas y otros productos químicos especiales.

Las variedades de semillas han sido mejoradas hasta el punto de poder germinar más rápido y adaptarse a estaciones más breves en distintos climas. Muestra de ello son las semillas llamadas “de ciclo corto”.

Al mismo tiempo, la mecanización ha reducido la exigencia de mano de obra. Las cosechas son generalmente menores en volumen y calidad en los países más pobres en términos de desarrollo agrícola, al carecer del capital, la tecnología y los conocimientos científicos necesarios.

La agricultura moderna depende enormemente de la tecnología, las ciencias físicas y biológicas. La irrigación, el drenaje, la conservación y la sanidad, que son vitales para una agricultura exitosa, exigen el conocimiento especializado de ingenieros agrónomos. La química agrícola trata con la aplicación de fertilizantes, insecticidas y fungicidas, la reparación de suelos y el análisis de productos agrícolas. Las semillas actuales pueden resistir a pesticidas capaces de exterminar a todas las plantas verdes.

Los cultivos hidropónicos, un método para cultivar sin tierra, utilizando soluciones de nutrientes químicos, pueden ayudar a cubrir la creciente necesidad de producción a medida que la población mundial aumenta.

Otras técnicas modernas que han contribuido al desarrollo de la agricultura son las de empaquetado, procesamiento y mercadeo. Así, el procesamiento de los

alimentos, como el congelado rápido y la deshidratación han abierto nuevos horizontes a la comercialización de los productos y aumentado los posibles mercados.

Todo esto impacta en los volúmenes de producción necesarios para cubrir estas demandas, cada vez más importantes.

En la actualidad se utiliza el 11% de la superficie terrestre del mundo para la producción de cultivos y se hace uso para ello, del 70% del agua total extraída de acuíferos, ríos y lagos. La superficie cultivada en el mundo ha crecido un 12 % en los últimos 50 años. La superficie regada mundial se ha duplicado durante el mismo período, lo cual representa la mayor parte del incremento neto en las tierras cultivadas. Hoy abarca el 20% de la superficie total cultivable y genera el 40% de la producción agrícola.

La agricultura y el riego, mecanizados e intensivos en insumos, han contribuido a aumentar rápidamente la productividad. La producción agrícola ha crecido entre 2,5 y 3 veces, gracias a un aumento significativo en el rendimiento de los principales cultivos.

En el año 1961 había 0.45 hectáreas cultivadas por persona. Hoy la superficie de tierra cultivada por persona disminuyó a menos de 0,25 hectáreas y hacia 2050 se prevé una disminución a 0.15 ha/pers., una medida clara del éxito de la intensificación agrícola.

Con una población prevista de 8.200 millones de personas para 2030, el planeta deberá alimentar a 1.500 millones más de personas, de las cuales el 90 % vivirá en

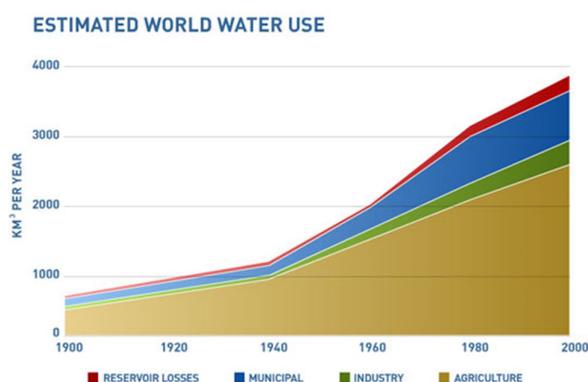


Fig.1: Uso estimado del agua en el mundo

Fuente: <http://www.fao.org/nr/water/art/2008/wateruse.htm>

los países en desarrollo.

Cabe destacar que la tierra cultivable incluye aquellos terrenos definidos por la FAO² como afectados a cultivos temporales (las zonas de doble cosecha se cuentan una sola vez), los prados temporales para segar o para pasto, las tierras cultivadas como huertos comerciales o domésticos, y

²Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

las tierras temporalmente en barbecho³. Se excluyen las tierras abandonadas a causa del cultivo migratorio.

Clasificaciones de los tipos de agricultura

Los tipos de agricultura pueden clasificarse según muy distintos criterios. Entre otros mencionamos:

1- Según su dependencia del agua:

De secano: es la agricultura producida sin aporte de agua por parte del mismo agricultor, nutriéndose el suelo de la lluvia y/o aguas subterráneas.

De regadío: se produce con el aporte de agua por parte del agricultor, mediante el suministro que se capta de cauces superficiales naturales o artificiales, o mediante la extracción de aguas subterráneas de los pozos.

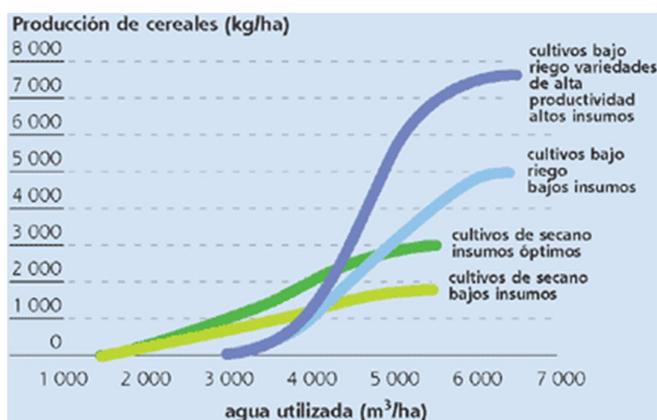


Fig.2: Producción de cereales con/sin regadío

Fuente: "Mejora de la agricultura de regadío", <http://www.fao.org>

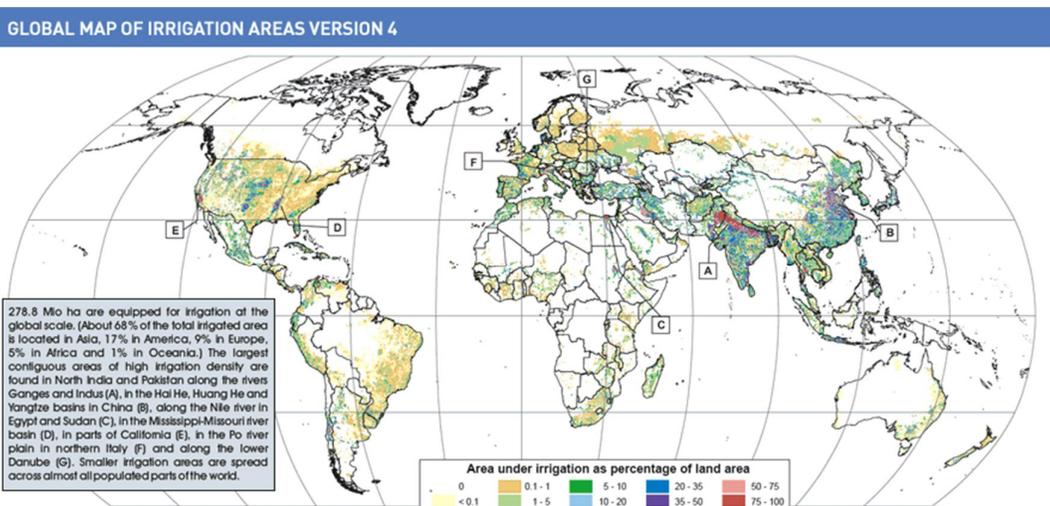


Fig. 3: Mapa Global de Áreas con Irrigación como porcentajes de la superficie de cada país

Fuente: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/irrigationmap/index10.stm>

³ Terreno de labor que no se siembra durante uno o dos años para que la tierra descanse o se regenere.

Como se menciona y muestra en este gráfico, casi 279 millones de ha. a nivel mundial cuentan con irrigación. Aproximadamente el 68 % de dichas has. están localizadas en Asia, 17 % en América, 9 % en Europa, 5 % en África y 1 % en Oceanía. La zona con mayor densidad de has. irrigadas se encuentra en el norte de India y Pakistán, a lo largo de los ríos Ganges e Indus (A), en las cuencas de Hal He, Huang He y Yangtze en China (B), a lo largo del río Nilo en Egipto y Sudan (C), en las cuencas de los ríos Mississipi y Missouri (D), en zonas de California (E), en la llanura fluvial del río Po en Italia (F), a lo largo del bajo Danubio (G). Además, en las adyacencias de la mayoría de las zonas pobladas del planeta se extienden zonas más pequeñas bajo irrigación.

2- Según la magnitud de la producción y su relación con el mercado:

Agricultura de subsistencia o familiar: Consiste en la producción de la cantidad mínima de comida necesaria para cubrir las necesidades del agricultor y su familia, con mínimos excedentes para comercializar. El nivel técnico es primitivo.

Agricultura industrial o de mercado: Se producen grandes cantidades, utilizando costosos medios de producción, para obtener excedentes y comercializarlos. Típica de países industrializados, de los países en vías de desarrollo y del sector internacionalizado de los países más pobres. El nivel técnico es de orden tecnológico.

3- Según se pretenda obtener el máximo rendimiento o la mínima utilización de otros medios de producción, lo que determinará una mayor o menor huella ecológica:

Agricultura intensiva: busca una producción grande, en términos de volumen, en poco espacio. Conlleva un mayor desgaste del sitio y es propia de los países industrializados.

Agricultura extensiva: depende de una mayor superficie para lograr volumen, es decir, provoca menor presión sobre el lugar y sus relaciones ecológicas, aunque sus beneficios comerciales suelen ser menores.

4- Según el método y objetivos:

Agricultura tradicional: utiliza los sistemas típicos de un lugar, que han configurado la cultura del mismo, en períodos más o menos prolongados.

Agricultura industrial: basada sobre todo en sistemas intensivos, está enfocada a producir grandes cantidades de alimentos en menos tiempo y espacio (pero con mayor desgaste ecológico), dirigida a mover grandes beneficios comerciales.

Agricultura ecológica, biológica u orgánica: se crean diversos sistemas de producción que respetan las características ecológicas de los lugares y geobiológicas de los suelos, procurando respetar las estaciones y las distribuciones naturales de las especies vegetales, fomentando la fertilidad del suelo.

Agricultura natural: se recogen los productos producidos sin la intervención humana y exclusivamente para su consumo inmediato.

Producción agrícola de Argentina y de la provincia de Entre Ríos

Argentina, por su extensión territorial, ocupa el segundo lugar entre los países de América del Sur detrás de Brasil y el octavo a nivel mundial. Tiene una superficie total de 3.761.274 km², de los cuales 2.791.810 km² corresponden al Continente Americano y 969.464 km² al Continente Antártico, incluyendo las Islas Malvinas, Orcadas del Sur, Georgias del Sur y Sándwich del Sur.

El territorio continental está ubicado entre los 22º y 55º de latitud S y los 53º y 74º de longitud O.⁴

El gran desarrollo latitudinal de la superficie territorial y la variedad climática existente, permiten una extensa distribución de los cultivos.

La actividad agrícola es, sin lugar a dudas, uno de los pilares fundamentales de la economía argentina.

En tal sentido, la superficie estimada, destinada a actividades agropecuarias de acuerdo a datos del INDEC en su relevamiento agropecuario del año 2008 (Censo Nacional Agropecuario) supera las 180 millones de hectáreas afectadas, de los cuales a la provincia de Entre Ríos le corresponden 6.8 millones, es decir aproximadamente el 4 %.

La realidad entrerriana es que un 27.6 % aproximadamente de esas 7 millones de hectáreas se encuentran afectadas a implantaciones agrícolas, mientras que el promedio nacional ronda el 20 %, destacándose el escaso uso agrícola en la zona sur del país.

La evolución de la superficie implantada de cereales presenta esta situación:

	1993	2005	Crecimiento
Argentina *	9.032,4	9.152,0	1,32%
Entre Ríos	292,0	517,5	77.23%

Fig. 4: Evolución superficie implantada de cereales en la Argentina

Fuente: INDEC. Serie Encuesta Nacional Agropecuaria 1993-2005 (en miles de ha.)⁵

* Provincias Seleccionadas: Buenos Aires, Córdoba, La Pampa, Santa Fe, Entre Ríos, San Luis

Asimismo, la evolución de la superficie implantada de oleaginosas, es la siguiente:

⁴ Extraído de: <http://www.argentina.ar/advf/documentos/48b312c09862f8.56445514.pdf>

⁵ La Encuesta Nacional Agropecuaria 2008 presenta datos parciales no analizados. La Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) es un programa de relevamientos regulares de periodicidad anual y cobertura nacional iniciado por el INDEC en el año 1993, basado en un diseño muestral específico para cada provincia. Se desarrolla en los períodos intercensales para actualizar la información referida al sector, facilitando información a nivel de provincia.

	1993	2005	Crecimiento
Argentina *	7.589,6	12.669	66.92%
Entre Ríos	122,1	955,6	682.63%

Fig. 5: Evolución superficie implantada de oleaginosas en la Argentina

Fuente: INDEC. Serie Encuesta Nacional Agropecuaria 1993-2005 (en miles de ha.)

* Provincias Seleccionadas: Buenos Aires, Córdoba, La Pampa, Santa Fe, Entre Ríos, San Luis

La región agrícola más importante del país es la Pampeana y también el Sur de la Mesopotamia, con clima y suelos favorables para el cultivo de cereales, oleaginosas, forrajeras, frutales y hortalizas.

En el siguiente mapa, estas zonas se referencian como Pampa Húmeda y Mesopotamia, respectivamente.



Fig. 6: Regiones agroecológicas de la Argentina

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/007/y5210s/y5210s05.htm#TopOfPage>

En otras áreas se presentan condiciones favorables para los cultivos tropicales, existiendo también grandes zonas donde la agricultura sólo es posible con ayuda de riego artificial, utilizándose las tierras para cultivos de alto valor, como frutales y hortalizas; esto ocurre en los oasis existentes en las áridas provincias cuyanas del Noroeste y en la zona patagónica.

En la actividad agrícola predomina el cultivo de cereales y oleaginosas, en los que sobresalen el trigo, maíz, soja y girasol los que se realizan primordialmente en la denominada llanura pampeana aunque, de acuerdo al tipo de cultivo, la zona se amplía hacia el Oeste y el Norte, siendo las provincias más productoras Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, La Pampa, Entre Ríos y San Luis.

Cabe destacar un cultivo que viene creciendo campaña a campaña en el país, como lo es el de la cebada, tanto forrajera como cervecera. Se estima que el trigo:

“(…) bajará en superficie sembrada por los problemas de comercialización y la baja rentabilidad, por lo que la implantación de cultivos de invierno alternativos crecerá. Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, en la campaña 2011/2012 se implantaron 1.16 millones de hectáreas (lo que marcó un récord) y una producción cercana a las 4.08 millones de toneladas, con un rinde de 35 qq/ha....para el año 2013 afirman que al aumento de la cebada tanto forrajera como cervecera estará entre un 30 y 50 %.”⁶

La realidad de la campaña de trigo 2012 – 2013 fue de 3.7 millones de has. Sembradas y 8.7 millones de tn. producidas. En la campaña 2013 – 2014 la superficie sembrada fue de 3.6 millones de has. Con una producción de 9.5 millones de toneladas.⁷

Asimismo, en virtud de buscar alternativas al trigo, viene creciendo el cultivo de legumbres como la arveja, garbanzo y lenteja.

“La posibilidad de asociar estas leguminosas a una posterior siembra de soja de segunda resulta unos de sus principales atractivos...si bien estos productos representan una alternativa real al cultivo del trigo, su mercado es mucho menos profundo y tienen un desarrollo comercial más precario.”⁸

“El incremento en la producción de esta leguminosa (arveja) duplicando la cantidad producida en menos de una década y aumentando un 67 % en relación al año pasado, demuestra que es una alternativa fiable y efectiva para cubrir al trigo.”⁹

Los cultivos de arroz se centralizan en el Noreste, en Corrientes, Entre Ríos, Chaco, Formosa y Santa Fe y en el Noroeste, en Salta, Jujuy y Tucumán. Además de los mencionados, otros cultivos de cereales que se efectúan en nuestro país son: sorgo granífero, avena, centeno, mijo y alpiste.

Los cultivos industriales son muy diversos, encontrándose oleaginosos comestibles, oleaginosos industriales, textiles, plantas estimulantes y otros cultivos susceptibles de industrialización.

En general, en la región pampeana se presentan los cultivos de girasol, maní y lino; en el noreste del país los de algodón, yerba mate, té, tabaco y tung; en el noroeste

⁶ Semanario Infocampo, publicado junto a edición impresa de “El Diario de Paraná”, Entre Ríos, Argentina, semana del 11 al 17 de mayo de 2011.

⁷ <https://www.bcr.com.ar/pages/gea/estimaProd.aspx>

⁸ El Diario Rural, publicado junto a edición impresa de “El Diario de Paraná”, Entre Ríos, Argentina, 7 de mayo de 2012.

⁹ Semanario Infocampo, publicado junto a edición impresa de “El Diario de Paraná”, Entre Ríos, Argentina, semana del 10 al 16 de enero de 2014.

principalmente caña de azúcar, tabaco y vid, y en la zona central y oeste, donde prevalecen los cultivos bajo riego: olivos y vides.

Argentina es un actor con un peso específico muy alto a nivel mundial con respecto a la producción de granos, ocupa el tercer lugar entre los productores de soja y es el segundo país con mayores saldos exportables de maíz.

Debe mencionarse el gran avance que en los últimos quince años han tenido algunos cultivos, como por ejemplo la soja y el café. La soja ha desplazado de su área a cultivos como el maíz y el trigo, obteniéndose cosechas espectaculares por su alto rendimiento, que produce excedentes exportables muy significativos. Su producción se concentra en las provincias de Santa Fe, Córdoba, Buenos Aires y Entre Ríos, tanto la soja de primera como de segunda fecha de siembra.

Se denomina soja de segunda fecha de siembra a los cultivares de soja que son sembrados a partir del mes de diciembre en el Hemisferio Sur, generalmente precedidos por un cultivo invernal, en la mayoría de los casos por trigo.

Las razones de realizar soja de segunda fecha de siembra es que permite obtener dos cosechas en una misma unidad de superficie en un mismo año. A su vez distribuye en mayor cantidad de días las labores de siembra.

Si toda la superficie se dedicase a soja de primera, las labores de siembra se acumularían en octubre y noviembre. En cambio de esta forma se destinan labores al mes de diciembre y principios de enero.

Otra ventaja de realizar esta práctica es que permite incluir la rotación con trigo y reducir la inversión en agroquímicos para el control de malezas. Los rastros del trigo que se cosecha en diciembre ralentizan la emergencia de malezas que van a competir con el cultivo de soja.

También se reducen los gastos en fertilización, debido que se utiliza el fertilizante residual que no fue utilizado por el cultivo de trigo.

Comparada con una soja de primera los cultivares sembrados en diciembre son de menor tamaño y altura. Por dicha razón son sembrados a menor distancia entre surcos previendo un crecimiento menor por planta. Se siembran a 32 cm. de distancia entre cada surco a diferencia de 52 cm. de distancia para un cultivo de soja de primera fecha de siembra.

La cosecha de la soja de segunda fecha de siembra se da casi en simultáneo a la cosecha de la soja de primera. Al estar expuesto el cultivo a mayor temperatura media acelera su desarrollo adelantándose la fecha de cosecha. A pesar de haber

sido sembrada 45 a 60 días después que la soja de primera es cosechada tan solo 15 a 20 días después.

Para la gran expansión que el cultivo de soja ha tenido en nuestro país:

“(…) jugó un papel relevante el aumento del precio internacional y de la rentabilidad de este cultivo, así como la creciente oferta de innovaciones agropecuarias a nivel nacional e internacional, que reforzaron el aumento de la renta diferencial del suelo y de la productividad de los factores. Puntualmente dos aspectos han influido en su gran dinámica a nivel nacional...el uso de semillas transgénicas junto a la aplicación de Glifosato y el cultivo bajo el método de siembra directa.¹⁰”

Por otro lado, el café encuentra sus mejores zonas ecológicas en el extremo Norte de la provincia de Salta y en las sierras del centro de la provincia de Misiones, aunque también se están realizando cultivos experimentales en la provincia de Tucumán. Si bien su producción es ínfima en relación al consumo nacional, este incipiente cultivo puede llegar a cubrir gran parte de las necesidades de café en nuestro país en un breve lapso de tiempo.

Los cultivos forrajeros, íntimamente ligados a la actividad ganadera, prevalecen en la región pampeana, sobresaliendo los cultivos de alfalfa, sorgo y cebada forrajera.

La producción hortícola tiene, dentro del país, numerosos centros de localización, principalmente las áreas cercanas a los grandes centros de consumo, especialmente en las provincias de Buenos Aires y Santa Fe, aunque también se los realiza en áreas más alejadas como Mendoza, Río Negro, Salta, Santiago del Estero y Formosa.

Fundamentalmente los cultivos son los de papa, tomate, zapallo, pimiento, cebolla, ajo y batata. Seguidos por espárragos y alcauciles, entre otros.

La producción de frutas es de considerable importancia en nuestro país. La diversidad de climas existente permite el cultivo de frutales tropicales, subtropicales y de clima templado. Las principales plantaciones corresponden a los cítricos, los frutos de pepita como manzana pera o membrillo y los de carozo como durazno, ciruela, damasco, cerezas y guindas.

¹⁰ Dominguez, N. A y Orsini, G. (2009) Impactos en la estructura agraria por la ampliación de la frontera agrícola en base a la expansión del cultivo de soja en la región pampeana: la historia reciente de Entre Ríos. (1ra. ed.). Buenos Aires: Ediciones Cooperativas.

Ha cobrado significativa importancia en los últimos años, la producción de bananas, que se realiza en las provincias de Formosa y Salta.

De las frutas secas, se destaca el nogal, cuyas plantaciones más importantes se encuentran en Catamarca, Mendoza y La Rioja, realizándose también en esta última provincia, cultivos de dátiles.

También es notable la floricultura, el 90 % de la cual se ubica en la Pampa húmeda, en pequeñas parcelas de alta productividad, sobresaliendo los cultivos de claveles, gladiolos y rosas, entre otros.

Como ya anticipamos la provincia de Entre Ríos dispone del 4% de la superficie agropecuaria del país.

Abordaremos ahora, una descripción y análisis con mayor detalle en lo relativo al relieve, clima y producción de la misma.

Entre Ríos

La provincia de Entre Ríos se ubica entre los paralelos de 30º y 34º de latitud sur y entre los meridianos de 58º y 61º de longitud oeste, cubriendo una extensión aproximada de 7.654.600 has. (el 2,8% del total nacional). El 72% aproximadamente corresponde a tierra firme y el 28% restante a ríos, valles inundables de los principales ríos y arroyos y las áreas de predelta y delta.

El relieve entrerriano presenta un paisaje de llanura sedimentaria originado en la erosión, levemente ondulada, de alturas no superiores a los 100 metros. Estas alturas, mal llamadas cuchillas, son en realidad lomadas que constituyen una



Fig. 7: Provincia de Entre Ríos, Argentina

prolongación del relieve de Corrientes y que al ingresar a la provincia se divide en dos brazos: el occidental o de Montiel, de dirección sudoeste y que llega hasta las cercanías del arroyo Hernandarias y el brazo oriental o Grande, que desde el sudeste llega hasta el sur del departamento Uruguay. Estas lomadas determinan la divisoria de aguas: las pendientes hacia el río Paraná y hacia los ríos Uruguay y Gualeguay.

Además de estas lomadas, existen tres prolongaciones de dirección Norte - Sur, entre los arroyos Nogoyá y

Clé; otro, entre éste y el río Gualeguay y por último, otro, entre el río Gualeguay y el Gualeguaychú.

Por su situación geográfica en Entre Ríos la temperatura disminuye de norte a sur. Los climas característicos son el subtropical sin estación seca al norte y el templado pampeano húmedo al sur. Dado esto podemos encontrar dos regiones climáticas: una subtropical sin estación seca y otra cálida.

La primera afecta a los departamentos de Federación, Feliciano, Federal y norte de La Paz. Los inviernos son suaves y los veranos con temperaturas promedio superiores a los 26°C. La temperatura media anual es de 20°C. Las precipitaciones superan los 1.000 mm. anuales y predominan los vientos norte, este y noreste.

La segunda y más amplia región climática, que corresponde al resto del territorio, presenta inviernos cuya temperatura media oscila entre los 7° C y 10° C., y en verano, entre los 19°C y 23°C. La amplitud media varía entre los 10°C y 16°C. Es atravesada por vientos del sur, sureste, noreste y pampero. Las precipitaciones, en promedio, son inferiores a los 1.000 mm. anuales.



Climas de Entre Ríos

→ Subtropical sin estación seca

→ Templado Pampeano Húmedo

Fig. 8: Climas de Argentina
Fuente: www.smn.gov.ar

La producción agrícola entrerriana

Las estimaciones del Producto Bruto Provincial de Entre Ríos para el año 2013 determinan que el mismo alcanzó los \$11.924 millones, un 13,0% más en 2012, medido en términos constantes y a precios de 1993. En términos corrientes,

en cambio, dicha suma alcanzó los \$63.814 millones, un 33,6% más que el año anterior, donde el 57,9% corresponde a los sectores productores de servicios mientras que el 42,1% restante corresponde a los sectores productores de bienes.¹¹

El siguiente cuadro muestra su evolución para esta provincia, según datos de la Dirección de Estadísticas y Censos de la Provincia:

G OBIERNO DE ENTRE RÍOS
 PRODUCTO BRUTO PROVINCIAL A PRECIOS CONSTANTES DEL AÑO 1993
 AÑOS 1993 - 2013

	1993	2003	2006	2009	(*) 2011	(*) 2012	(*) 2013
En miles de pesos							
PRODUCTO BRUTO PROVINCIAL	4.461.058	5.483.876	7.073.409	7.875.539	10.312.373	10.556.091	11.923.688
SECTORES PRODUCTORES DE BIENES	1.386.935	1.936.794	2.390.221	2.356.889	3.306.154	3.075.271	3.602.175
A - AGRICULTURA, GANADERÍA, CAZA Y SILVICULTURA	439.196	883.925	1.005.793	729.623	1.101.080	1.056.630	1.253.959
Part. Relativa de agricultura, ganadería, caza y silvicultura	10%	16%	14%	9%	11%	10%	11%

(*) cifras provisionales

Fuente: Dirección General de Estadística y Censos

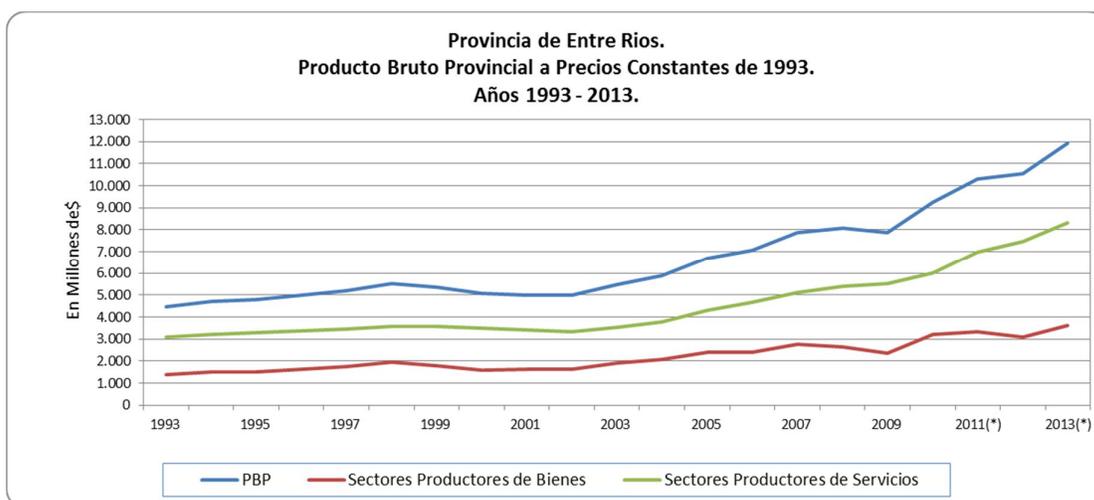


Fig. 9: Tabla y gráfico: Producto Bruto Provincial, Entre Ríos

Fuente: D.G.E.y.C. de la Provincia de Entre Ríos

Aunque específicamente el sector que nos ocupa en esta tesis es el primario y dentro de él la agricultura, realizaremos un rápido análisis de la diversidad de la producción primaria en esta provincia para dimensionar su relevancia dentro de la economía entrerriana.

La actividad económica provincial está integrada principalmente por actividades primarias agropecuarias por un lado y las agroindustrias por otro.

Sobresale la producción de cereales y oleaginosas, la avicultura, citricultura, la ganadería (vacunos para carne y leche, ovinos y porcinos) y las actividades frutícolas.

¹¹ El PBG 2013 estimado es el último dato estadístico disponible de la provincia de Entre Ríos a Enero 2015.

Actividades agropecuarias de Entre Ríos

Agricultura

Dentro del sector agricultura, el mayor aporte al VBPA¹² lo realiza el cultivo de soja (63%). Le siguen en orden de importancia el trigo (13%), el arroz (10%) y el maíz (9%). El lino, sorgo y girasol tienen una participación relativa inferior al 2% del valor bruto total del sector agrícola.

La agricultura tuvo una gran expansión en los últimos años. Al inicio de la década de los años '90 se registra una tendencia creciente en la superficie sembrada, debido principalmente al incremento del cultivo de soja que aumentó su superficie sembrada en más del 300% en la última década, con datos que ya expusimos a partir de información suministrada por el INDEC en sus Censos Económicos.

Avicultura

En este importante sector dentro de las actividades agropecuarias provinciales, el 87% del valor total está representado por la producción de pollos y el 13% restante por la de huevos.

La faena provincial se encuentra en aproximadamente 275.000.000 de aves, lo que representa el 45 % de la faena nacional, con un crecimiento del 8% promedio en los últimos 5 años. En Entre Ríos se encuentran instalados 15 frigoríficos avícolas, de los cuales 11 se encuentran en los departamentos de la Costa del Uruguay (Colón, Uruguay y Gualeguaychú).

En cuanto a la producción de huevos, Entre Ríos representa el 20% de la producción nacional, localizándose en especial en el departamento Paraná. Las granjas instaladas y activas son 244 y la capacidad instalada es de 4.6 millones de aves. La producción provincial es de 1.200.000 cajones de huevos de 30 docenas cada uno.

Ganadería

Bovinos para carne

La ganadería bovina para carne es la actividad principal en relación al uso del suelo y al número de empresas agropecuarias, distribuyéndose en todo el territorio provincial. La existencia total de cabezas históricamente ha estado entre el 6.5 %y 9 % de total nacional.

¹²Valor Bruto de la Producción Agrícola

De acuerdo a los datos que se desprenden de la 2° Vacunación de Aftosa campaña 2012, la provincia de Entre Ríos cuenta con 4.263.024 animales, de los cuales el 39,4 % son vacas, el 2% toros, el 21,5 % terneros y terneras y el resto corresponde a las otras categorías.¹³

En cuanto a la evolución del stock de ganado vacuno en los últimos 10 años se puede observar en la figura 11, que a partir del año 2006, por motivos de mercado y climáticos, el rodeo entrerriano comenzó a descender, pero a partir del último año se ha logrado revertir este proceso y se observa un lento aumento del total de animales como de algunas categorías estratégicas como son los terneros.

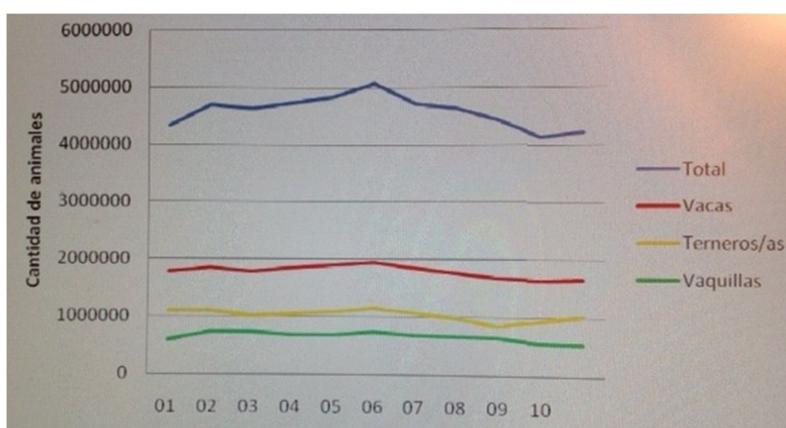


Fig. 10: Stock de ganado vacuno, Entre Ríos

Fuente: Situación Ganadera de la Provincia de Entre Ríos, Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2012
(últimos datos oficiales disponibles)

Bovinos para producción láctea

Entre Ríos cuenta con una producción láctea de 374.772.622 litros anuales, lo que hace un promedio de 31.231.052 litros mensuales, con picos de producción en primavera.

La cantidad de tambos fluctúa en alrededor de 1.500, de los cuales unos 400 son tambos queserías que elaboran su propia producción o la de terceros a muy pequeña escala. Estos tambos se encuentran ubicados en dos cuencas lácteas, la Cuenca Oeste comprendida por los departamentos Paraná, Nogoyá, Diamante, Victoria y La Paz y la Cuenca Este que corresponde a Gualeguaychú, Tala, Colón, Gualeguay y Uruguay. No obstante existen tambos extracuencas en los departamentos San Salvador, Villaguay, Victoria, Federal y Concordia.

Entre Ríos es la cuarta provincia en importancia en producción de leche,

¹³ Provincia de Entre Ríos. Ministerio de Agricultura y Ganadería(2012) Situación Ganadera de la Provincia de Entre Ríos.

participando con el 3% en la producción total del país. En cuanto a la industrialización en Entre Ríos hay 116 empresas lácteas registradas de las cuales 12 captan el 80 % de la producción láctea. La evolución de la producción de leche en Entre Ríos se ha incrementado desde 2002, luego de las caídas sufridas entre los años 1999-2000 y 2001-2002, alcanzando 330.785.928 litros en el año 2006, y llegando a los casi 375 millones en 2012.¹⁴

Porcinos

En cuanto a **porcinos**, en Entre Ríos se encuentran instaladas 118 granjas porcinas comerciales, que agrupan un total de 7.000 cerdas madres. De estas granjas el 75 % se ubican en los departamentos de Paraná (56 granjas, 47,5 %), Villaguay (16 granjas, 13,5%) y La Paz (16 granjas, 13,5%). La faena provincial de cerdos se encuentra en alrededor de 61.000 cabezas al año, siendo la faena total aportada por la Provincia de Entre Ríos de unos 66.000 animales, el 2% de la faena nacional. Los establecimientos que están realizando faena en Entre Ríos son 15 (quince).

Citricultura

Esta actividad se localiza principalmente sobre la costa del Río Uruguay en los departamentos de Concordia, Federación y en el norte de Colón, y se caracteriza por la producción de naranjas, mandarinas, pomelos y limones. A partir del Censo Provincial Citrícola 2004 realizado por FECIER, existen 16.276.055 plantas y 1.779 productores citrícolas. Se estima que en promedio, cada productor, trabaja 23,6 hectáreas.

A continuación un gráfico que refleja la evolución de la venta de yemas certificadas por especie. Refleja una clara recuperación en naranja llegando a los niveles de 2007. En niveles inferiores, se observa aumentos en pomelo y especialmente en limón, este último cerca de 40.000. Se observan retrocesos en todas las especies menos en limón, la mayor caída corresponde a naranja con 37%. En el último año, la producción de limón llegó a cantidades similares a la de mandarinas.

¹⁴Provincia de Entre Ríos. Dirección de Estadística y Censos, UADER y Consejo Empresario de Entre Ríos.

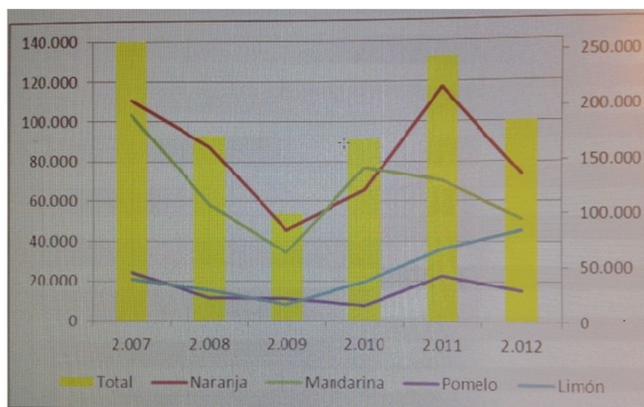


Fig. 11: Evolución de las entregas de yemas por especie (2007-12) (en unidades)
 Eje derecho volúmen por variedad, eje izquierdo volumen total.
 Fuente: CIR "El Alambrado" INTA

Expansión de la frontera agrícola en la provincia de Entre Ríos

La provincia de Entre Ríos como sucedió con las economías regionales, no quedó ajena al crecimiento en los últimos años de las exportaciones de oleaginosas y sus derivados. Esto fue posible debido al aumento de los precios internacionales y de la demanda de *commodities*, con lo cual se llegó a instalar una especialización fuertemente rentista basada en la producción de oleaginosas.

Dichas expansiones han competido y desplazan a la ganadería vacuna, al tambo y afectan a los montes nativos por su consecuente desaparición para destinarlas a cultivar soja.

En Entre Ríos la soja representa el 50 % de la producción de granos si se consideran los siete principales cultivos: arroz, sorgo, trigo, maíz, lino y girasol. Este cultivo ha tenido un crecimiento exponencial en superficie cultivada en nuestra provincia, por encima del ya espectacular desarrollo a nivel nacional, fundamentalmente a partir del año 1995. En ese año se sembraban 230.250 hectáreas, frente a las 1.36 millones de has. en la campaña 2013/2014.

El ciclo agrícola 2012/13 experimentó un crecimiento del área cultivada del 6% (es decir 75.230 ha); este aumento se relacionó directamente con la disminución del sorgo que pasó de 192.097 ha a 124.000ha.

En la campaña 2013/2014 área cultivada con la oleaginosa se posicionó en 1.363.200 ha, este hecho representó un crecimiento del 2,5% con respecto al ciclo 2012/13 y una expansión de 33.300 ha.

Del total el 84.8 % corresponde a soja de primera y el 15.2 % restante a soja de segunda.

El rendimiento promedio provincial se ubicó en 2.463 kg/ha, detectándose una variación positiva de 170 kg/ha, si se la compara con lo registrado el año pasado, lo cual equivale a un crecimiento del 7,4%. La mayor cantidad de hectáreas destinadas a la oleaginosa, el buen nivel de rendimiento logrado y el hecho de que no hubo mayores inconvenientes en la trilla arrojó como resultado una producción de 3.355.000 tn; generándose un crecimiento del 10,2% en base a lo informado en el ciclo anterior.

Campañas Agrícolas	Superficie	Variación (%)	Rendimiento Promedio (kg/ha)	Variación (%)	Producción	Variación (%)
2000/01	593.500	---	2.555	---	1.519.037	---
2001/02	810.800	36,6%	2.330	-8,8%	1.858.838	22,4%
2002/03	1.026.500	26,6%	2.354	1,0%	2.395.340	28,9%
2003/04	1.141.200	11,2%	1.927	-18,1%	2.190.806	-8,5%
2004/05	1.200.250	5,2%	2.376	23,3%	2.825.198	29,0%
2005/06	1.281.998	6,8%	1.933	-18,6%	2.478.509	-12,3%
2006/07	1.285.000	0,2%	2.587	33,8%	3.316.792	33,8%
2007/08	1.307.998	1,8%	2.288	-11,6%	2.979.275	-10,2%
2008/09	1.117.660	-14,6%	1.093	-52,2%	1.059.992	-64,4%
2009/10	1.308.786	17,1%	2.716	148,5%	3.554.684	235,4%
2010/11	1.312.350	0,3%	2.300	-15,3%	3.018.241	-15,1%
2011/12	1.254.670	-4,4%	2.120	-7,8%	2.660.154	-11,9%
2012/13	1.329.900	6,0%	2.293	8,2%	3.045.360	14,5%
2013/14	1.363.200	2,5%	2.463	7,4%	3.355.000	10,2%

Fig. 12: Evolución de la producción de soja en Entre Ríos
Fuente: http://www.bolsacer.org.ar/Fuentes/siber_cat.php?id=7,

La campaña 2013/14 se posiciona como la segunda de mayor importancia si se considera las toneladas logradas, ubicada levemente por debajo del ciclo agrícola 2009/10 que tuvo una producción de 3.554.684 tn.

Cabe mencionar que si bien el área implantada en el ciclo 2009/10 fue aproximadamente un 4% inferior a la del ciclo 2013/14, el rendimiento promedio provincial resultó 10% superior al logrado en la zafra que acaba de culminar.

“Otro efecto visible es la reducción en el número de explotaciones agropecuarias familiares (EAP's) y el aprovechamiento de economías de escala con base en el uso intensivo de capital fijo (maquinarias agrícolas). También se observa el avance de nuevas formas organizativas como los pools de siembra, que además de ser un negocio productivo, lo son de tipo financiero e impositivo, todo ello con impacto en la estructura agraria de la provincia. Por ejemplo, si se comparan los censos agropecuarios de 1988 y 2002, vemos que han desaparecido 5.555 EAP's (explotaciones agrícolas

productivas) en 14 años, a la vez que se ha incrementado en un 29 % el tamaño medio de la superficie en hectáreas por EAP.(En Entre Ríos)...que cuenta con suelos con una aptitud agroecológica ganadera, en las últimas dos décadas se observa un sostenido avance de la frontera sojera en base al uso del paquete tecnológico integral, desplazando a la mencionada actividad, afectando además los montes nativos, en base a un proceso de especialización sin la adecuada rotación en el uso del suelo y su degradación.”¹⁵

¹⁵Op. Cit. 10

Clima y agricultura

El clima, entendiendo a este en su sentido amplio o sin distinguir a este del estado medio del tiempo, juega un papel preponderante en la agricultura en general. Mayor aún es su incidencia en la agricultura extensiva y de secano que predomina en nuestro país y en la provincia de Entre Ríos en particular, como espacio geográfico en que se basa el desarrollo de esta tesis.

El tiempo afecta diariamente las actividades del agricultor. Este proyecta sus tareas según las condiciones climatológicas actuales y las que estima o espera, realiza pronósticos a corto plazo sobre la base de su experiencia e interpretando ciertos signos relativos al tiempo. Todo esto ayudado por información disponible en tiempo real vía Internet y hasta, inclusive, con propias estaciones meteorológicas simples de uso particular disponibles en el mercado. El productor organiza su calendario de cultivos de acuerdo a lo que conoce del lugar, siembra aprovechando las lluvias que humedecen bien el perfil y busca que la maduración de los granos coincida con un período de pocas precipitaciones para facilitar la cosecha.

El paso siguiente es conocer conceptos y detalles relacionados con el clima, el estado del tiempo, la meteorología, el ciclo del agua, la fenología de cultivos, la agrometeorología y otros conceptos que necesitamos precisar para vincular correcta y científicamente la producción agrícola al clima de una región. Esta vinculación será una parte central de nuestro desarrollo y nos permitirá contar con datos relevantes para el diseño de un producto financiero que contemple una cobertura eficaz ante la evolución adversa del clima y que resulte a la medida de los productores agrícolas de la zona.

Clima

Se lo define como el estado medio de la atmósfera, representado por el conjunto de los elementos y los fenómenos meteorológicos referidos a un período suficientemente largo, las variaciones periódicas y aperiódicas y el desarrollo normal del tiempo en el transcurso del año, en un lugar, región, continente, hemisferio o planeta.¹⁶

Se debe distinguir entre "estado del tiempo" y "clima" o sea el estado medio del tiempo. El clima de un país o de una región, es el tiempo que normalmente debería esperarse.

El hombre condiciona sus actividades al clima del lugar donde vive. Un agricultor en una región con un período libre de heladas por 90 días podrá dedicarse, por ejemplo, a cultivos resistentes a heladas ligeras.

Desde el punto de vista dinámico, el clima resulta de un conjunto de fenómenos meteorológicos que tienen lugar en la atmósfera y en la troposfera.

La atmósfera es una delicada cubierta de aire que permite el desarrollo de la vida y rodea al frágil planeta. De una forma u otra tiene influencia sobre todo lo que nos rodea, y está íntimamente relacionada con nuestras vidas.

La atmósfera presenta en cada momento unas características concretas de temperatura, presión atmosférica, humedad, precipitaciones, viento, etc. A este conjunto de características se le denomina tiempo atmosférico.

Sin embargo, el clima se suele definir como el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan una zona determinada en un periodo de tiempo amplio. En otras palabras, es el promedio del tiempo atmosférico que reina en una zona durante varios años.

La troposfera es el estrato atmosférico, es decir una parte de la atmósfera, más directamente en contacto con la superficie terrestre. Contiene la mayor parte de la masa atmosférica y alberga el 75 % del vapor de agua, por esta razón tienen lugar en él los llamados hidrometeoros¹⁷.

Además de los elementos antes mencionados, esta parte de la atmósfera contiene todo un conjunto de cuerpos y partículas que provienen de las emanaciones volcánicas, de procesos de combustión o de la respiración de los seres vivos, tanto

¹⁶Cátedra de Climatología Agrícola, Universidad Nacional de Entre Ríos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Apuntes 2010, <http://www.cicyttp.org.ar/climatologiafca/docencia/apuntes/tema1.pdf>

¹⁷Hidrometeoros: fenómeno meteorológico formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera. Las partículas acuosas pueden estar en suspensión, ser remontadas por el viento desde la superficie terrestre o ser depositadas sobre objetos situados en la atmósfera libre. Entre los principales se encuentran lluvia, llovizna, nieve, granizo, niebla, neblina, rocío, escarcha, chubasco y tromba.

animales como vegetales. Este estrato tiene una altura media de 12 km.; en los polos alcanza 6 o 7 km. y en el Ecuador unos 17 km.

En la troposfera tienen lugar una serie de fenómenos en el aire, que se manifiestan especialmente en la temperatura, la humedad y las condiciones barométricas¹⁸. Estos tienen un comportamiento sistémico durante el año, según las diferentes regiones, altura y otras condiciones atmosféricas. Además se influyen y condicionan recíprocamente.

Cada área de la superficie terrestre expuesta desde hace millones de años a la acción del calor, el agua, las lluvias, el hielo y los vientos, adquirió una configuración particular en el relieve y la cobertura biológica, adaptada a la sucesión de las condiciones meteorológicas durante el año.



El hombre se inserta en esta situación de equilibrio y lo manipula para su desarrollo. En efecto, puede recurrir a técnicas idóneas para defenderse de las condiciones ambientales adversas o desfavorables, y al mismo tiempo utilizar la variedad de esas condiciones en beneficio de su propia supervivencia.

Esto lo ha llevado a conocer la integración de los factores climáticos, fisiológicos y edáficos¹⁹ en el ambiente de la vegetación, pero especialmente en los cultivos, tratando que el crecimiento y la producción de éstos sean óptimos.

Por ello es importante analizar los elementos climáticos como radiación solar, temperatura, viento, humedad en los estratos de la atmósfera con vegetación, como así también arriba de la misma. Este ambiente en el que se desenvuelven las plantas, es decir, el ámbito ecológico particular que se establece en la interfase suelo-atmósfera en donde se desarrollan las plantas, se denomina fitósfera, y las condiciones meteorológicas asociadas con ella, fitoclima²⁰.

La climatología estudia el estado medio de la atmósfera, sus variaciones periódicas y aperiódicas (o fluctuaciones) para pronosticar condiciones futuras generales o a largo plazo.

¹⁸Barómetro: instrumento que mide la presión atmosférica. La presión atmosférica es el peso por unidad de superficie ejercida por la atmósfera. Esta tiene gran influencia en diferentes fenómenos climáticos.

¹⁹La edafología (del griego, edafos, "suelos", y *logía*, "estudio", "tratado") es una rama de la ciencia que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea. Dentro de la edafología aparecen varias ramas teóricas y aplicadas que se relacionan en especial con la física, la química y la biología.

²⁰Op. Cit 16

Las variaciones periódicas presentes en la marcha de los elementos son diarias, por efecto de la rotación de la Tierra, o anuales debido a la traslación de la misma.

Las variaciones aperiódicas producen alteraciones interdiurnas o de mes a mes, y se deben a la circulación de la atmósfera.

La climatología está relacionada prácticamente con todas las ciencias de la vida, sobre todo aquellas que como la ingeniería, la arquitectura y la agricultura, implican la interacción del hombre con la naturaleza y las alteraciones que produce.

Consideramos que los elementos meteorológicos están determinados o influenciados por las condiciones atmosféricas, geográficas y astronómicas o factores climáticos. Entre estos factores de influencia se encuentran:

- latitud
- longitud
- rotación de la tierra
- traslación de la tierra
- estado de la superficie de la tierra
- orografía
- circulación atmosférica
- corrientes marinas
- valles
- altura
- distribución tierra/mar
- vegetación
- planicies

No es tema de la presente tesis ahondar en definiciones de cada uno de estos factores que impactan y configuran a los elementos meteorológicos a observar, pero sí saber que ellos los definen, condicionan y caracterizan.

Los elementos meteorológicos comúnmente observados son:

- Temperatura: máxima (diaria, mensual, absoluta), media, mínima (diaria, mensual y absoluta)
- Humedad: relativa, tensión de vapor, punto de rocío
- Viento: dirección y velocidad
- Nubosidad: tipo y grado

- Precipitación: Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo, pero no virga²¹, neblina ni rocío, que son formas de condensación y no de precipitación.
- Presión atmosférica
- Heliofanía: el tiempo durante el cual una superficie recibe radiación solar directa
- Otros: por ejemplo tormenta de polvo y heladas.

La meteorología (del griego μετέωρον (meteoron): 'alto en el cielo', meteor; y λόγος (logos): 'conocimiento, tratado') es la ciencia interdisciplinaria, fundamentalmente una rama de la física de la atmósfera, que estudia el estado del tiempo, el medio atmosférico, los fenómenos allí producidos y las leyes que lo rigen.

Ya mencionamos que debemos distinguir entre las condiciones actuales y su evolución llamado tiempo atmosférico ó estado del tiempo, y las condiciones medias durante un largo período que se conoce como clima del lugar o región. En este sentido, la meteorología es una ciencia auxiliar de la climatología ya que los datos atmosféricos obtenidos en múltiples estaciones meteorológicas durante largo tiempo se usan para definir el clima, predecir el tiempo, comprender la interacción de la atmósfera con otros subsistemas.

En definitiva, podríamos asociar a la meteorología al corto plazo y la climatología al largo plazo.

El conocimiento de las variaciones meteorológicas y el impacto de las mismas sobre el clima han sido siempre de suma importancia para el desarrollo de la vida en general y la agricultura en particular.

La meteorología y la hidrología

La meteorología y la hidrología tienen puntos en común. El estudio de los fenómenos meteorológicos y de las consecuencias hidrológicas que acarrear, es realizado por la hidrometeorología. Esta es una rama de las ciencias de la atmósfera o meteorología y de la hidrografía que estudia la transferencia de agua y energía entre la superficie y la atmósfera. Estas transferencias se deben a la acción de factores atmosféricos, como el viento, la lluvia o cambios bruscos de temperatura.

Entre los temas de estudio de la hidrometeorología se encuentran:

²¹Virga: hidrometeoro que cae de una nube pero que se evapora antes de alcanzar el suelo. A grandes altitudes, la precipitación cae mayormente como cristales de hielo antes de que se funda y finalmente se evapore. Se debe fundamentalmente al calor de compresión debido al incremento de la presión atmosférica acercándose al suelo.

- El ciclo hidrológico o del agua.
- La dinámica de los procesos húmedos.
- La circulación atmosférica asociados con el agua de precipitación.
- Modelización numérica de fenómenos hidrometeorológicos.
- Análisis objetivo de los campos de precipitación medida por pluviómetros y radar.
- Proyectos en las redes de medición hidrometeorológicas y sistemas de medición e instrumentación de mesoescala y microescala²².
- Las estrategias teóricas, las estadísticas y la predicción numérica de la precipitación (lluvia, nieve, granizo, etc.).
- Las simulaciones por computador de la lluvia junto a los modelos de flujo de agua en la superficie.
- Los problemas urbanos de las inundaciones.
- La predicción de las precipitaciones en el corto y muy corto plazo.
- El acoplamiento de modelos atmosféricos para la precipitación, la capa límite planetaria y zonas de vegetación y urbana.
- El balance hídrico y la hidrología de superficie.
- La evaporación de los ríos, mares y desde las superficies del suelo.
- Transpiración de las plantas



Fig.13: El ciclo del agua

Fuente: <http://ga.water.usgs.gov/edu/wcpagesize/spanish.html>

²²La mesoescala en meteorología es el estudio de sistemas del tiempo atmosférico más pequeños que la escala sinóptica meteorológica, pero más grandes que la microescala y la escala de tormenta de los sistemas de nubes cúmulos. Sus dimensiones horizontales generalmente oscilan de cerca de 9 km a varios centenares de km. La meteorología en microescala es el estudio de los fenómenos atmosféricos de corto tiempo, de menor envergadura que los de mesoescala, cercanos a 1 km. o menos. Esas dos ramas de la meteorología son a veces agrupadas como "meteorología de mesoescala y de microescala" (MMM) y estudiados juntos como fenómenos menores que la escala sinóptica; tal que esos estudios generalmente son demasiado pequeños como para colocarlos en una carta sinóptica

Otros temas de estudio son las precipitaciones, el balance hídrico, la humedad del aire, la humedad del suelo. Los hidrólogos requieren conocer las precipitaciones para procurar un adecuado suministro a los embalses, para diseñar sistemas de riegos o para proponer obras de canalización con el fin de retener agua o extraerla de una zona y así impedir su acumulación.

El hidrólogo conoce la altura y el caudal de los ríos y arroyos, y requiere de los meteorólogos la información acerca de las lluvias, intensidad, duración y fundamentalmente buscan los mejores pronósticos a largo plazo.

Viene creciendo en cuerpo teórico y práctico la llamada agricultura hidrológica, que se define como:

“...un conjunto de prácticas y restricciones que se aplican a la agricultura para favorecer la capacidad hidrológica de los suelos, esto es, su capacidad de infiltrar y almacenar el agua de lluvia y/o del riego.”²³

¿Cuáles son los recursos hídricos disponibles? ¿Es la explotación actual equilibrada o avanzamos hacia la desertificación? ¿Representa la contaminación actual del agua un riesgo? ¿Podemos recuperar la cantidad y calidad de nuestros recursos? ¿Cuál es el impacto actual y futuro de estas cuestiones en el medio agrícola?

Esta clase de preguntas, entre otras, son las que ayuda a responder la hidrología relacionada con la actividad agrícola.

Fenología: conceptos y definiciones

La conexión entre los fenómenos periódicos que exteriorizan los seres vivos (vegetales y animales) y los elementos del clima, se estudia a través de la fenología. Fenología, del latín *phaenomenon* y ésta del griego *phainomenon*, que significa aparecer o manifestar, y *logo* que significa tratado o ciencia.

Otra definición nos dice que se trata de una rama de la ecología que estudia los fenómenos periódicos de los seres vivos y su relación con las condiciones ambientales, tales como la temperatura, luz, humedad y otros.²⁴

Las migraciones de las aves, las mudas de los animales, la nidificación, la postura de huevos, la secreción láctea en algunos mamíferos, son algunos ejemplos de fenómenos que ocurren en animales y que son objeto de estudio de la fenología

²³Zambrano Gómez, J. “Agricultura Hidrológica: Una respuesta creativa ante el cambio climático”, Marzo de 2012, visto en <http://agriculturahidrolologicajairogomez.blogspot.com.ar/2012/03/agricultura-hidrologica.html>

²⁴Ruggiero, R.A. (1967). *Fenología Vegetal y Animal*. Instituto de suelos y Agrotecnia, Tirada Interna N°4. INTA.

animal. En cuanto a los fenómenos vegetales: la brotación, floración, fructificación, aparición (cuajado) de frutos y su maduración, caída de hojas, entre otros.

Fenómeno es toda manifestación de un hecho. Se llaman fenómenos periódicos a las manifestaciones externas que se producen en animales o vegetales, con algunas variaciones, año a año y en las mismas épocas.

Las observaciones fenológicas en la agricultura son de suma importancia, ya que el conocimiento de las necesidades climáticas de una especie vegetal o determinada especie o raza animal, permite una mejor elección del tipo de producción a implementar en una zona o región. Es decir que, la observación y cuantificación de los distintos fenómenos animales y vegetales, que se relacionan con los elementos y factores climáticos, significan un paso en el conocimiento de las formas y metodologías que permitan un uso racional del medio ambiente en beneficio de la producción. Los vegetales, desde su nacimiento e inicio del crecimiento, presentan una actividad biológica que está determinada en su ritmo, acelerándose o retardándose, según la ocurrencia de fenómenos meteorológicos.

De las experiencias, observaciones y registros fenológicos se infiere que entre los factores que más inciden en los fenómenos periódicos de los vegetales se encuentran:

- la evolución de la temperatura,
- la variación en la duración del día, y
- el régimen pluviométrico: éste en particular nos interesa para el desarrollo de nuestro trabajo.

La fenología cuantitativa también llamada fenometría, así como la fenología y como una rama de ella, busca precisar la influencia de los factores ambientales sobre la evolución de los seres vivos, pero esta vez en forma cuantitativa. Ejemplo de esto son las medidas en volumen, longitud y peso de los frutos, cantidad de macollos en gramíneas, peso y tamaño en general de animales al nacer o en distintas etapas.

La planta es un verdadero sensor meteorológico complejo ya que no registra las variaciones de un solo elemento aislado, sino de todos los componentes climáticos que tienen influencia sobre su ciclo biológico.²⁵

El ciclo vital de todo ser vivo y por ende de los vegetales, implica el nacimiento, crecimiento, desarrollo, reproducción y muerte.

²⁵Planchuela Ravelo, A., Ravelo, A. C. y Pascale, A. J. (1987). *Seminario en Fenología Agrícola*, Apuntes. Quito, Ecuador.

El nacimiento, en la visualización de una nueva planta, puede generarse a partir de una semilla denominándose en ese caso germinación o a partir de una parte del vegetal, y en tal caso será brotación.

En su ciclo ontogénico²⁶, los vegetales experimentan cambios visibles o no y que están en estrecha relación con las condiciones ambientales y genéticas. A estos cambios podemos dividirlos en dos grandes grupos, crecimiento y desarrollo.

Definimos crecimiento como el aumento en número, tamaño o volumen de las células del vegetal y desarrollo como la diferenciación de las células de las plantas. Mientras crecimiento implica un cambio cuantitativo, desarrollo es un cambio cualitativo.²⁷

Otros conceptos a tener en cuenta

Rendimiento: es la producción (qq/ha o kg/ha de grano, ton/ha de forraje) que genera un determinado cultivo en un ciclo, bajo las condiciones que se registraron en ese mismo período.

Productividad: es la producción que potencialmente podría alcanzar un cultivo bajo condiciones óptimas para su desarrollo.

Resistencia: es la capacidad que posee un cultivo, variedad o híbrido para soportar diferentes condiciones adversas para su desarrollo, sean meteorológicas, enfermedades u otras, sin llegar a sufrir daños mayores en su rendimiento y calidad.

Rusticidad: Es la capacidad de adaptación (sin mayores inconvenientes) que presenta una variedad o híbrido de un cultivo en aquellas zonas donde las condiciones no sean del todo favorables.

Clima: crecimiento y desarrollo vegetal

Los elementos y factores del clima que mayor influencia ejercen sobre los vegetales, como ya mencionamos, son:

- marcha de la temperatura
- longitud del día
- precipitaciones

Es decir que la producción vegetal está relacionada a la reacción entre la planta y el medio. Existen elementos bioclimáticos que ejercen influencia sobre el crecimiento, ellos son la temperatura y el agua. También existen elementos bioclimáticos que ejercen influencia sobre el desarrollo, allí está la temperatura y la duración del día.

²⁶Ontogenia: desarrollo del individuo desde el óvulo fecundado hasta la madurez. En vegetales, desde la semilla hasta su madurez plena.

²⁷Op. Cit 24

Elementos Bioclimáticos para el crecimiento y el desarrollo: agua y temperatura

1- Agua: es el factor determinante del rendimiento. Existe un mínimo y un máximo, siendo posible entre estos límites, la acción combinada con otros elementos y de ese modo definir el ritmo de crecimiento y el consiguiente desarrollo. También es determinante la distribución del agua caída en las diferentes etapas del crecimiento.

Humedad del suelo y crecimiento de las plantas

El rol de la humedad del suelo en el ciclo hidrológico debe ser evaluado correctamente, para la más amplia comprensión de las interrelaciones entre la temperie y el crecimiento de las plantas. Tales estudios son de importancia práctica, puesto que sus resultados pueden ser aplicados a muchos problemas agrícolas sensibles a las condiciones ambientales (temperie), donde la humedad es de fundamental importancia para explicar las variaciones en los productos agrícolas, la estimación de rendimiento de los cultivos sobre una base previa a la cosecha, y la definición de zonas agroclimáticas.

Casi todos los procesos que ocurren en las plantas se ven afectados por el agua. Pueden distinguirse cuatro funciones principales en las que el agua juega un papel muy importante:

- a) el agua es el constituyente principal del tejido vegetal fisiológicamente activo;
- b) el agua es un reactivo en la fotosíntesis;
- c) el agua es el solvente en el cual las sales, azúcares y otras materias solubles se mueven de célula en célula, y de una parte a otra de la planta;
- d) el agua es un elemento esencial para la turgencia²⁸ de la planta, necesaria para el agrandamiento y crecimiento de las células.

Al examinar la relevancia fisiológica de las relaciones internas del agua en el rendimiento de los cultivos, Statyer (1969) afirmó que solo se pueden hacer dos grandes generalizaciones válidas²⁹:

- 1) en la mayoría de los cultivos, el crecimiento y desarrollo avanzan totalmente inalterados y el rendimiento del cultivo es máximo sólo cuando se mantiene un nivel de agua alto a lo largo de toda la vida del cultivo.

²⁸En biología, se denomina turgencia (del latín turgens- turgentis: hinchar) a la presión ejercida por los fluidos y por el contenido celular sobre las paredes de la célula. Las plantas dependen de la "presión de turgencia" para la elongación de sus células, lo cual se traduce en aumentar su color verdoso. Y usan este fenómeno para regular la transpiración.

²⁹ Extraído de <http://www.cicytpp.org.ar/climatologiafca/docencia/apuntes/tema7.pdf>

2) los efectos nocivos de las deficiencias de agua son generalmente más pronunciados en tejidos y órganos que se hallan en los períodos de desarrollo y crecimiento más rápidos.

Del segundo punto podemos deducir que hay períodos de crecimiento en que hay relativamente mayor o menor sensibilidad a la deficiencia hídrica, en lo que concierne al rendimiento económico de los cultivos. Más adelante determinaremos precisamente este período para el caso de la soja en la provincia de Entre Ríos.

2- Temperatura: la temperatura del aire es un elemento bioclimático que favorece o promueve el aumento de la masa vegetativa. El crecimiento de una planta se detiene cuando la temperatura del aire desciende por debajo de un cierto valor mínimo o excede un cierto valor máximo.

Entre estos límites existe un rango óptimo, en el cual la tasa de crecimiento es mayor.

Por otro lado, como ya veremos cuando expliquemos el fotoperíodo, la longitud del día es el principal factor de control de la floración.

Ciclos ontogénicos en los vegetales

Las plantas pueden ser clasificadas según su ciclo ontogénico³⁰ en anuales, bianuales o perennes.

Anuales: aquellas plantas que completan su ciclo ontogénico en el transcurso de un año (365 días) o en menos de un año. A su vez, y según su ubicación geográfica, las plantas anuales que se encuentran en latitudes donde las estaciones están bien determinadas (ejemplo: Paraná, 31° 47' Lat. Sur) se clasifican según las exigencias calóricas en cultivos de invierno, primaverales y estivales.

Siendo los cultivos de invierno aquellos que tienen exigencias en bajas temperaturas, resistencia al frío o una combinación de ellas. Estas plantas son sembradas en otoño, transcurren el invierno en forma vegetativa, florecen y fructifican en primavera. Ejemplo de ellas son el trigo, colza y cebada. La llamada cosecha fina.

Las primaverales tienen requerimientos más altos en temperatura que las invernales pero menos que las estivales y a su vez, menor resistencia al frío. Generalmente

³⁰La ontogenia es la historia del cambio estructural de una unidad sin que ésta pierda su organización. Este continuo cambio estructural se da en la unidad, en cada momento, o como un cambio desencadenado por interacciones provenientes del medio donde se encuentre o como resultado de su dinámica interna. En biología es el estudio de un organismo desde su nacimiento y hasta su muerte.

presentan un ciclo vegetativo muy breve, cosechándose en verano. Un ejemplo son los trigos de ciclo corto también llamados primaverales.

En cuanto a las plantas estivales, tienen alto requerimiento calórico y por ende no tienen resistencia a bajas temperaturas. Las mismas se siembran en primavera, (generalmente en períodos libres de heladas) y se cosechan una vez terminado el verano, son los ejemplos más característicos la soja, sorgo y maíz.

En las latitudes ecuatoriales donde las diferencias térmicas no son muy notorias, las estaciones están determinadas por las precipitaciones; es decir que los cultivos se sembrarán o implantarán según las necesidades hídricas de los mismos y la topografía (valles protegidos, zonas altas, laderas de cerro, etc.) que presente las condiciones de temperatura que satisfagan las necesidades calóricas de las plantas.

Bianuales: no es muy común en las plantas cultivadas y son aquellas que vegetan durante un año o más, y luego florecen y fructifican en algún momento del segundo año. El caso más conocido es la remolacha.³¹

Perennes: se denomina de esta forma a los vegetales que requieren tres o más años para completar su ciclo ontogénico. A su vez pueden dividirse en plantas de:

- Un solo ciclo perteneciendo a éstas aquellas que durante varios años solamente vegetan y fructifican una sola vez antes de fenecer. Casos típicos son la pita, bambú, banano y caña de azúcar.
- De ciclo permanente, son aquellas plantas que repiten la floración y fructificación todos los años, siempre que hayan satisfecho sus necesidades para ello. Los árboles forestales y frutales son los ejemplos más típicos de esta categoría.

Fases en los seres vivos

Se denomina fase a la aparición, transformación, o desaparición rápida de los órganos de un ser vivo. Las fases correspondientes al mundo vegetal se denominan fitofases y zoofases las del mundo animal. Ejemplos de fitofases son la tuberización, encañazón, panojamiento y caída de frutos.

Se acostumbra también definir las fases como vegetativas o reproductivas, y cuando se manifiestan exteriormente son designadas como fases visibles, tales como

³¹La remolacha azucarera tiene un ciclo bianual, durante el primer año forma la raíz y constituye las reservas. En el transcurso del segundo año aparecen sus flores agrupadas en espigas en la extremidad de los tallos.

floración, caída y follaje, entre otras. Las fases invisibles, por ejemplo germinación y tuberización, son aquellas que no se pueden apreciar a simple vista.

Una gráfica de distribución normal como la expuesta en la figura 14, ilustra la frecuencia con que los individuos o plantas se encuentran en alguna de las fases y se utiliza para definir la condición de inicio, plenitud o fin de fase.

Duración de fase es la cantidad de tiempo, expresada generalmente en días, que transcurre entre el comienzo y el fin de una fase.

Durante las observaciones fenológicas se toma el siguiente criterio:

Inicio de fase: sucede una aparición, desaparición o transformación ininterrumpida y en aumento de algún órgano. Comienza un proceso que es continuo y que en pocos días se hace generalizado en la población en estudio. El porcentaje de plantas que presentan la fase observada alcanza o supera el 20 %.

Plenitud de fase: el momento en que el fenómeno tiene su máxima intensidad y el porcentaje alcanza al menos el 50 % de los individuos que se encuentran en la fase.

Fin de fase: es la aparición, desaparición o transformación de los últimos órganos de la fase, sin interrumpir la continuidad del proceso. El porcentaje de individuos observados superan el 80 % de la fase en cuestión.

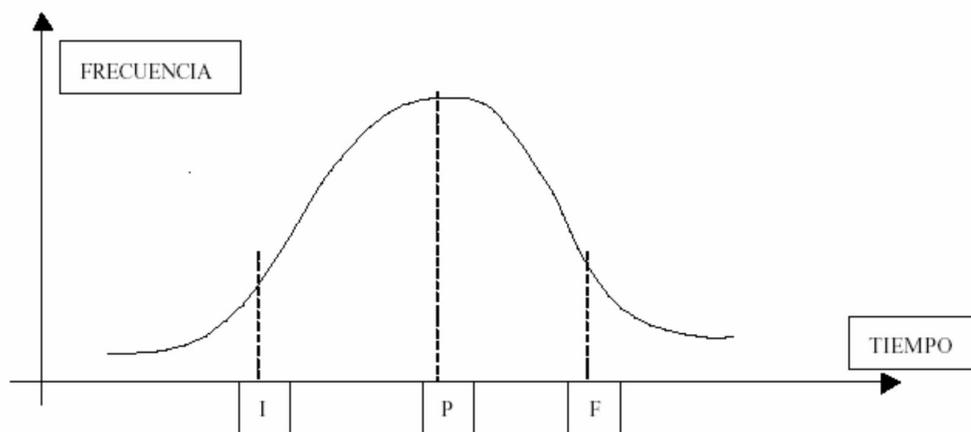


Fig. 14: Distribución del número de plantas en las fases fenológicas

Fuente: Cátedra de Climatología, Fac. Cs. Agronómicas, UNER

Se denomina energía de fase a la rapidez que expresan los individuos en desarrollar una fase. Expresa, además, el grado de satisfacción que la misma ha logrado en sus necesidades meteorológicas durante el período.

Las lluvias o precipitaciones son el elemento meteorológico que analizaremos en particular. Si las lluvias son las adecuadas para la fase que esté atravesando el cultivo, la energía de fase obviamente será óptima, favoreciendo al mismo en términos de productividad.

¿Qué significa esto? Si la ocurrencia de la fase no presenta alteraciones o anomalías respecto a lo observado y medido en años anteriores para la especie, se habla de fase normal. Si se suceden fases normales en el ciclo ontogénico, se puede predecir un rendimiento favorable y eventualmente un óptimo productivo para la zona.

El tiempo transcurrido entre una y otra fase consecutivas, se denomina subperíodo. Es en estas etapas donde los requerimientos ambientales se hacen más importantes. Se considera que los puntos críticos y límites que fijan los rendimientos, tienen máxima influencia en los días previos a la ocurrencia de las diferentes fases. Las exigencias meteorológicas de los vegetales son distintas a lo largo de su vida, pero se acepta generalmente que en los subperíodos (F1,..., F(n+1)) éstos requerimientos son relativamente constantes.³²

Siembra	F1	F2	F3	F4	F(n+1)	Cosecha
	Subperíodo..... Subperíodo					

Las observaciones fenológicas permitirán identificar y valorar aquellos fenómenos periódicos que producen variaciones en el crecimiento y desarrollo, así como también los daños producidos por fenómenos meteorológicos adversos. Si se disponen en forma simultánea datos meteorológicos, fenológicos y fenométricos, así como las observaciones acerca del estado de un cultivo determinado en una zona o región, se podrá predecir el comportamiento antes de la terminación del ciclo.

Observaciones fenológicas según escalas decimales

Introducción

En el ciclo de vida de una célula, órgano, planta o cultivo transcurren dos tipos de procesos o grandes cambios simultáneos e interdependientes: el crecimiento y el desarrollo.

Como ya vimos, el crecimiento involucra aumento de tamaño (área, volumen, masa), mientras que el desarrollo es la sucesión progresiva de estados diferenciados fisiológica y/o morfológicamente.

³²Extraído de <http://www.infoagro.com/frutas/fenologia.htm>, Mercedes de Azkues, del INIA de Venezuela (INIA-CENIAP-IIRA-Agroclimatología) presenta un documento sobre "La Fenología como herramienta en la Agroclimatología".

A nivel de cultivo, el desarrollo involucra la sucesiva generación de estructuras vegetativas o reproductivas.

Ambos procesos, crecimiento y desarrollo, se encuentran bajo control genético y están modulados por factores ambientales. Consecuentemente, el patrón de crecimiento y desarrollo fenológico puede diferir entre variedades de una especie y, para una variedad dada, con las condiciones ambientales. La temperatura y el fotoperíodo³³ son los factores ambientales que tienen mayor influencia sobre el desarrollo de los cultivos. Estos factores son tan importantes que, algunas cuestiones agronómicas básicas, tales como qué, cómo y cuándo sembrar, están directamente dictados por los requerimientos térmicos y fotoperiódicos de los cultivos.

En relación al objeto de esta tesis, creemos importante destacar que varios autores coinciden en que en los cultivos trigo, girasol y soja, el patrón de desarrollo fenológico es el carácter varietal más importante en la adaptación de los cultivos a ambientes con problemas de deficiencias hídricas.

Las observaciones fenológicas en la agricultura son de suma importancia, ya que el conocimiento de las necesidades ecológicas de una especie vegetal permite una mejor elección del tipo de producción a implementar en una zona o región. Es decir que, la observación y cuantificación de los distintos fenómenos de los vegetales que se relacionan con los elementos y factores climáticos, significan un paso en el conocimiento de las formas y metodologías que permitan un uso racional del medio ambiente en beneficio de la producción.

El término fenología se cree tuvo su primer uso por el botánico belga Charles Morren en 1958. Sin embargo, la observación de eventos fenológicos data de varios siglos atrás en la antigua China, donde se desarrollaron calendarios fenológicos, siglos antes de Jesucristo.

Desde hace más de 200 años algunos agricultores de los Estados Unidos de Norteamérica iniciaron sus registros de las fechas de siembra, emergencia, foliación, caída de hojas, y otros, de muchas especies de plantas. Luego del desarrollo del termómetro se hizo posible correlacionar estas etapas del desarrollo con el clima, especialmente con la temperatura y humedad. En 1918 Andrew Hopkins estableció

³³Se denomina fotoperíodo al conjunto de procesos de las especies vegetales mediante los cuales regulan sus funciones biológicas, como por ejemplo su reproducción y crecimiento, usando como parámetros la alternancia de los días y las noches del año y su duración según las estaciones y el ciclo solar. El fotoperíodo, por lo tanto, son los cambios de iluminación que reciben las plantas, que pueden modificar su germinación. Gilbert, S. F. (2006) *Biología del Desarrollo*, (7° ed.). Buenos Aires: Media Panamericana.

la ley Bioclimática, ampliada en 1938, donde se recomienda el uso de observaciones fenológicas en lugar de observaciones meteorológicas ya que las primeras integran los efectos del microclima y los factores edáficos en la vida de las plantas, de tal forma que otro instrumento no lo puede hacer.

Escalas fenológicas

Son escalas que señalan, mediante la observación de signos macroscópicos, como la antesis, y microscópicos, como la iniciación floral, los estadios relevantes del ciclo del cultivo. Para un cultivo anual los estadios normalmente considerados son siembra, emergencia, iniciación floral, antesis, madurez fisiológica y madurez de cosecha.

Dada la diversidad de intereses y objetivos, cada cultivo cuenta con varias escalas fenológicas.

Otro aspecto relevante de destacar para esta tesis es que se puede definir con relativa precisión el estado fenológico de una planta individual, pero para la descripción de un cultivo se debe tener en cuenta la variación entre las plantas. Normalmente se considera que se alcanza un determinado estado cuando el 50% de las plantas se encuentran en él.

Para los cultivos tradicionalmente realizados en nuestra provincia y en la región agrícola de nuestro país, las escalas fenológicas de mayor aceptación son:

- Trigo: Escala de Zadocks
- Soja: Escala de Fehr et al.
- Maíz: Escala de Ritchie y Hanway
- Girasol: Escala de Schneiter y Miller

Todas éstas se basan en signos claros y comparables mediante escalas visuales de los cultivos e involucran tanto procesos de desarrollo como de crecimiento para describir los diferentes estados.

Esta particularidad es importante al analizar los estados y procesos de desarrollo junto a los factores climáticos que los regulan y modifican. Los estados pueden modificarse por el crecimiento, dependiendo en este caso de la temperatura como principal factor regulador, o por ejemplo pueden modificarse por la diferenciación de estructuras reproductivas, actuando como reguladores tanto la temperatura como el fotoperíodo.

Específicamente para la soja, pues sobre este cultivo trabajaremos el producto financiero que proponemos, se emplea con mayor frecuencia la escala de Fehr, cuyas particularidades describimos a continuación.

Escala de Fehr

A los fines prácticos se considera, en la descripción de esta escala, una soja de hábito de crecimiento indeterminado de grupo de madurez 3. Esta escala distingue dos estados principales, uno vegetativo (V) y otro reproductivo (R).

En este cultivo se produce una superposición de los estados vegetativos con los reproductivos. Con respecto a esta característica cabe aclarar que la transición del estado vegetativo al reproductivo para trigo, maíz y girasol es marcado: la diferenciación de estructuras vegetativas cesa cuando el ápice se transforma en reproductivo. En cambio en la soja el cambio es más gradual y coexisten en el tiempo meristemas vegetativos y reproductivos. Esta característica hace que se denomine a la soja como determinada o indeterminada según la magnitud de la superposición de estados vegetativos y reproductivos.

Estados de desarrollo

Vegetativos

- Ve: Emergencia
- Vc: Cotiledones
- V1: 1º nudo
- V2: 2º nudo
- V3: 3º nudo
- Vn: n-simo nudo

Reproductivos

- R1: Comienzo floración
- R2: Floración en nudo n-1
- R3: Vaina de 5 mm de longitud en nudo > n-4
- R4: Vaina de 20 mm de long en nudo > n-4
- R5: Comienzo de llenado de granos en nudo > n-4
- R6: Semillas verdes de tamaño máximo en nudo > n-4
- R7: Comienzo de madurez
- R8: Madurez plena

Estados vegetativos:

En la emergencia se observa el epicótilo³⁴ y los cotiledones³⁵, ambos empujados por el hipocótilo³⁶ curvado hacia abajo. Cuando los cotiledones emerjen, el cultivo ha alcanzado el estado de Ve. Luego el hipocótilo se endereza y detiene su crecimiento, desplegándose los cotiledones.

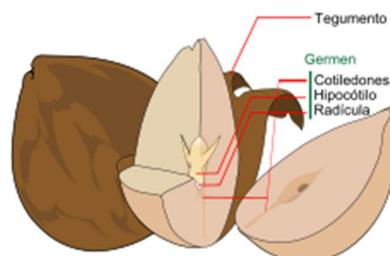


Fig. 15: Partes de una semilla. (el cotiledón está en el germen)



Fig. 16: Plántula en estado VC

Para identificar el estado vegetativo se considera la hoja que se encuentra totalmente desplegada. Para que una hoja se pueda considerar como desplegada los bordes de las hojas no deben tocarse entre sí.

Estados reproductivos:

La entrada a la fase reproductiva se caracteriza por el cambio de estado de un meristema axilar, progresando hacia los restantes meristemas y deteniendo la diferenciación de estructuras vegetativas recién cuando alcanza el meristema apical. Es importante relacionar el desarrollo de estructuras vegetativas (hojas) con el

³⁴En Botánica, el epicótilo es la parte del eje del vástago que, en el embrión, se encuentra situado por encima de la inserción de los cotiledones. En otras palabras, se trata del primer entrenudo de una planta.

³⁵En botánica, los cotiledones (κοτυλῶδών: Kotulédón, 'huevo de un corte') son las hojas primordiales constitutivas de la semilla y se encuentran en el germen o embrión.

³⁶Hipocótilo es el término botánico usado para referirse a una parte de la planta que germina de una semilla. Cuando se produce la embriogénesis, a medida que el embrión crece durante la germinación, envía un brote (la radícula), que se convertirá en la raíz primaria al penetrar el suelo. Tras la salida de la radícula, el hipocótilo emerge elevando el ápice de la plántula (y normalmente también la envoltura de la semilla) sobre el nivel del suelo, llevando las hojas embrionarias (llamadas "cotiledones") y la "plúmula", que da origen a las primeras hojas verdaderas. El hipocótilo es el primer órgano de expansión de la plántula, y se desarrolla hasta formar su tallo.

³⁷Dentro de los tejidos vegetales, los tejidos meristemáticos (del griego μεριστός, "divisible") son los responsables del crecimiento vegetal. La planta posee regiones embrionarias más o menos perennes, de las cuales se producen periódicamente nuevos tejidos y órganos. El meristema apical del tallo, situado en el apico de las plantas, es un tipo de meristema, ubicado en la zona de división y expansión celular dando origen a todos los tallos o ejes secundarios, hojas y flores.

rendimiento del cultivo, puesto que cada nudo es un sitio de potencial desarrollo de vainas. También hay que considerar que la inducción floral en la soja se acelera con días de bajo fotoperíodo, condición que limitaría el desarrollo de las estructuras vegetativas por un rápido cambio del meristema a un estado reproductivo.

Es importante mencionar que la soja posee una variada respuesta al fotoperíodo. Esto ha llevado clasificar las variedades en grupos de madurez que van desde el grupo "00" hasta el "X", pasando por los valores intermedios del 1 hasta el 10. A mayor número, mayor es la sensibilidad al fotoperíodo, así es que, por ejemplo, florecen aun con días cortos.

Cuando el frente de floración alcanza el nudo n-1 se define el estado fenológico R2. En cuanto al estado R3, este se logra cuando alguno de los 4 nudos superiores con una hoja totalmente expandida presenta una vaina de 5mm de longitud. Es en este período donde factores estresantes para el cultivo pueden reducir el número de vainas, pero la pérdida puede ser compensada con la formación de nuevas flores y frutos.



Una vaina de 2 cm. En uno de los 4 nudos superiores (R4)

Fig.17: Planta de soja en estado R4

Para alcanzar el estado R4 la planta debe desarrollar una vaina de 20mm en cualquiera de los 4 nudos superiores del tallo principal con una hoja completamente desarrollada. Cuando comienza el período efectivo del llenado de los granos, las vainas ya han alcanzado su máximo tamaño.

El estado R5 se alcanza cuando una vaina situada en algunos de los 4 nudos superiores del tallo principal posee semillas de 3mm de longitud. Aproximadamente en el estadio 5,5 (intermedio entre estadio 5 y 6) la planta alcanza la mayor altura, área foliar y número de nudos.

En R6 las vainas superiores del tallo principal tienen semillas que ocupan completamente la cavidad de la vaina. El estado R7 corresponde a la madurez

fisiológica de las primeras vainas, mientras que R8 corresponde a la madurez de cosecha.

El período más crítico para la determinación del rendimiento comienza en R3-R4 y se extiende hasta R6.

Cualquier deficiencia en humedad desuelo, nutrientes, luz, defoliación por orugas, enfermedades foliares, ataque de chinches, entre otras que se extienda desde aquí y hasta R6, repercutirá en el rendimiento.

El período R4,5 a R5,5 es especialmente crítico pues la floración se completa y las vainas y semillas pequeñas pueden abortar bajo condiciones ambientales no adecuadas.

La reducción del rendimiento se debe principalmente a la caída en el número de vainas por planta. Si bien bajo condiciones favorables para el cultivo luego de R5,5, el peso de los granos puede compensar en parte la caída del rendimiento ocurrida durante el período crítico. De todos modos esta compensación está limitada genéticamente.

El ritmo de envejecimiento de la planta entre R1 y R5, 5influirá directamente en la capacidad del cultivo de compensar cualquier situación de stress.

La figura 18 muestra el crecimiento y los componentes del rendimiento que se determinan en cada estado, junto a los factores climáticos que ejercen mayor influencia.

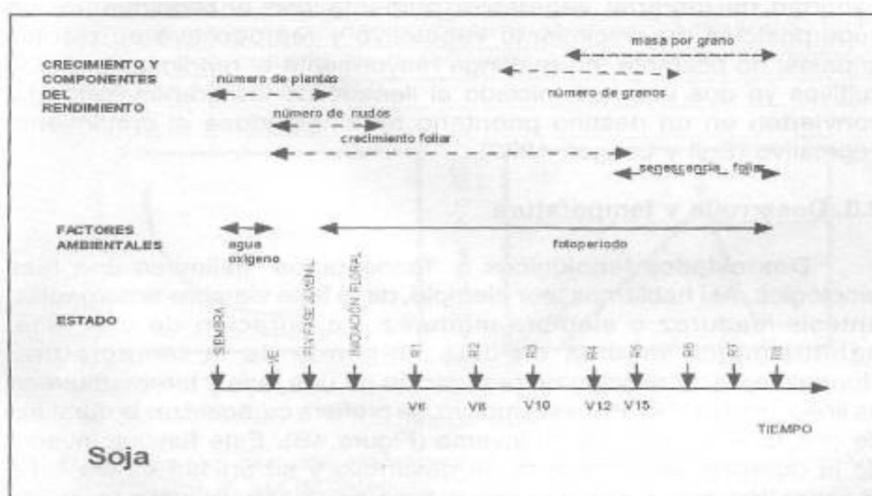


Fig. 18: Componentes del rendimiento determinados en cada estado fenológico de la soja junto a los factores climáticos de mayor influencia.

Fuente: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Andrade y Sadras, 2000

La semilla alcanza la madurez fisiológica cuando ésta finaliza la acumulación de peso seco y generalmente junto con la vaina van perdiendo su coloración verde. La semilla en este momento contiene un 60 % de humedad.

R8- Maduración completa: El 95 % de las vainas de la planta han alcanzado el color de madurez. Se necesitan luego de R8 cinco a diez días de tiempo seco (baja humedad relativa ambiente), para que las semillas reduzcan su humedad a menos del 15 %.

Fotoperiodismo

Casi toda la energía captada por la tierra se consume en los procesos físicos que generan los fenómenos meteorológicos como viento, corrientes marinas, evaporación, precipitación, nubosidad. Menos del 1 % del promedio anual de la radiación solar (RS), corresponde a la usada en la fotosíntesis de los diversos sistemas biológicos del planeta.

La agricultura es en esencia, la explotación de la energía solar por el hombre, la cual es posible gracias al aporte de agua y minerales del suelo que sirven de sostén básico del vegetal.

El efecto de la duración de la longitud del día sobre la floración fue descubierto hace unos 70 años por dos investigadores del Departamento Norteamericano de Agricultura (U.S.D.A.), W. W. Garner y H.A. Allard. Encontraron que tanto la variedad de tabaco (*Nicotianatabacum*) Maryland Mammoth como la variedad de soja (*Glycinemax*) Biloxi no florecían a menos que la longitud del día fuera más corta que un valor crítico de horas de luz. Garner y Allard denominaron a este fenómeno fotoperiodismo.

Las plantas que florecen solamente bajo ciertas condiciones de luminosidad dependientes de la longitud del día se denominan fotoperiódicas. El fotoperiodismo es la respuesta biológica a un cambio en las proporciones de luz y oscuridad que tiene lugar en un ciclo diario de 24 horas (circadianos).

La longitud del día es el principal factor de control de la floración. Garner y Allard consiguieron probar y confirmar su descubrimiento con otras muchas especies de plantas.

Encontraron que las plantas son de tres tipos denominados plantas de día corto (PDC), plantas de día largo (PDL) y plantas de día neutro (PDN).

Una PDC es una planta que responde a una longitud del día menor que un valor crítico. Ejemplos PDC son el café, las fresas, las lentejas de agua, la caña de azúcar, entre otras.

Una PDL es una planta que responde a una longitud del día superior a un valor crítico y florecen principalmente en verano, sólo lo hacen si los períodos de iluminación son mayores que un valor crítico. La soja producida en nuestra región, la espinaca, algunas variedades de patata, algunas variedades de trigo, los gladiolos, los lirios y la lechuga son ejemplos de PDL.

Las PDN florecen sea cual sea la longitud del día. Ejemplos de PDN son el pepino, el girasol, el tabaco, el arroz, el maíz y el guisante.

Hay que tener claro que las designaciones día corto y día largo son puramente fisiológicas.

Exigencias y tolerancias meteorológicas de los cultivos durante fases y subperíodos

El conocimiento de la influencia del medio ambiente (especialmente en lo referente a temperatura, precipitaciones y radiación) en el crecimiento y desarrollo de los vegetales, es de vital importancia en el manejo de cultivos agrícolas. Los requerimientos específicos varían con la especie y con las fases y subperíodos en que la misma se encuentre.

Por ejemplo, con respecto a la temperatura, sabemos que las plantas viven en dos medios: en el aire cercano a la tierra y en la capa superior del suelo. Sin embargo, el suelo es el único medio en el que viven la mayoría de las plantas en su primera etapa.

La temperatura de suelo puede ser un factor limitante para la germinación de la semilla, crecimiento de las raíces, desarrollo de tubérculos, descomposición de la materia orgánica dentro del suelo y por lo tanto para la cantidad de CO₂ que pasa del suelo a la capa planta-aire y de ésta a la atmósfera. Las condiciones climatológicas en el suelo y en el aire están íntimamente relacionadas.

En climas con estación fresca, las temperaturas mínimas dadas definen las fechas de siembra. El manejo del suelo que da por resultado un aumento de temperatura durante la primavera permite una siembra temprana. Se ha demostrado que un pequeño aumento de la temperatura del suelo, por encima de la temperatura mínima de germinación, da como resultado un importante acortamiento de la emergencia.

Pero la reducción del tiempo es mucho menor a temperaturas más elevadas, inclusive peligrando el nacimiento mismo de la planta.

Los vegetales tienen exigencias meteorológicas específicas para cada fase, y las mismas no cambian gradualmente durante el ciclo ontogénico. Normalmente al finalizar una fase las exigencias varían bruscamente y se mantienen constantes durante el subperíodo hasta la fase siguiente. De esto se desprende que las exigencias cambian con los subperíodos y que no hay que generalizar al referirse a ellas.

A esta altura cabe destacar que las necesidades de agua de los cultivos, aspecto central analizado para la construcción del instrumento financiero que proponemos, se origina en el agua perdida por transpiración de las plantas y la evaporada directamente del suelo, fenómenos a los que se denomina: evapotranspiración del cultivo (ETC).

Los valores de consumo que se obtengan, sin limitaciones de agua en la zona explorada por las raíces, van a depender de la demanda atmosférica, de la duración del ciclo del cultivo y del área foliar desarrollada por éste.

A medida que el cultivo alarga su ciclo, aumenta la cantidad total de agua consumida. El largo del ciclo de un cultivo variará fundamentalmente con la fecha de siembra y las características genéticas del cultivar.

La demanda atmosférica es sin duda un factor de gran importancia en determinar la cantidad de agua que requiere un cultivo para su crecimiento y desarrollo. Esta demanda dependerá de la radiación incidente, de la temperatura, de la humedad relativa del aire y del viento. Al aumentar la demanda atmosférica, las plantas evapotranspiran una mayor cantidad de agua, hasta un cierto límite fijado por el agua de sus hojas.

Casi toda el agua transpirada por un cultivo herbáceo pasa a través de la superficie de sus hojas. De tal manera que, a medida que aumenta el área foliar, aumenta linealmente el consumo de agua del cultivo para una misma demanda atmosférica, hasta alcanzar un cierto valor que produce la cobertura casi total del suelo, después del cual incrementos en el área foliar producen pequeños aumentos en el consumo de agua.³⁸

³⁸Andriani, J. (2001) Consumo de agua de los cultivos en el sur de Santa Fe. En *Para mejorar la producción 18, Campaña 2000-2001: soja*. (pp. 31-33). INTA Oliveros.

Por ejemplo, en sistemas de producción bajo riego es de gran importancia conocer la cantidad de agua que consume un cultivo a lo largo de su ciclo, para programar las actividades de riego. Además, en condiciones de riego suplementario es necesario conocer el consumo diario de cada cultivo para determinar las necesidades totales en cada momento del año calculando la superposición de demanda de los cultivos intervinientes en el sistema productivo.

Esto permite determinar con cierta exactitud la superficie máxima operable con un determinado tipo de equipo de riego y el caudal de agua disponible.

Reservorio de agua³⁹

“Cualquier cultivo de soja debe disponer diariamente de agua para satisfacer la demanda atmosférica, es decir, su consumo diario. El suelo es el único reservorio de agua que dispone la planta; el volumen de suelo explorado por las raíces es el que determina la cantidad de agua potencialmente disponible para el cultivo.

En su gran mayoría, los suelos agrícolas de la pampa húmeda son franco-limosos y pertenecen al gran grupo de los Argiudoles, Hapludoles y Haplustoles. El primero posee suelos de textura más fina, con horizontes de alto contenido de arcilla, mientras que los otros dos agrupan suelos de textura más gruesa.

Existe una estrecha relación entre la textura y las constantes hídricas del suelo, siendo éstas las que establecen los límites de agua disponible para los cultivos. La capacidad máxima de almacenaje de agua disponible para las plantas en el suelo, es de alrededor de 160 y 155 mm. de agua para el primer metro de suelo y de 300 y 255 mm. para el total de 2 metros, en los Argiudoles y Hapludoles, respectivamente.

Sólo el 50% de la cantidad máxima disponible de agua en el suelo (A.U.M.: agua utilizable máxima), es fácilmente extractable. El 50% restante es utilizada por la planta bajo condiciones de estrés hídrico, cada vez más intenso a medida que disminuye su contenido. Por lo tanto, el límite de

³⁹Andriani,J, (1998) Estrés Hídrico en Soja. En *El cultivo de soja en la Argentina*. Marcos Juárez-INTA: Editar INTA Oliveros.

estrés hídrico⁴⁰ está fijado en el 50% del contenido de agua útil del suelo explorado por las raíces.”

Extracción de agua del suelo

La capacidad de las raíces de los cultivos para extraer agua del suelo depende de la distribución y profundidad de su sistema radical.

Desde el punto de vista del balance de agua, es muy importante conocer el crecimiento de las raíces en profundidad. A medida que la raíz se profundiza va aumentando el volumen de suelo explorado, y es allí donde puede estar almacenada el agua.

Las plantas de soja poseen una raíz principal muy desarrollada y engrosada en sus primeros centímetros y raíces secundarias más delgadas pero con una gran capacidad de profundización.

Las raíces de los principales cultivos extensivos tienen una gran capacidad exploratoria a través de todo el perfil de suelo, aunque la mayor densidad se encuentre en los primeros centímetros.

Rendimiento en semilla

Hasta hace unos pocos años, en la región pampeana, el cultivo de la soja se ha realizado en su totalidad en condiciones de secano. De este modo es común que el cultivo esté sometido a distinto grado de estrés hídrico, en una o más etapas de su desarrollo, a pesar que las lluvias a lo largo de su ciclo superen las necesidades de agua del cultivo. La falta de una adecuada distribución de las precipitaciones son las responsables de que se produzcan déficits hídricos temporarios en distintos momentos del ciclo.

El momento de ocurrencia de una deficiencia hídrica es importante, porque con una misma intensidad de deficiencia el efecto sobre el rendimiento en semilla será distinto según el estadio del cultivo.

Para evaluar este efecto se puede dividir el ciclo del cultivo en tres períodos:

Emergencia a Floración (E-R1): En este período deficiencias hídricas de mediana intensidad, 40-50% de agua útil (A.U.) en el suelo, no producen reducciones en el rendimiento en semilla, si bien pueden disminuir el área foliar y la altura de la planta.

⁴⁰ Cuando la demanda de agua es mayor que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad. El estrés hídrico provoca un deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (acuíferos sobreexplotados, ríos secos) y de calidad (contaminación de la materia orgánica, intrusión salina).

Intensidades mayores, contenidos entre 20 y el 40 % de A.U., podrían producir reducciones en rendimiento en semilla del orden del 10% (figura 19).

Floración a comienzo del llenado de la semilla (R1-R5): Este período es más susceptible a deficiencias hídricas que el anterior, ya que intensidades medias pueden producir reducciones en el rendimiento en semilla del orden del 10% y deficiencias severas un 20% o más. La reducción del rendimiento se debe al aborto de flores y vainas que disminuyen el número final de estas últimas, siendo en parte compensado por el peso de las semillas, si cesa la deficiencia hídrica en la etapa siguiente.

Comienzo de llenado hasta fin de llenado de semilla

(R5-R7): Es el período más crítico para el cultivo de soja porque el estrés produce la reducción simultánea del número de vainas, del número de semillas por vaina y del peso de las semillas. Deficiencias hídricas severas pueden producir pérdidas de rendimiento muy importantes, del 40% o más.

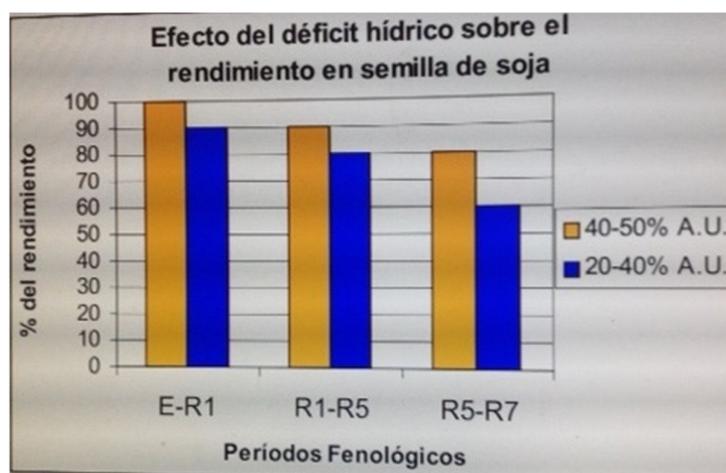


Fig.19: Porcentaje de rendimiento de un cultivo en distintos períodos de crecimiento sometido a dos niveles de deficiencia hídrica (40-50% y 20-40% A.U.), respecto de un cultivo sin déficit

Fuente: Andriani, J. (1998) Estrés Hídrico en Soja. En El cultivo de soja en la Argentina. Marcos Juárez-INTA: Editor INTA Oliveros

La diferente respuesta del cultivo a iguales niveles de estrés hídrico en sus distintas etapas fenológicas, es de gran importancia en el manejo del cultivo bajo condiciones de secano y más aún con riego suplementario. Sobre la base de estos conocimientos y los del ambiente donde se va a implantar el cultivo, se elegirá el

cultivar, la fecha de siembra y los umbrales de riego, entre otros aspectos del manejo del cultivo.

Respuesta de cultivares

En la región pampeana la ocurrencia de sequías de diferente magnitud e intensidad constituye la principal causa de variabilidad interanual de los rendimientos. Estas sequías se presentan en diferentes momentos dentro del ciclo de crecimiento del cultivo, según los años.⁴¹

Esta afirmación es central dentro de nuestro trabajo, pues constituye uno de los vectores que fundamenta la búsqueda de herramientas para disminuir parte de la vulnerabilidad de las explotaciones agrícolas.

⁴¹Op cit. 39

Riesgos en mercados agrícolas

Según Lobos (2000):

“El riesgo y la incertidumbre son variables inherentes al proceso de toma de decisiones. La consideración de los eventos futuros probables ó eventos riesgosos así como la de aquellas situaciones sobre los cuales existe un desconocimiento absoluto o eventos inciertos, fueron incorporadas con fuerza en la literatura económica a partir de 1940.

Desde el punto de vista conceptual, la literatura más relevante sobre riesgo e incertidumbre incluye los trabajos de Johnson (1947), Berhman (1968), Dillon (1971), Dillon & Anderson (1971), Anderson et al. (1977), Roumasset et al. (1979), Newbery & Stiglitz (1981), Hazell et al. (1986), Hueth & Furtan (1994), Moschini & Hennessy (2002), Hardaker et al. (2004). Desde el punto de vista del riesgo en general, los aportes más destacados son los de Knight (1921), Friedman & Savage (1948), Debreu (1954), Savage (1954), Raiffa (1968), Arrow (1971), Halter & Dean (1971), Kahneman & Tversky (1979), Lindley (1985), Hargitay & Yu (1993), Byrne (1996), Sargent & Tallarini (1999).⁴²

La diferencia conceptual entre riesgo e incertidumbre es atribuida a Knight⁴³, uno de los trabajos pioneros sobre el riesgo en general. Se asume que se está frente a una decisión bajo riesgo cuando es posible establecer “ex-ante” la probabilidad de ocurrencia de un evento futuro, es decir, cuando es posible caracterizar la distribución de probabilidades. En el caso de la incertidumbre, se desconocen las probabilidades objetivas.

Sin embargo, el desarrollo de la teoría de expectativas racionales y las probabilidades subjetivas han contribuido a la similitud de los conceptos de riesgo e incertidumbre.

Hardaker⁴⁴ y Meuwissen⁴⁵ definen el riesgo como la “incertidumbre de resultados”, que se traduce en pérdidas que afectan negativamente el bienestar individual de los productores.

La mayoría de las variables que componen el flujo de fondos de un proyecto se encuentran, al momento de hacer el análisis previo, en condiciones de incertidumbre⁴⁶.

⁴²Lobos, G. (2000) *Instrumentos públicos para la gestión de los riesgos*. Universidad de Talca, Chile.

⁴³Knight, F.H. (1921). *Risk, uncertainty and profit*. New York, NY:Kelley.

⁴⁴Hardaker, J.B.; Huirne, R.M.B.; J.R. Anderson & G. Lien (2004). *Coping with risk in agriculture*, (2^oed.). Cambridge MA, USA: CABI Publishing.

⁴⁵Meuwissen, M.P.M.; Huirne, R.B.M. & J.B. Hardaker, (1999). Income insurance in European agriculture. In: *European Economy, European Commission, Directorate-general for economic and financial affairs, Reports and Studies*, n^o2, Luxembourg.

⁴⁶Pascale, R. (2009). *Decisiones Financieras*. (6^a ed.). Buenos Aires: Prentice Hall. Pearson Education.

Ricardo Pascale define al riesgo en su más amplia concepción como el grado de incertidumbre asociado a la posibilidad de generar un rendimiento.⁴⁷ Cuando hablamos de esta posibilidad de resultados, debemos analizarla tanto en valores positivos como negativos.

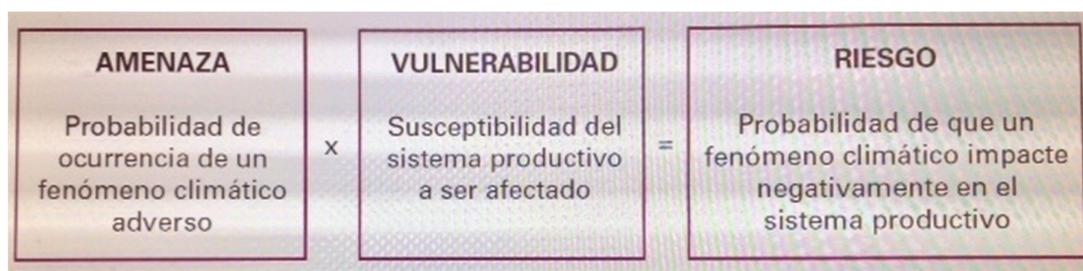
En términos más restrictivos, el llamado riesgo agrícola que se considera en el producto financiero sobre el que versa esta tesis, se traduce en términos exclusivamente negativos con impacto en el productor. De allí la necesidad de protección o cobertura para estos casos.

Consideramos que la realidad del sector agrícola va más allá de los efectos negativos individuales. El riesgo en la agricultura no sólo es importante para los productores agropecuarios, sino que también lo es para la sociedad en su conjunto dada la significativa importancia de la producción agrícola para nuestro país.

Los agricultores toman sus decisiones en un escenario de riesgo, en que consideran aspectos agronómicos y económicos.

Luego sus decisiones tienden a un equilibrio, un óptimo, entre ingreso monetario esperado, desafíos tecnológicos, variabilidad productiva, volatilidad de precios, variables climáticas y actitud frente al riesgo⁴⁸. Por ejemplo, un comportamiento averso al riesgo de los productores agrícolas puede llevar a una asignación de recursos no eficiente, en el sentido de alcanzar un sub-óptimo de recursos y un menor bienestar general. Así, siendo los productores agrícolas adversos al riesgo, podrían no adoptar un cambio tecnológico que se traduciría en ahorro de recursos porque los potenciales riesgos asociados se podrían traducir en un incremento menor al esperado en la producción.

En un sentido amplio, el concepto de riesgo adoptado para la presente tesis recopila en su interior otros dos que lo componen y cuyo desglose nos permite visualizar claramente cuál es la porción del mismo que un productor agropecuario puede pretender gestionar:



⁴⁷Op. Cit 46

⁴⁸González U.J., Francisco G.E. y Foster B.W. (2002). Selección de portafolios de rotaciones culturales económicamente óptimos para la Precordillera Andina de la VIII región. Chile. *En Agricultura Técnica*, Vol. 62, No. 4, Chillan, Oct. 2002, (pp. 583-595).

Luego definimos a la amenaza:

“(…) como el “factor externo” al sistema expuesto, representado por la potencial ocurrencia de un suceso de origen natural, que puede causar daños en un lugar específico, con determinada intensidad y duración. En el caso de riesgo agropecuario la amenaza está representada por el factor climático adverso.

Si bien la ocurrencia del fenómeno adverso es incierta, en ocasiones la amenaza puede ser cuantificada mediante un valor de probabilidad de ocurrencia (de inundación, de sequía, de heladas tardías o tempranas, etc.). Para el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado se debe contar con registros estadísticos del mismo, en lo posible no menores a 30 años. En caso de disponer de series de datos más cortas se podría calcular la frecuencia de ocurrencia como forma aproximada de cuantificación.⁴⁹”

La vulnerabilidad es:

“(…) la susceptibilidad de un sistema productivo expuesto a una amenaza. ...por ejemplo, está dada por las prácticas de manejo implementadas, las características geo-morfológicas, la etapa fenológica del cultivo, la cantidad de ganado vacuno presente y su ubicación, la infraestructura de la región para hacer frente al factor adverso, la estructura socio-económica, etc.

El producto de ambas, el riesgo, es la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. El valor o magnitud del riesgo ante cualquier evento adverso resulta de la conjunción de dos factores: la amenaza externa y la vulnerabilidad”.⁵⁰

Una característica relevante de algunos mercados, incluido el agrícola, es la existencia de “mercados incompletos”, en términos de la disponibilidad de instrumentos para enfrentar el riesgo y la incertidumbre. Además, tales mercados son más incompletos en los países de menor nivel de desarrollo.

Existen varias razones que explican por qué los mercados de “productos” o instrumentos para la gestión del riesgo son incompletos o para explicar por qué algunos instrumentos no están disponibles.

La existencia de mercados incompletos para la gestión del riesgo tiene efectos negativos sobre la eficiencia en el sentido de Pareto, debido a que el nivel de riesgos

⁴⁹Occhiuzzi,Mercuri A. (2011). *Herramientas para la evaluación y gestión del riesgo climático en el sector agropecuario – Argentina*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina.

⁵⁰Op cit. 49

cubiertos es claramente menor que la cantidad socialmente óptima, por lo que necesariamente se incurre en una pérdida de eficiencia en la asignación de recursos⁵¹. Adicionalmente, en tales mercados se observan “fallas de mercado” tales como monopolios, externalidades y el carácter de “bienes públicos” de ciertos productos, las cuales contribuyen a explicar por qué los mercados pueden fallar en la provisión de una eficiente asignación de los recursos.⁵²

En definitiva, los aspectos que atentan contra una óptima asignación de recursos en el sentido de Pareto son:

- Aversión al riesgo de los productores agrícolas
- Mercado agrícola incompleto por falta de instrumentos para gestión de riesgos y fallas de mercado.

Fuentes de riesgo

Los riesgos que afectan el flujo de fondos en estas actividades tienen dos orígenes:

- los relacionados con la actividad agropecuaria en si, que afectan volúmenes (rindes) y calidad de la producción
- los relacionados con el precio del *commodity* a nivel nacional – internacional.

Ambos impactan en la retribución a percibir por el productor agrícola, por su trabajo e inversión, la cual fluctúa y convierte a la posibilidad de predecir con cierta exactitud los ingresos, en toda una odisea en la medida en que simplemente produzca y pos cosecha entregue la producción.

Debemos decir que toda variable que influya en estos mercados termina impactando en el precio en última instancia, pero la diferenciación realizada es porque algunas surgen a partir de afectar primero los volúmenes de producción. Por ejemplo: una sequía puede producir severos efectos en las toneladas de soja cosechadas en nuestro país, lo cual impactará muy probablemente en los precios internacionales produciendo un alza ya que Argentina es formadora de precios en este cultivo.

La clasificación tradicional⁵³ distingue cuatro fuentes de incertidumbre - riesgo:

- rendimientos, es decir volumen y calidad del cultivo
- precios
- tecnología: asociada con la evolución y los cambios tecnológicos y su impacto en el desarrollo agropecuario

⁵¹Skees, J.R. & B.J. Barnett.(1999). *Conceptual and practical consideration for sharing catastrophic/systemic risks*. Review of Agricultural Economics(vol. 21, pp. 424-441).

⁵²Op. Cit. 42

⁵³Newbery, D.M. & J.E. Stiglitz.(1981). *The theory of commodity price stabilization: a study in the economics of risk*. New York, Oxford University Press.

- políticas públicas específicas

Haremos una breve mención a las políticas públicas como factor de riesgo antes de mencionar el resto de los mismos, basándonos en la división entre fuentes de riesgo relacionados con la actividad en sí y las que afectan el precio del *commodity* en primera instancia.

La existencia de “mercados incompletos” y las “fallas de mercado” antes mencionadas permiten justificar la intervención del gobierno en estos mercados, especialmente cuando otros instrumentos de mercado tales como los seguros, mercados de futuros y mercado de opciones presentan un desarrollo incipiente.⁵⁴

Por otra parte, según Meuwissen⁵⁵ existen otras dos razones para explicar la intervención del gobierno en los mercados de instrumentos para la gestión del riesgo. En primer lugar, como a través del marco legal el gobierno influye considerablemente en las decisiones de los productores, entonces el gobierno pasa a ser co-responsable de las potenciales pérdidas, por lo que se justifica su participación estableciendo instrumentos de reducción del riesgo. En segundo lugar, desde el punto de vista económico, el gobierno debe ser capaz de proveer reaseguros para el capital más baratos que el sector privado para cubrir pérdidas potencialmente muy altas.

Independientemente de por qué intervenga o no, en los hechos, esta participación trae consecuencias y las mismas afectan directamente el ingreso percibido por los productores.

1- Fuentes de riesgo que afectan volúmen y calidad de los cultivos en primera instancia

Ellas son:

- a- Fenómenos meteorológicos – riesgo clima
- b- Cambio climático y sostenibilidad ambiental

a- Fenómenos meteorológicos – riesgo clima

Denominamos riesgo clima a la variabilidad en el volumen de negocio o magnitudes económico-financieras de una empresa provocada por condiciones meteorológicas no esperadas o adversas. Es decir, se trata de la incertidumbre sobre la generación

⁵⁴Op. Cit 42

⁵⁵Op. Cit 45

de ingresos o posibles pérdidas (riesgo volumétrico y/o financiero) causada por eventos climáticos no catastróficos.

En términos generales, es probable que sea el riesgo más extendido y voluminoso a nivel mundial.

Es de vital importancia señalar que en muchas ocasiones los eventos climáticos no tienen que ser extremos (tsunamis, huracanes, inundaciones) para sufrir un perjuicio. Basta, por ejemplo, con que llueva unos días por encima o por debajo de lo habitual para que los efectos negativos sean elevados.

Todos aquellos agentes que pueden sufrir pérdidas económicas derivadas del comportamiento de una o más variables meteorológicas están sometidos a riesgo clima.

Se sabe que:

- Más del 75% de la actividad económica mundial está afectada directa o indirectamente por el clima.
- En Europa, 2 de cada 3 compañías están directamente expuestas a riesgos climáticos.

Cada año, se estima que las desfavorables condiciones meteorológicas pueden penalizar en hasta un 25% el Producto Interior Bruto de países industrializados.

En gran parte, el riesgo clima afecta a las variables más relevantes de una empresa:

- Volúmen de ventas, hasta el extremo que deje de vender si la meteorología es adversa,
- Capacidad de producción - distribución⁵⁶

A diferencia de otros riesgos (tipos de interés, divisa, precio de las materias primas) el riesgo clima no puede ser eliminado salvo que se abandone la actividad económica en cuestión. Una entidad podría en principio dejar de endeudarse o de hacer transacciones de comercio exterior sin que eso la obligue a cambiar de actividad, pero no podría evitar el factor clima tan fácilmente. Una empresa que deje de vender si hace mucho calor o si nieva muy poco generalmente no estará libre de ese riesgo climático salvo que se dedique a otra cosa.⁵⁷

Específicamente en el sector agrícola hay diversos fenómenos meteorológicos que pueden causar daños a los cultivos, entre ellos:

⁵⁶ Fahrenheit Risk Internacional: empresa gestora de riesgos climáticos de España (www.fahrenheitrisk.com)

⁵⁷ Rodríguez Tablado, L.Á. (2012) *Derivados Climáticos*. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de León, España.

Sequías: períodos secos de larga duración o durante los estadíos críticos en cuanto a necesidad de agua de los cultivos. Los episodios secos son especialmente dañinos cuando la temperatura del aire es alta y a la vez la humedad muy baja. El efecto en las plantas puede ser gradual y expresarse como hojas que se marchitan durante el día recobrando la turgidez por la noche, hojas que se tuercen, amarilleo de hojas, flores o frutos, caída de hojas, merma en la producción, tamaño o peso de granos del cultivo.

Granizo, fuertes aguaceros, tormentas: los daños causados son caída y/o despedazamiento de hojas, flores o frutos, rotura de ramas o plantas completas, anegamientos que imposibilitan la cosecha en tiempo y forma o que dañan el cultivo en etapa de crecimiento inicial.

Heladas y otras temperaturas adversas: con las heladas las plantas se ven marchitas a pesar de permanecer verdes, oscurecimientos de partes del vegetal, caída de flores y frutos. Las temperaturas muy altas también influyen en el desarrollo de los vegetales, sobre todo si ocurren durante la floración o la madurez.

Dependiendo de la intensidad, pueden producir daños totales por destrucción o muerte del vegetal, o bien mermas en el rendimiento de la zona afectada.

Distribución irregular de temperaturas y lluvias: Sin llegar a ser fenómenos extremos, la inadecuada distribución de temperaturas y/o lluvias a lo largo de las diferentes fases de crecimiento y desarrollo de un cultivo impactan en su posterior rendimiento al momento de la cosecha. Períodos de lluvias prolongadas o temperaturas poco frecuentes provocan modificaciones en los rindes y es parte de la aleatoriedad a la que están expuestos los productores agrícolas, sobre todo en la agricultura de secano, predominante en nuestro país y la provincia de Entre Ríos no es una excepción. Cabe destacar que estos fenómenos están aumentando de manera alarmante en cuanto a intensidad y frecuencia en poco espacio temporal. Por ej.: grandes lluvias, con elevados niveles de milímetros caídos en un día o dos. Fenómenos que se repiten dentro del mismo mes y varias veces al año.

b- Cambio climático y sostenibilidad ambiental

El cambio climático amenaza la producción agrícola por alza de temperaturas, cambios en las pautas de lluvia e incremento de la concurrencia de eventos climáticos extremos como sequías e inundaciones.

El IPCC (Panel Intergubernamental para el Cambio Climático) define este fenómeno como una variación estadísticamente significativa del estado global del clima o de su variabilidad durante un largo período de tiempo, generalmente décadas o más años aún.

En su Tercer Informe de Evaluación (IPCC 2001), este organismo señala que en el siglo XX la temperatura media en superficie ha aumentado aproximadamente en 0.6° C. Dicho aumento es especialmente importante en el hemisferio norte, señalándose que posiblemente el incremento de temperatura del pasado siglo haya sido el mayor de los últimos mil años.⁵⁸

En líneas generales este cambio climático se traduce en una clara tendencia al incremento de las temperaturas, con variaciones según el escenario previsto y la zona y con máximas extremas en los meses de primavera.

La agricultura no solamente sufre el impacto del cambio climático, sino que es a la vez responsable del 14 % de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial. Pero tiene el potencial de ser parte importante de la solución, a través de la mitigación, reduciendo y/o eliminando una parte significativa de las emisiones globales.

Las prácticas agrícolas que capturan carbono y lo retienen en el suelo ofrecen algunas de las opciones más prometedoras para una acción temprana y rentable frente al cambio climático en los países en desarrollo.

Cerca del 70 % del potencial de la agricultura para reducir las emisiones puede lograrse en los países en desarrollo. Las principales opciones técnicas para la mitigación del cambio climático desde la agricultura son las mejoras en la gestión de las tierras agrícolas y de pastoreo y la restauración de los suelos orgánicos y de las tierras degradadas.

Las prácticas agrícolas mejoradas necesarias para la mitigación del cambio climático son a menudo las mismas que necesitan para incrementar la productividad, la seguridad alimentaria y la adaptación.

En la XXI Conferencia Regional de la FAO del año 2000, se estableció que la inversión pública nacional e internacional orientada a mejorar las capacidades de adaptación de la agricultura al cambio climático es absolutamente necesaria para el sector agrícola y rural de la región.⁵⁹

⁵⁸Paz Cobo, S. y López Zafra, J.M. *El cambio climático y el sector asegurador*. Trabajo presentado en XIII Jornadas de ASEPUMA (Asoc. Española de profesores de Matemática para la economía y la empresa). http://www.uv.es/asepuma/XIII/comunica/comunica_12.pdf

⁵⁹<http://www.fao.org/news/story/es/item/37941/icode>

El cambio climático supone riesgos adicionales y una mayor imprevisibilidad para los agricultores: el recalentamiento y la consiguiente aridez y los cambios en los regímenes de lluvias, así como la creciente incidencia de los fenómenos climáticos extremos.⁶⁰

Concretamente en Entre Ríos el patrón de especialización agrícola impulsado por el avance de la siembra de soja, presenta desde el punto de vista ambiental una fisura: estimula el uso del suelo en busca de economías de escala, sin priorizar una adecuada rotación de cultivos que garantice la sostenibilidad en el tiempo de las bondades de la tierra, provocando:

“(…) efectos ambientales como la pérdida de diversidad productiva dada por la competencia por los recursos, ampliación de la frontera agrícola a zonas menos productivas, erosión de los suelos y posible contaminación de napas subterráneas por el uso intensivo de agroquímicos y fertilizantes.⁶¹”

A modo de ejemplo de alteraciones climáticas, presentamos la figura 20 donde se observa un aumento de la cantidad de estaciones INTA que registran precipitaciones anuales superiores a 800 mm./año entre la década del '60 y la del '90.

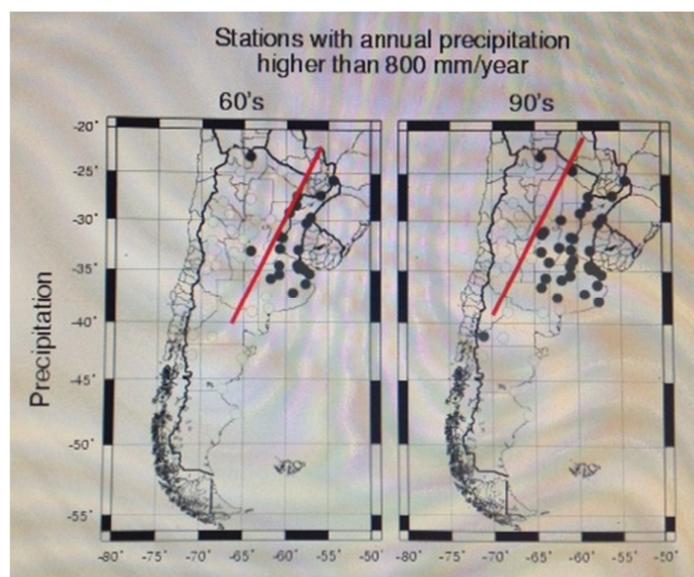


Fig. 20: Estaciones con precipitaciones anuales superiores a 800 mm./año

Fuente: www.inta.gov.ar

⁶⁰http://www.uba.ar/secyt/download/2009_Desafios_del_Cambio_Clim.pdf

⁶¹Alfredo Domínguez, N y Germán Orsini. (2009). *Impactos en la estructura agraria por la ampliación de la frontera agrícola en base a la expansión del cultivo de soja en la región pampeana: la historia reciente de Entre Ríos*(1era. ed.). Buenos Aires: Ediciones Cooperativas.

2- Fuentes de riesgo que afectan el precio de los productos agrícolas a nivel nacional – internacional

Pueden agruparse en:

- a- Múltiples factores que impactan en la volatilidad de sus precios
- b- Tipo de cambio

a- Múltiples factores que impactan en la volatilidad de sus precios

Un reciente informe publicado por la FAO denominado “El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2011” y desarrollado en una edición de la Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario considera que:

“(…) es probable que los precios de los alimentos sigan siendo elevados y volátiles. La demanda de los consumidores en los países con economía en rápido crecimiento aumentará, la población continúa creciendo, y si prosigue la expansión de los biocombustibles el sistema alimentario se verá sometido a demandas adicionales. En el lado de la oferta, se plantean desafíos debido a la creciente escasez de los recursos naturales en algunas regiones y a la disminución de las tasas de crecimiento de los rendimientos de algunos productos básicos. La volatilidad de los precios de los alimentos podría incrementarse debido a los vínculos más estrechos entre los mercados agrícolas y energéticos, así como la mayor frecuencia de las perturbaciones causadas por fenómenos meteorológicos.”⁶²

En el caso particular del sector agrícola, diversos autores⁶³ reportan que la alta volatilidad de los precios agrícolas puede ser atribuida a:

1. las bajas elasticidades precio-propio e ingreso de la demanda por productos agrícolas en los mercados domésticos,
2. la inestabilidad inherente a la producción agrícola derivada de efectos externos no controlables por los productores, y
3. la naturaleza del proceso de producción agrícola, donde las decisiones de producción deben tomarse en un contexto de riesgo e incertidumbre respecto de las condiciones que prevalecerán en los mercados donde los productos son comercializados.

Por el lado de la oferta, los estudios muestran que existe una relación negativa y alta entre el riesgo asociado a las expectativas de precios y rendimientos, y las decisiones sobre el nivel de producción, lo cual se puede asociar a una oferta de productos agrícolas relativamente elástica.⁶⁴ La cantidad de bienes ofrecidos puede,

⁶²Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario - Argentina, Año CI – 1516, abril de 2012

⁶³Op. Cit 42

⁶⁴Berhman, 1968; Just, 1975; Chavas& Holt, 1990

en el corto plazo, ser diferente de la cantidad producida, ya que los productores tienen stocks que pueden aumentar o disminuir. Ahora bien, si nos enfocamos exclusivamente en toneladas cosechadas por campaña, los niveles de producción no tienen esta elevada sensibilidad a los precios.

En todo mercado la evolución de los precios es el principal indicador de su estado de situación.

Para los *commodities* esta no es la excepción, por lo que su importancia microeconómica o vinculada con las decisiones de producción y consumo, es evidente. Además, los efectos macroeconómicos dependen del tipo de economía que se esté considerando.

Como idea general, puede sostenerse que su importancia es decreciente con el nivel de ingreso por habitante, con el tamaño de la economía y con la diversificación productiva y comercial de cada país.

En las economías desarrolladas, los *commodities* no representan una parte significativa de la canasta de consumo de los hogares. En países de desarrollo intermedio como los latinoamericanos donde la estructura productiva tiene un importante sustento en el sector primario, los *commodities* poseen una alta relevancia por su impacto sobre un significativo conjunto de variables.

Otro caso paradigmático de la importancia de los *commodities* son las economías petroleras, donde la volatilidad en la cotización de este producto altera profundamente el entramado de relaciones económicas y sociales.

Hay, asimismo, un grupo de países pequeños muy poco diversificados para los cuales los precios de ciertos bienes de exportación son absolutamente determinantes de la evolución macroeconómica.⁶⁵

Alimentos básicos esenciales	Febrero 2013 – Junio 2013 (%)	Junio 2012 – Junio 2013 (%)
Índices		
Alimentos	-2	-2
Cereales	-2	5
Grasas y Aceites	-3	-6
Otros	-1	-4
Fertilizantes	-8	-15
Precios		
Maíz	-1	12

⁶⁵Bastoure, D. (2008). *Inversores Financieros en los Mercados de Commodities: Un Modelo con Dinámica de Ajuste no Lineal al Equilibrio*. Documento de Trabajo Nro. 72, mayo 2008. FCE Universidad Nacional de La Plata. <http://www.depeco.econo.unlp.edu.ar/doctrab/doc72.pdf>

Arroz (thai, 5%)	-4	-10
Trigo (duro rojo de invierno de EE. UU.)	-2	13
Azúcar (mundial)	-6	-16
Aceite de soja	-11	-12
Petróleo crudo, promedio	-7	10

Fig. 21: Fluctuaciones de precios de productos alimenticios básicos esenciales

Fuente: DECGP, Banco Mundial

Los precios de cereales y oleaginosas, por tratarse de *commodities* internacionales, están fuertemente ligados a la realidad mundial de los cultivos a cada momento y para cada campaña. Es decir, las reservas globales, las sequías o grandes lluvias y su impacto en el rendimiento, las políticas económicas de los países y sus consecuencias para el comercio internacional y las decisiones de los actores dentro del mercado de capitales ya que en la actualidad los *commodities* en general, y los agrícolas en particular, son un activo financiero más en sus carteras.⁶⁶

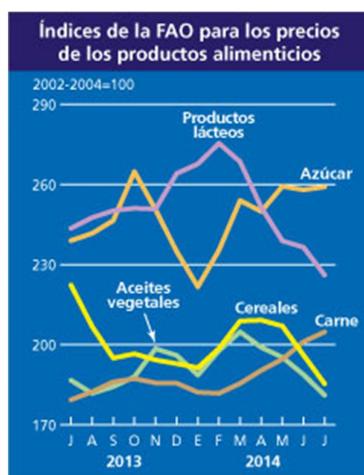


Fig. 22: Precios de los productos alimenticios en Índices, según FAO

Fuente: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/indice-de-precios-de-los-alimentos-de-la-fao/es/>.

Fecha de publicación: 07/08/2014⁶⁷

En la última década, estos productos han experimentado fuertes crecimiento en sus niveles de precios. Los mismos fueron impulsados entre múltiples factores por la demanda creciente en los países asiáticos (China e India), el empleo de materias primas agrícolas para la fabricación de biocombustibles, el crecimiento veloz de los mercados de capitales de productos básicos, además de la baja de la tasa de interés y depreciación del dólar, ya que en esta moneda cotizan los mismos. Otros motivos relacionados son la merma en el rendimiento y la producción de alimentos en el

⁶⁶Op cit. 62

⁶⁷El índice de precios de los alimentos de la FAO es una medida de la variación mensual de los precios internacionales de una canasta de productos alimenticios. Consiste en el promedio de los índices de precios de cinco grupos de productos básicos, ponderado con las cuotas medias de exportación de cada uno de los grupos para 2002-2004.

mundo, relacionado esto último con problemas ambientales, y los cambios en las pautas alimentarias de los países en vías de desarrollo.

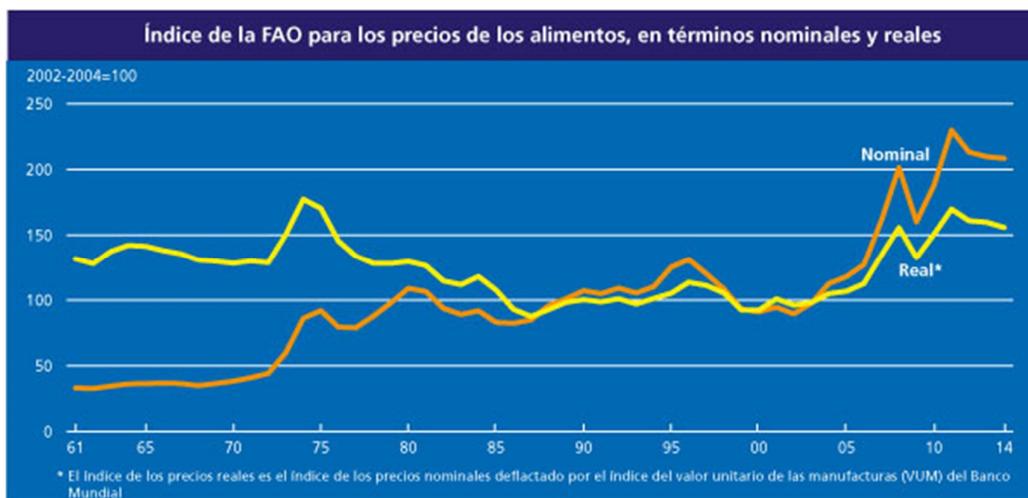


Fig. 23: Precios de los productos alimenticios en Índices, Nominal Vs. Real, según FAO

Fuente: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/indice-de-precios-de-los-alimentos-de-la-fao/es/>.

Fecha de publicación: 7/08/2014

Si bien las fuentes más importantes de presión de corto plazo sobre los alimentos, son por el lado de la demanda, también encontramos factores de presión por el lado de la oferta.

En primer lugar y como ya mencionamos se sitúa la falta de elasticidad de la función de oferta agrícola, en términos de cantidades producidas, es decir que la oferta responde lentamente a incrementos de la demanda. Según cálculos realizados por el Instituto Internacional de Investigación de Política Alimentaria (IFPRI), la oferta agrícola aumenta 1 % o 2% cuando los precios aumentan 10 %, y responde menos aún con escenarios de alta volatilidad. Entre los años 2000 y 2006 la demanda de cereales aumentó 8 %, mientras que los precios aumentaron 50 %.

Con respecto a materias primas agropecuarias, las perspectivas parecen menos claras. Por lo general el consumo de alimentos en los países en vías de desarrollo vira hacia productos con mayor valor proteico, como las carnes y los aceites. Las modalidades de consumo de alimentos se están haciendo cada vez más similares en todo el mundo, incorporando alimentos más caros y de mayor calidad, como carnes y productos lácteos.⁶⁸

En el caso de la soja, China se volvió un importador neto en 1996. Parte de esa demanda es para consumo de alimentos de la población, y otra para engordar animales. Según el Deutsche Bank este segundo destino perderá fuerza en tanto el

⁶⁸ FAO. (1995). *Perspectivas a largo plazo*. World agriculture: towards 2015/2030.

país aumente directamente sus importaciones de carne. “Por eso la demanda china de soja crecerá menos que otros *commodities* de acá al 2020”, especulan los analistas de la entidad financiera.⁶⁹

Otro factor relacionado, ahora con la demanda, es la producción de biocombustibles y las políticas gubernamentales aplicadas al respecto, así como los precios de los combustibles fósiles. El aumento de los precios del petróleo contribuye a la suba de los precios de la mayor parte de los cultivos agrícolas, por un lado, mediante el aumento de los costos de los insumos, y por otro, impulsando la demanda de cultivos agrícolas como materia prima para la producción de fuentes de energía alternativa (biocombustibles).

En definitiva en los últimos años, y merced a una serie de *records* nominales en un importante número de productos agrícolas, minerales y energéticos, la temática ha recobrado un fuerte vigor, dada la amplitud e intensidad de sus consecuencias.

Ellas van desde los efectos sobre los países productores y consumidores, donde sobresale la influencia sobre la inflación, el producto, el tipo de cambio real, la política fiscal y la distribución del ingreso; hasta el impacto global que los precios tienen sobre los patrones de comercio o la organización misma del sistema monetario internacional. Frankel (2006) ha sintetizado este resurgimiento de una forma contundente: “*commodity prices are back with a vengeance*”.⁷⁰

HECHOS Y NÚMEROS RELATIVOS A LA CRISIS DE LOS ALIMENTOS

- 1.100 millones de personas subsistían con menos de US\$1 al día y 923 millones estaban desnutridas, aún antes de producirse las crisis de los alimentos y los combustibles del año 2008 y la crisis financiera del mismo año.
- Del 2008 a la fecha se mantiene la volatilidad del precio de los alimentos. Los precios locales de los alimentos en muchos países no han bajado, aunque los precios internacionales de los alimentos sí lo han hecho en el mismo período.

Fuente: <http://www.bancomundial.org/temas/preciosalimentos/iniciativas.htm>

Fecha de publicación: abril de 2013

En este retorno de los *commodities* al centro del debate académico y de la política económica suelen ponderarse dos aspectos o fuentes de estos fenómenos de volatilidad.

Por un lado, se subraya que detrás del actual ciclo alcista de los precios hay un gran peso de factores fundamentales de largo plazo vinculados a la oferta y la demanda,

⁶⁹Deutsche Dank Research. (2006). *China's commodity hunger, implications for africa and Latin America*. Junio de 2006.

⁷⁰ Traducción: “Los precios de commodities han vuelto a vengarse.”

como lo son la creciente importancia de las economías asiáticas en estos mercados, especialmente el ascenso de China en la economía internacional⁷¹, la debilidad del dólar⁷², el exceso de liquidez mundial⁷³, la laxitud de las políticas monetarias⁷⁴; o cuestiones tecnológicas como la aparición de los biocombustibles⁷⁵.

Por otro lado, algunos estudios recientes sostienen que ha sido la especulación financiera la causante de estas subas y también las bajas. Fenómenos asociados al aumento de la profundidad con la que operan los mercados de *commodities*, han cambiado la morfología de las series de precios, alterando sus propiedades estocásticas⁷⁶.

Una pregunta muy simple ha circulado entre expertos en finanzas, académicos y hacedores de política: ¿en cuánto ha contribuido la especulación financiera para explicar los altos valores, en términos históricos, de un gran número de *commodities*? No obstante la claridad del interrogante, su respuesta definitiva dista de resultar obvia o trivial.

El número de contratos en los mercados de derivados de *commodities* se triplicó entre 2002 y 2005. Asimismo, según datos del *Bank of International Settlements*, hacia mediados de 2006 el monto total de contratos en derivados alcanzaba los 6,4 billones de dólares, un valor catorce veces superior al del año 1998. Además, aun cuando el volumen operado en los mercados de futuros es pequeño en comparación con los mercados accionarios, de bonos o de divisas; resulta, en muchos casos, varias veces superior al volumen físico efectivamente producido de cada bien particular.

En el año 2007, por su parte, esta tendencia se vio reforzada, ya que el número de contratos agrícolas subió 32% frente al año previo, mientras que para los metales y los productos energéticos las alzas fueron de 29,7% y 28,6%, respectivamente.

En líneas generales, pueden distinguirse dos tipos de inversiones vinculadas a estos bienes.

⁷¹ FMI, 2006; Kaplinsky, 2006; Cheung y Morin, 2007

⁷² Ridler y Yandle, 1972; Dornbusch, 1985; o Borensztein y Reinhart, 1994

⁷³ Dooley y Garber, 2005; HSBC, 2007; Bastourre et al., 2008

⁷⁴ Frankel, 2006

⁷⁵ UNCTAD, 2006; FMI, 2007; Johnson, 2007

⁷⁶ Gorton y Rouwenhorst, 2004; Erb y Harvey, 2005; Deutsche Bank, 2005; Westerhoff y Reitz, 2005; Domanski y Healt, 2007

⁷⁷ Op cit. 62

La primera, de tipo tradicional, es la que se canaliza por medio de los mercados de futuros.

“La inversión en *commodities* a través de los mercados de futuros ganó importancia desde el estallido de la burbuja de las punto.com. Golpeados por las pérdidas en los instrumentos tradicionales, los inversores financieros estaban en la búsqueda de un nuevo tipo de activo para diversificar sus portafolios y reducir así sus riesgos. El hecho que los futuros de *commodities* ofrecieron históricamente el mismo retorno que los activos financieros tradicionales, pero estaban negativamente correlacionados con el retorno de los bonos y las acciones, promovió la estrategia de diversificación.”⁷⁸

La segunda forma, más reciente, tiene que ver con una serie de instrumentos de inversión cuya estrategia es la de replicar la evolución de algún índice de *commodities* o el valor mismo del *commodity*, ya sea de carácter específico o compuesto. Estos instrumentos son los denominados ETF⁷⁹ y dicha réplica puede darse en el mismo sentido de la variación del valor del bien o a la inversa, es decir que de alguna manera nos podemos proteger o especular en el mismo sentido o en el sentido inverso al mercado, “apostando a la baja o al alza” del precio de dichos bienes en el mercado spot. Un ejemplo sencillo sería comprar, si existiese, un ETF que replique valor soja spot ROFEX 3x o -3x. Esto significa que dichos activos amplifican por 3 el valor de la soja en un determinado momento en el mismo sentido 3x o a la inversa de lo que muestren las pizarras, -3x. Claramente vemos como crece exponencialmente la exposición a riesgo de un inversor en instrumentos de estas características debido al apalancamiento financiero, logrado a través de estos derivados.

Asimismo, el incremento de las negociaciones de alta frecuencia marca un nuevo paso en la financiarización de los mercados de *commodities* que antes dependían de estrategias más pasivas.

En definitiva, todos estos argumentos señalan y predicen aumento en los precios reales, sumado a una mayor volatilidad en las cotizaciones si miramos hacia el futuro.

Como menciona el informe de la FAO⁸⁰:

⁷⁸ "La timba de los commodities" Diario Página 12, Argentina, sección economía, lunes 21 de mayo de 2012, www.pagina12.com.ar/imprimir/diario/economia/2-194492-2012-05-21.html

⁷⁹ *Exchange Traded Fund*: fondo negociable en el mercado.

⁸⁰ FAO. (2011). *Informe: El estado de la seguridad alimentaria en el mundo*.

“(…) las causas y los efectos de los precios elevados o volátiles son complejos porque dependen notablemente del contexto específico, es decir, el producto objeto de examen, los factores concretos que afectan a la transmisión de precios en diversas circunstancias (políticas, tipos de cambio, dependencia de las importaciones), las características demográficas de los hogares y sus modalidades de producción y consumo, entre otras variables.”

Es importante que distingamos conceptos similares y relacionados, aunque diferentes: variabilidad o volatilidad y nivel medio de precios.

“Es posible que los precios medios cambien sin que se modifique la variabilidad. Ello podría suceder si un país importador de alimentos tuviera que imponer un arancel constante sobre las importaciones (...) encarecería las importaciones, pero en la mayoría de las circunstancias no tendría ningún efecto sobre la variabilidad de precios internos. A la inversa, también es posible un cambio en la variabilidad de los precios sin que esto afecte a su nivel medio. Tal sería el caso, por ejemplo, si el clima se volviera más variable pero el volumen promedio de la producción de alimentos siguiera siendo el mismo.”⁸¹

“Es preciso asimismo distinguir entre variabilidad e imprevisibilidad. Los precios fluctúan por muchas razones, pero determinadas variaciones son, en gran medida, esperables. Por ejemplo, una (...) modificación previsible de los precios de los alimentos es la variación estacional: los precios son más bajos durante la cosecha e inmediatamente después, y más elevados inmediatamente antes de la misma. ...Las perturbaciones climáticas, en cambio, suelen ser imposibles de prever y pueden conducir a variaciones no pronosticables de los precios, especialmente si las existencias iniciales son bajas. ...las variaciones previsibles de los precios comportan diferentes costos y beneficios con respecto a aquellas que son previsibles.”⁸²

b- Tipo de cambio

Otro factor preocupante son las fluctuaciones de los tipos de cambio, que desempeñan una función decisiva en todos los mercados de productos, insumos y/o servicios transables.

En este sentido, la relación que ha recibido más atención es la que ocurre entre el precio de los *commodities* y el tipo de cambio real (TCR) de Estados Unidos, conocida como “efecto denominación”. La idea subyacente en el mismo, adelantada

⁸¹ Op cit. 68

⁸² Op. Cit 68

por Ridler y Yandle⁸³, es que los cambios en el valor real del dólar implican fluctuaciones del poder de compra relativo internacional. Así, una apreciación del TCR de los Estados Unidos significa más poder de compra en términos de *commodities* en ese país y menos en el resto del mundo.

Dornbusch⁸⁴ ilustra el efecto con un modelo de oferta y demanda de *commodities* con dos países compradores. La expresión allí obtenida para la elasticidad del precio de los *commodities* al TCR estadounidense es:

$$\frac{\partial \ln\left(\frac{P}{IP}\right)}{\partial \ln\left(\frac{IP}{eIP^*}\right)} = -\frac{\beta^*}{\left(\frac{\beta\eta}{\eta^*} + \beta^*\right)}$$

Siendo P el precio de un commodity representativo; IP e IP* los índices generales de precios en los EE.UU. y el resto del mundo, respectivamente; e es el tipo de cambio nominal multilateral (de manera que IP /eIP* es el TCR multilateral); η y η^* son las elasticidades

precio de la demanda de consumo del commodity doméstica e internacional; y β y β^* representan las participaciones respectivas en la demanda total.

El valor teórico de la elasticidad estaría así acotado al intervalo [-1, 0], convergiendo al límite superior cuanto menor es la importancia del resto del mundo como comprador.

En los estudios empíricos sobre el efecto denominación es usual encontrar una elasticidad negativa aunque superior a la unidad en valor absoluto. Se interpreta entonces tal coeficiente como una sobre reacción (*overshooting*) de los precios de los *commodities* al valor real del dólar.⁸⁵

En la opinión de algunos economistas y ciertos organismos internacionales:

“(…) las monedas de algunos países de economías emergentes fueron objetivo de enormes flujos de capitales que llevaron a una apreciación del tipo de cambio, poniendo en duda la habilidad de los mercados para encontrar los valores de equilibrio necesarios para el libre comercio (…)”⁸⁶

“Hay que destacar la forma preponderante en que las fluctuaciones en el valor de las monedas afectan el precio de los *commodities*. Este fenómeno se debe a que las materias primas y los metales preciosos son utilizados como protección contra la pérdida de valor adquisitivo de las monedas. Por lo general, el valor de una

⁸³Ridler, D. & C. Yandle. (1972). *A Simplified Method of Analyzing the Effects of Exchange Rates on Exports of a Primary Commodity*. IMF Staff Papers, Vol.19, 559-578.

⁸⁴Dornbusch, R. (1985). *Policy and Performance Links Between LDC Debtors and Industrial Nations*. Brookings Papers on Economic Activity, Vol. 1985, 303-368.

⁸⁵Gilbert, C. (1989). *The Impact of Exchange Rates and Developing Country Debt on Commodity Prices*. The Economic Journal, Vol. 99, 773-784.

⁸⁶Op. Cit. 69

moneda con relación a las otras fluctúa conforme a la cantidad de dinero emitido por los bancos centrales y a las tasas de interés de corto plazo en cada país o área monetaria, como la del euro. Pero los *commodities*, cuando la tasa de interés de corto plazo es baja y es fácil obtener crédito, además de ser un refugio de la inflación, se convierten en vehículos de especulación. Así, los productos como el petróleo, el oro, otros *commodities*, y las acciones de las compañías que los producen están sujetos a bruscas fluctuaciones.”⁸⁷

⁸⁷Careaga, R.A. (2010). *El efecto del tipo de cambio sobre los precios de las materias primas (commodities)*.Diario ABC Color, Paraguay, 5 de mayo de 2010.

Instrumentos existentes para mitigar riesgos: alternativas para estabilizar ingresos a lo largo de las campañas agrícolas

Gestión de riesgos y crisis

La gestión del riesgo, o mejor dicho la gestión para la reducción del riesgo, se refiere a cómo los agentes económicos toman decisiones en un contexto de riesgo, el cual puede tener consecuencias negativas o positivas sobre los activos (*stock* de capital físico) o rentas (flujos de beneficios netos) de los productores.

Según el USDA⁸⁸ la gestión del riesgo implica la elección entre distintas alternativas con el objeto de reducir los efectos del riesgo, lo cual requiere de la evaluación de los *trade-offs* entre cambios en el riesgo, retornos esperados, libertad de emprendimiento y otras variables, inclusive asumir nuevos riesgos a cambio del que reducimos. Este último es el caso del intercambio de riesgo precio por riesgo base al adquirir futuros para la cobertura de precios a cosecha, tema que analizaremos más adelante.

Por otra parte, la gestión de crisis se refiere a cómo los agentes económicos toman decisiones en un contexto donde las consecuencias de sus decisiones tienen una elevada probabilidad de tener efectos negativos sin perjuicio de las previsiones que se adopten para evitarlos. Las crisis pueden no sólo afectar y poner en peligro la viabilidad de una explotación agraria, sino que también a muchas explotaciones agrarias al mismo tiempo (riesgo sistémico), por ejemplo, por la pérdida significativa de activos o de rentas generadas por eventos imprevistos.

Los instrumentos para la gestión del riesgo, ya sean de mercado o co-financiados entre el Estado y los productores, permiten que estos últimos puedan tomar decisiones en un contexto de mayor certeza presente respecto de la ocurrencia de eventos futuros sujetos a riesgo o incertidumbre.

Por otra parte, los instrumentos para la gestión de crisis permiten que los productores puedan salir adelante cuando la capacidad individual es insuficiente para ese propósito.

Sin embargo, tanto los instrumentos para la gestión del riesgo como para la gestión de crisis tienen como propósito fundamental mejorar la competitividad de los productores agrícolas, mediante la sostenibilidad de las explotaciones agrícolas a través del tiempo.

⁸⁸ U.S. Department of Agriculture, <http://www.usda.gov>, año 1999

En líneas generales y de acuerdo a lo que manifiestan especialistas en el área de cobertura de riesgos climáticos en particular,⁸⁹ la respuesta a los interrogantes ¿por qué cubrirnos? y ¿por qué tomar coberturas?, está dada por:

1. Protección de beneficios
2. Prevención de pérdidas
3. Obtención de ventajas competitivas
4. Gestión y control de riesgo
5. Creación de valor para los accionistas

Riesgo – rentabilidad

A partir de los axiomas de la Teoría de la Utilidad de Von Neumann & Morgenstern (1944), Markowitz (1952) desarrolló la Teoría de Cartera, la cual asume que la utilidad o satisfacción de un inversionista racional depende de dos atributos: la rentabilidad esperada y el nivel de riesgo asumido.

Por lo tanto, se puede inferir que la adopción de una determinada estrategia o la elección de un instrumento para la gestión de la reducción del riesgo depende del *trade-off* entre los costos de reducir el riesgo y los retornos esperados (USDA, 1999). Según Meuwissen (2000) la estrategia o instrumento que finalmente adopte el productor difiere dependiendo de la relación entre los distintos riesgos que enfrenta, el costo de los distintos instrumentos, el nivel de ingreso y riqueza del productor, y de su propia percepción del riesgo.⁹⁰

Dado que la utilidad de los inversionistas depende de la rentabilidad esperada y el nivel de riesgo, entonces el problema se traduce en determinar la combinación óptima entre rentabilidad y riesgo. Por una parte, mientras mayor es la rentabilidad esperada, para un nivel de riesgo dado, entonces mayor será el nivel de utilidad del inversionista. Por otra parte, mientras mayor es el nivel de riesgo, para un nivel de rentabilidad esperada dado, entonces menor será el nivel de utilidad del inversionista. Por lo tanto, el problema es conocer la óptima compensación (*trade-off*) entre rentabilidad y riesgo en el contexto de la Teoría de la Utilidad en presencia de riesgo.

Los Postulados de la Teoría de Cartera, con respecto a la relación entre rentabilidad, riesgo y utilidad, son los siguientes:

⁸⁹ Op. Cit. 56

⁹⁰ Op. Cit. 42

Postulado I, la utilidad de un inversionista podría ser especificada mediante los atributos de rentabilidad y riesgo, es decir, la utilidad depende de ambos atributos:

$$U(\mu, \sigma) = f(\mu_e, \sigma_e)$$

Donde μ_e es la rentabilidad esperada de una cartera medida por la esperanza matemática (valor esperado) de los retornos y σ_e es el riesgo de la cartera medido por la desviación estándar.

Postulado II, la utilidad marginal de la rentabilidad esperada es positiva, es decir:

$$\frac{\partial U(\mu, \sigma)}{\partial \mu_e} > 0$$

Postulado III, la utilidad marginal del riesgo es negativa, es decir:

$$\frac{\partial U(\mu, \sigma)}{\partial \sigma_e} < 0$$

Postulado IV, en el caso de un decisor averso al riesgo, existe una relación positiva entre rentabilidad y riesgo (prima de rentabilidad positiva al aumentar el riesgo), por lo que todo aumento en el nivel de riesgo debe ser compensado con una mayor rentabilidad esperada:

$$\frac{\partial \mu}{\partial \sigma_e} > 0$$

Lo anterior nos permite obtener líneas ascendentes de isoutilidad o indiferencia entre rentabilidad esperada y riesgo. La expresión analítica para la familia de curvas de indiferencia se podría expresar a través de la “función índice de utilidad”, en que a cada curva de indiferencia entre rentabilidad y riesgo le corresponde un único número que indica el índice de utilidad, pero no la magnitud de la utilidad. Estos índices establecen relaciones de indiferencia o preferencia, pero no miden la utilidad.

¿Por qué cubrirse contra los riesgos según estos autores?

En general las personas son aversas al riesgo; sin embargo, algunas son preferentes por el riesgo y otras son indiferentes frente al riesgo.

Una persona que es aversa al riesgo prefiere una renta segura a una renta arriesgada cuyo valor esperado sea el mismo. La renta de esa persona tiene utilidad marginal decreciente (Pindyck&Rubinfeld, 2003), es decir, la función de utilidad total es estrictamente cóncava.

Como la mayoría de las personas son aversas al riesgo, incluyendo por supuesto a los tomadores de decisiones en las empresas, entonces tienden a cubrirse contra los riesgos.

De esta forma, tanto las personas como las empresas aversas al riesgo están dispuestas a cubrirse contra los riesgos, es decir, están dispuestas a pagar una prima por una cobertura para evitar el riesgo. De acuerdo a Pindyck&Rubinfeld (2003), la prima por el riesgo es la cantidad máxima de dinero que pagaría una persona aversa al riesgo por evitarlo.

La aversión al riesgo es un comportamiento típico de las personas (Gravelle&Rees, 2006).

¿Cómo son las preferencias de los agricultores frente al riesgo?

La mayoría de los agricultores son aversos o renuentes al riesgo, sostiene Garrido (2002). En ese sentido destaca que:

- 1- Un agricultor prefiere siempre un pago seguro a un pago mayor pero no seguro
- 2 Un agricultor siempre está dispuesto a sacrificar parte de su renta segura por reducir la dispersión de sus resultados. El nivel exacto de este sacrificio, el *trade-off* justo, depende del nivel de aversión individual del productor que se considere.

Alternativas para gestionar riesgos

Se distinguen dos tipos de estrategias para la gestión del riesgo en el sector de la agricultura (Meuwissen et al., 1999), dependiendo del tipo de cobertura:

- 1-Estrategias de cobertura operacional (*on-farm strategies*)
- 2- Estrategias de cobertura financiera (*risk-sharing strategies*).

Existen, además, otros tipos de estrategias para la gestión del riesgo, tales como aquellas que dependen de la confiabilidad en las políticas públicas (en caso de ocurrencia de desastres naturales o ayudas de emergencia), o el incremento de los ingresos no provenientes de la agricultura (diversificación).

Estrategias de cobertura

Las **estrategias de cobertura operacional** están centradas en la administración del giro del negocio. Entre estas estrategias se incluye la selección de productos con baja exposición al riesgo (por ejemplo, productos que están siendo beneficiados o protegidos por la intervención del gobierno), la selección de productos cuyo ciclo productivo sea relativamente corto, la implementación de programas de diversificación productiva con base en el cultivo o el mantenimiento de niveles razonables de liquidez.

Por otra parte, las **estrategias de cobertura financiera** están centradas en las alternativas e instrumentos que brinda el mercado. En este tipo de estrategias se incluyen los contratos de comercialización y producción, la integración vertical, los contratos de mercado (forward, futuros, opciones, y swaps), la participación en mutualidades y los seguros.

Otra forma alternativa de analizar las posibilidades con que cuenta un productor, consiste en considerar las diferentes etapas productivas y sus alternativas de acción. Es decir, antes de la siembra, durante el crecimiento – desarrollo del cultivo y/o luego de la cosecha o poscosecha, un productor puede tomar decisiones que le permitan otorgarle cierta estabilización o regularidad al flujo de fondos derivado de su actividad.

Veamos en el siguiente cuadro, el abanico de alternativas que pueden gestionarse a tal fin:

ALTERNATIVAS DEL PRODUCTOR AGRICOLA PARA ESTABILIZAR INGRESOS EN EL TIEMPO		
ANTES DE LA SIEMBRA	DURANTE EL CRECIMIENTO – DESARROLLO	POSTCOSECHA
1- planes de siembra, previendo rotación de cultivos 2- tratamiento de suelos, siembra directa. Uso de fertilizantes, barbecho cubierto y labranza mínima, mejoran la eficiencia en el	1- seguros agrícolas: granizo, incendio, viento, “multiriesgo” 2- otros seguros agrícolas: sobre rendimientos esperados, sobre precios, sobre ingresos por ventas, sobre neto disponible al productor, sobre pérdidas	1- almacenamiento (silos – silos bolsa o plantas de silos) a la espera de precios esperados 2- diversificación productiva con base en el cultivo, por ej.: biocombustibles, cría de animales alimentados con

<p>uso del agua permitiendo rendimientos más estables en condiciones de secano.</p> <p>3- selección de cultivos con baja exposición al riesgo detectado, por ejemplo: evitar sembrar trigo campaña 2012 por riesgo político – institucional, reemplazo por otro cultivo de cosecha fina ó uso de cultivos que toleran sequías extremas</p> <p>4- diversificación espacial: lotes productivos en zonas distanciadas entre sí (atomización del riesgo).</p> <p>5- Diversificación temporal: siembra – cosecha en distintos momentos del año.</p>	<p>catastróficas, contra crisis de ingresos⁹¹, sobre índices climáticos.</p> <p>3- futuros sobre el cultivo (cubrir riesgo precio)</p> <p>4- futuros – opciones de dólar (cubrir riesgo tipo de cambio)</p> <p>5- forwards sobre cultivos</p> <p>6- opciones sobre cultivos (call – put)</p> <p>7- derivados climáticos (cubrir riesgo volúmen)</p> <p>8- protección activa del cultivo (riego por aspersión, mallas antigranizo, riego complementario)</p>	<p>pasturas, cereales u oleaginosas de propia producción.</p>
--	--	---

Fig. 24: Alternativas del productor agrícola para estabilizar ingresos en el tiempo

Fuente: *Elaboración propia*

Por último, lo que muestran las diferentes formas de explicar cómo protegerse del riesgo por parte de los agricultores se reduce en las siguientes estrategias de gestión de riesgos:

- 1) reducir el riesgo dentro de la operación, por ejemplo a través de la diversificación de productos,
- 2) transferir el riesgo fuera la operación habitual, por ejemplo subcontratando tareas (siembra, cosecha, etc.)
- 3) fortalecer la capacidad de la operación para soportar el riesgo, por ejemplo con el mantenimiento de activos líquidos.⁹²

En este sentido, otros estudios nos hablan de la decisión del productor de mantener un determinado nivel de reservas financieras y el uso de deuda para financiar la actividad como una alternativa aplicable, aunque con mayores riesgos ante épocas de malas cosechas en términos de rendimientos.⁹³

⁹²Kaan, D. (1999). *Defining Risk and a Framework for Moving*. Towards Resilience in Agriculture: Colorado State University.

⁹³Harwood J., Heifner R., Coble K., Perry J.&Somwaru A. (1999). *Managing Risk in Farming: Concepts, Research, and Analysis*. Economic Research Service, pág.39 USDA, marzo 1999.

Políticas públicas para reducir riesgos

El Gobierno, por su parte, puede disponer la implementación de políticas e instrumentos específicos tradicionalmente usados para reducir el riesgo y la incertidumbre en la agricultura y otras no específicas, pero que contribuyen indirectamente a reducir las fuentes de inestabilidad. Las mencionaremos, pero no las describiremos pues no son objeto de la presente tesis e implican una larga serie de consideraciones que escapan a nuestro fin.

Ya aclaramos en el apartado “Fuentes de riesgo”, que estas políticas son una fuente adicional de riesgo a considerar por el productor agrícola. Ahora mencionaremos algunas formas de llevarlas adelante por parte del Gobierno.

Muchas de esas políticas agrarias se explican por la necesidad de estabilizar los ingresos, y por lo tanto los beneficios netos de los productores agrícolas.

Las políticas específicas más frecuentes y tradicionalmente implementadas en ese sentido e incluso para evitar la descapitalización, son las siguientes:

- manejo de *stocks*
- subvención a la prima del seguro agrícola
- bonificación para la construcción y/o mejoramiento de obras de riego
- programas de precios mínimos sustentados
- bandas de precios
- salvaguardias sobre precios
- programas para la recuperación de suelos degradados.

Por otra parte, las políticas no específicas más usadas para reducir el riesgo y la incertidumbre en la agricultura, son los subsidios al costo del endeudamiento (tasa de interés preferencial para créditos agrícolas), líneas de crédito agrícola, beneficios y compensaciones tributarias, subsidio al costo de insumos, subsidio de riego, generación de sistemas de información de precios y mercados y programas de empleo de emergencia.⁹⁴

⁹⁴Op. Cit. 42

Diferencias entre productos financieros derivados y seguros para la cobertura de riesgos climáticos

En esta instancia consideramos relevante resaltar las diferencias entre dos formas alternativas de lograr una cobertura ante exposiciones a riesgos climáticos:

- Estructurar productos financieros derivados, que precisamente es el tema central de este trabajo de tesis
- Adquirir seguros agrícolas tradicionales

Para el caso de la suscripción de pólizas de seguros, debe considerarse que es necesaria la existencia de las siguientes partes y elementos:

1. Asegurador: es la persona jurídica que constituida con arreglo a lo dispuesto por la legislación correspondiente, se dedica a asumir riesgos ajenos, cumpliendo lo que a este efecto establece aquella legislación, mediante la percepción de un cierto precio llamado prima. Sólo un asegurador habilitado puede emitir pólizas y asumir riesgos mediante contratos de seguros.
2. Asegurado: es el titular del interés asegurable que concierne a la cobertura del seguro, del derecho a la indemnización que en su día se satisfaga y que, en ciertos casos, puede trasladarse a un beneficiario distinto de aquel. Es la persona física o jurídica a quien el acaecimiento del siniestro va a afectarle más directamente.

En definitiva, es aquel sobre cuya cabeza o bienes van a recaer las consecuencias del siniestro. Este sujeto es esencial dentro del contrato de seguro. Porque al igual que no cabe concebir un contrato de aquella naturaleza sin la existencia de un riesgo a cubrir, tampoco resulta dable pensar un negocio jurídico de la naturaleza mencionada sin que haya una persona o destinatario final de la garantía que se pacta, y cuyos intereses, protegidos de esta suerte, son la causa eficiente del contrato.

3. Tomador: El tomador es la persona natural o jurídica que contrata y suscribe la póliza de seguro, por cuenta propia o de un tercero, asumiendo las obligaciones y derechos que en el acuerdo se establezcan.
4. Beneficiario: Es aquel sobre quien recaen los beneficios de la póliza pactada, por voluntad expresa del tomador.
5. Interés asegurable: se entiende la relación lícita de valor económico sobre un bien. Cuando esta relación se halla amenazada por un riesgo, es un interés asegurable.

6. Riesgo: es la posibilidad de que por azar ocurra un hecho que produzca una necesidad patrimonial. La finalidad del seguro consiste en proporcionar seguridad económica contra el riesgo, esta finalidad se consigue no por la supresión del acontecimiento temido (fuego, muerte, enfermedad, etc.), sino por la certeza de tener una compensación económica cuando se produzca el evento dañoso temido.
7. Prima: Es el precio del seguro o contraprestación fijado por el asegurador. Se establece sobre la base de cálculos actuariales y estadísticos teniendo en cuenta la frecuencia y severidad en la ocurrencia de eventos similares, la historia misma de eventos ocurridos al cliente, y excluyendo los gastos internos o externos que tenga dicha aseguradora.
8. Obligación del asegurador a pagar la suma asegurada: Esta obligación depende de la realización del riesgo asegurado. Esto no es sino consecuencia del deber del asegurador de asumir el riesgo asegurable. Y si bien puede no producirse el siniestro, ello no significa la falta del elemento esencial del seguro que ahora nos ocupa, por cuanto este se configura con la asunción del riesgo que hace el asegurador al celebrar el contrato asegurativo, siendo exigible la prestación indemnizatoria sólo en caso de ocurrir el siniestro, hecho que debe ser informado y probado por el asegurado.

En cambio, en las operaciones con derivados climáticos:

1. No se requiere demostrar la calificación o el cumplimiento de requisitos técnicos tanto del oferente como del demandante.
2. Las partes de una transacción para cubrir el riesgo climático, al igual que con todas las operaciones de transferencia de riesgos, deben asegurarse que están actuando de conformidad con las leyes y reglamentos aplicables en forma específica (por ej. dentro del mercado de capitales) o generales (por ej.: Código de Comercio)
3. No se necesita relacionar directamente al comprador con la propia situación, es decir que un instrumento sobre el clima no tiene que emplearse sólo como protección de las ventas - compras del propio contratante, sino que permite aprovechar las consecuencias de ciertas condiciones climáticas que pueden ser adversas para unos y beneficiosas para otros. Esto contribuye a la creación de un mercado de derivados climáticos amplio y profundo, ya que también pueden participar arbitrajistas y especuladores.

4. Resultan esenciales los términos estipulados en el contrato, como por ejemplo la región de cobertura, el periodo de referencia, el valor del ticket, el precio de ejercicio o las condiciones climáticas que tienen que ocurrir y en ese caso, quien, cómo y cuándo debe medirlas.

Diferencias entre productos financieros derivados y reaseguros para la cobertura de riesgos climáticos⁹⁵

También la propia aseguradora, luego de cubrir la demanda existente de seguros para riesgos climáticos puede optar por una cobertura financiera o reasegurar en otra compañía. El establecimiento del contrato de seguro vincula a la entidad a una compensación en el caso de que dicho riesgo se convierta en una realidad, y el pago de las primas por parte de los asegurados permite a la aseguradora compensar su riesgo por pérdida esperada, con lo cual concluye el proceso de aseguramiento.

Pero es en ese momento cuando la aseguradora puede decidir compartir o transferir su riesgo, adquiriendo reaseguro a otra compañía, dando nacimiento eventualmente a otro tipo de riesgo, esto es, la existencia de un riesgo moral⁹⁶, en el sentido que el reasegurador puede faltar a su compromiso.

La otra opción sería que recurra a un fondo o ella misma emita un producto financiero ligado a estos riesgos para lograr la dilución del riesgo moral y también el de contraparte.⁹⁷ A través de este proceso de titulización reduce a la vez, en gran medida, el riesgo moral y el de crédito o contraparte.

En definitiva, la existencia de estos intermediarios financieros (la aseguradora y eventualmente el fondo de titulización) permiten poner en contacto a los demandantes de cobertura (los asegurados) y los oferentes de la misma (los bonistas que adquieren el producto financiero).

Al recurrir al mercado financiero, se presentan ventajas concretas frente al reaseguro tradicional:

⁹⁵ Pons Ferrer V. (2003). *Derivados sobre un subyacente no negociable: valoración de una opción sobre meteorología*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

⁹⁶ El riesgo moral es un concepto económico que describe aquellas situaciones en las que un individuo tiene información privada acerca de las consecuencias de sus propias acciones y sin embargo son otras personas las que soportan las consecuencias de los riesgos asumidos. El riesgo moral nos informa de cómo los individuos asumen en sus decisiones mayores riesgos cuando las posibles consecuencias negativas de sus actos no son asumidas por ellos, sino por un tercero. Existe riesgo moral cuando una persona tiene una mayor información acerca de sus propias acciones que el resto de los individuos, esta situación provoca que, en caso de que sea otra la persona que soporta los costes asociados a la falta de esfuerzo o responsabilidad, los incentivos a esforzarse o ser responsables estén distorsionados. El riesgo moral reduce la capacidad del mercado para asignar eficientemente el riesgo.

⁹⁷ El riesgo de contraparte es aquel que genera o puede generar, la pérdida potencial por incumplimiento de la contraparte debido a una situación de iliquidez, insolvencia o falta de capacidad operativa.

- Reversibilidad: cualquier posición puede ser cerrada antes del vencimiento, si llegara el caso de que la exposición al riesgo del asegurador hubiera disminuido. En el reaseguro tradicional también es posible revertir el contrato, pero implica costos de transacción mayores y además son prácticas no recomendadas por el pequeño tamaño de nuestro mercado argentino en particular, dificultando la operatoria con los siguientes contratos que se quieran pactar.
- Selección adversa: dado que en el mercado de derivados no se conoce la contrapartida, el riesgo de selección adversa, entendido como el hecho que el reasegurado desee recuperar aquellos riesgos menos peligrosos, dejando al reasegurador la cartera de riesgos de peor calidad, queda eliminado.

Con todos los temas vistos en este apartado sobre el riesgo en el negocio agrícola en particular y sus alternativas de gerenciamiento o manejo, estamos en condiciones de afirmar que “el estado del tiempo” y el clima en su amplio sentido, juegan un papel preponderante en la actividad agrícola y sobre todo cuando es desarrollada en el modo seco, como sucede en más del 95 % de la superficie sembrada en la República Argentina.

De allí que en más, seguiremos profundizando en la gestión del riego climático como negocio con todas sus posibilidades.

En los próximos capítulos describiremos por qué la aparición de instrumentos derivados sobre riesgos climáticos han planteado nuevos desafíos en la valoración de activos. La naturaleza de los subyacentes de estos derivados presenta características únicas (no negociabilidad o imposibilidad de transporte del subyacente), que sitúan definitivamente su valoración en el marco de los mercados incompletos.

Presentaremos los métodos clásicos de valoración de activos derivados, sus limitaciones en estos casos y las distintas opciones que se plantean en la literatura para tratar de establecer un precio para estas nuevas generaciones de derivados.

Más adelante describiremos, en primer lugar, la evolución experimentada por este mercado, especialmente cómo y por qué surgió hace poco más de quince años. Luego pasaremos a la gestión de riesgos climáticos como negocio, los pasos para estructurar productos, ejemplificaremos transacciones y expresaremos diferentes puntos de vista sobre el clima que dan lugar al crecimiento de este joven mercado

mundial de derivados, el cual sin dudas ha despegado ya en Estados Unidos y en gran parte de Europa y Asia.

Introducción a la valoración de activos derivados en mercados incompletos

Antes de la difusión de la teoría de valoración de derivados, el valor de éstos se determinaba como se lo haría con una lotería, o sea en base a:

- Conocimiento de pagos futuros, en términos de un subyacente⁹⁸
- Utilización de factores de descuento para traer a valores presentes
- Aplicación de ajustes por riesgo, según preferencias del inversionista

El modelo de Black – Scholes – Merton de principios de la década de 1970 forzó un giro radical, pues partió de considerar que si se puede replicar un derivado, su valor debe ser igual al valor del portafolio replicante; caso contrario habría oportunidades de arbitraje. A partir de allí ignoramos preferencias, pues para valorar derivados sólo es necesario contar con:

- La función final de pago
- La estructura de la tasa libre de riesgo
- La estructura de volatilidad del subyacente

La replicación elimina el riesgo, no se admite como posibilidad el arbitraje, cualquier agente valora de la misma manera un derivado. Existe una probabilidad de neutralidad al riesgo si y solo si no hay arbitraje y ésta probabilidad es única si y solo si el mercado modelado es completo.

Como ya dijimos, la aparición de activos derivados sobre el riesgo de catástrofes, respecto de la electricidad o la meteorología plantea nuevos retos para la valoración de activos, ya que la naturaleza de los subyacentes de estos derivados presenta características únicas (no negociabilidad, o imposibilidad de transporte - almacenaje del subyacente), que sitúan definitivamente su valoración en el marco de los mercados incompletos.⁹⁹

La valoración relativa de activos tiene como elemento central la noción de arbitraje. El arbitraje, en esencia, se define como la posibilidad de obtención de un beneficio seguro sin coste ni riesgo alguno, mediante la composición de carteras de activos. La ausencia de este tipo de oportunidades, esto es, cuando no es posible garantizar rendimientos en exceso sin exposición al riesgo, conforma una estructura donde los precios de todos los activos se encuentran ligados.¹⁰⁰

⁹⁸Subyacente: Es la variable que a lo largo de la vida del contrato determinará el valor del contrato y el resultado favorable para una parte y desfavorable para la otra.

⁹⁹Pons Ferrer V. (2003). *Derivados sobre un subyacente no negociable: valoración de una opción sobre meteorología*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

¹⁰⁰Op. Cit. 99

Recordemos que un mercado se denomina completo cuando todos y cada uno de los *payoffs* identificables, se pueden replicar usando instrumentos disponibles en ese mercado. Si los mercados son completos, entonces la ligadura entre precios que antes mencionamos, es única, permitiendo a los agentes una referencia común para el precio de los activos.

Por otro lado, la definición básica de un mercado incompleto se refiere a la existencia de un mayor número de fuentes de incertidumbre que de activos ligados a ellas que permitan cubrir su riesgo. Esta razón imposibilita la composición de carteras que repliquen los pagos, al existir estados de la naturaleza en los cuales los activos disponibles no reaccionan. Desde el punto de vista probabilístico, existe una multiplicidad de probabilidades de riesgos neutrales, y por tanto, una diversidad de valoraciones.¹⁰¹

Un derivado se puede definir como un instrumento financiero cuyo valor depende, se deriva, del valor de otras variables subyacentes más básicas. Comúnmente las variables subyacentes de los derivados son los precios de bienes negociables. Una opción sobre acciones, por ejemplo, es un derivado cuyo valor depende del precio de la acción.¹⁰²

¿Qué sucede en el caso de los derivados climáticos? El subyacente no es un activo; sino que se trata de datos puntuales o acumulados, o eventualmente de índices contruidos a partir de mediciones.

En el caso de las opciones climáticas en particular, instrumento financiero central de esta tesis, el modelo de Black – Scholes - Merton para valorar opciones no puede ser aplicado por el motivo antes mencionado de no poder cumplir con uno de los supuestos básicos del mismo: la existencia de un activo subyacente negociable, en forma continua, a partir del cual se valúa la opción.

Clasificación de instrumentos derivados

Teniendo en cuenta, entonces, este criterio de posibilidad o no de negociar el subyacente, podemos efectuar la siguiente clasificación¹⁰³ de activos derivados:

1. **Activos derivados cuyo subyacente es negociable:** comprende todos aquellos derivados que no son objeto propiamente de este trabajo y que habitualmente se comercializan en el mercado financiero, los que pueden

¹⁰¹Op. Cit. 99

¹⁰²Hull, J. (1997). *Options, Futures, and other Derivates*. (5ta ed.). N. Jersey: Prentice Hall, 2003.

¹⁰³Op. Cit. 99

valuarse por los métodos tradicionales de Black – Scholes y/o método binomial. Inclusive los derivados sobre electricidad estarían dentro de este grupo como caso particular, pues la electricidad *spot* como tal es negociable, pero presenta la dificultad de su almacenamiento, el cual es imposible (salvo que se trate de hidroelectricidad) lo que implica el colapso de la relación de arbitraje habitual entre el precio *spot* y el precio *forward*, ya que para ello se requiere la posibilidad de mantener el subyacente hasta la fecha de vencimiento del *forward (cost and carry)*. Del mismo modo la cobertura delta de las opciones¹⁰⁴ queda invalidada, al ser necesario comprar y mantener en cartera durante cierto período de tiempo. Inclusive y analizando el caso en detalle, la electricidad presenta dificultades no sólo de arbitraje en el tiempo, sino también en el espacio, ya que existen estrictas limitaciones en lo referente a su posibilidad de transporte, bien sea por razones económicas o puramente físicas. En síntesis, existe un mercado *spot* de electricidad, pero la electricidad no puede considerarse un activo transable. Para efectos prácticos, no es posible tomar y mantener una posición larga en electricidad *spot*.

2. **Activos derivados cuyo subyacente no es negociable:** la no negociabilidad se define como la imposibilidad de realizar transacciones sobre un activo. Esta primera definición lleva a plantearse la causa de la imposibilidad de negociar, y en el caso que nos ocupa en esta tesis, la razón es que no se trata de un activo, sino de mediciones o índices construidos a partir de estas mediciones. Por tanto, un derivado sobre un subyacente no negociable se define como un activo cuyo valor depende de la evolución de una variable de estado, la cual no se negocia.

Dentro de esta última clasificación, encontramos los derivados sobre catástrofes y los derivados sobre meteorología o el clima, en términos generales. En este último caso, es el tiempo atmosférico el que aporta el *input* necesario para determinar el valor de la función de pagos del derivado. Queda entonces invalidada la posibilidad de valoración mediante las técnicas básicas de arbitraje, al no ser posible la toma de posiciones en el subyacente; es decir, al no poder negociarlo.

¹⁰⁴Intuitivamente lo definimos como el número de unidades del subyacente (por ej. acciones) que debemos mantener en cartera por cada opción vendida en corto, para crear una cobertura libre de riesgo.

Consideramos que para poder analizar y comprender las diferencias y particularidades con que nos encontramos al intentar crear y valorar una opción sobre el clima en particular, es necesario comprender las nociones centrales desarrolladas desde la teoría financiera para la valuación de opciones en mercados completos. Esto incluye la mención de un aspecto clave de estos modelos como lo son los supuestos a partir de los cuales se creó el cuerpo teórico correspondiente.

Instrumentos financieros derivados

El desarrollo de los instrumentos financieros derivados surgió de la necesidad de aislar los riesgos específicos y protegerse de ellos. El punto de inflexión, para comenzar a utilizar estos instrumentos tuvo lugar a comienzos de la década de 1970 con la caída del sistema internacional de tipo de cambio fijo, establecido en la conferencia de Bretton Woods de 1944 y mantenido por el Fondo Monetario Internacional. Desde entonces, las divisas han flotado libremente. Junto a ese acontecimiento se dio la desaparición gradual de los topes a las tasas de interés impuestos por los gobiernos. No mucho después vinieron los shocks inflacionarios en el precio del petróleo y las fluctuaciones desmedidas en las tasas de interés. En suma, los mercados financieros eran más volátiles que en ningún otro momento desde la Gran Depresión.¹⁰⁵

Los bancos y otros intermediarios financieros respondieron al nuevo contexto desarrollando productos financieros de gestión diseñados para controlar mejor el riesgo. Los primeros eran simples forwards de tipo de cambio que obligaban a una contraparte a comprar y a la otra a vender una cantidad fija de divisas en una fecha futura acordada. Al celebrar un contrato de forward de tipo de cambio, los clientes podían compensar el riesgo que grandes movimientos en los tipos de cambio pudieran destruir la viabilidad económica de sus proyectos en el extranjero. Así, originariamente los derivados estaban destinados a ser usados para cubrir eficazmente algunos riesgos y, de hecho, esa fue la llave que destrabó su desarrollo explosivo.¹⁰⁶

Seis grandes fuerzas del mundo financiero han jugado un rol importante, para el crecimiento de la utilización de este tipo de operaciones, ellas son: las compras con alto endeudamiento; los planes de acciones para empleados (compra de acciones

¹⁰⁵Siems, T.F. (2000). *Mitos sobre los Instrumentos Financieros derivados*. ArgentineDerivativesAssociation (ADA), Reporte Año II, n. 7:2000.

¹⁰⁶Op. Cit. 105

de la firma para la que trabajan, como bonus por el rendimiento); las reglas de capital basadas en activos a riesgo (medición del capital regulatorio de Instituciones financieras, más sensible al riesgo: Basilea II); los mercados más volátiles; la desregulación y las nuevas tecnologías de la información.¹⁰⁷

Estos instrumentos, le han cambiado la cara a las finanzas creando maneras nuevas de comprender, medir y administrar los riesgos, por lo cual éstos deberían ser considerados por cualquier empresa para asegurarse que se aprovechen oportunidades de inversión que aumenten el valor. En una filosofía orientada al mercado, los derivados permiten el libre comercio de componentes de riesgo individuales, mejorando así la eficiencia de los mercados.¹⁰⁸

La principal finalidad de estos instrumentos es gestionar riesgos vinculados al subyacente, como puede ser el riesgo precio.

Dado que el intercambio o negociación de derivados permite que el riesgo, o la exposición de mercado, sea transferido de una persona/institución a otra, un comité del BPI¹⁰⁹ (llamado Comité Hannoun, por el nombre del que lo preside) estudió si la negociación de derivados afectaba al mecanismo de transmisión, y llegó a la conclusión de que no existía un efecto significativo en los mercados estudiados. A una conclusión similar llegó un documento del Fondo Monetario Internacional (“Efecto de los derivados sobre la transmisión de política monetaria”, fechado en septiembre de 1997):

“Teóricamente, la negociación de derivados acelera la transmisión a los precios de los activos financieros, pero los cambios en la transmisión a la economía real son ambiguos. [En] un estudio de la economía del Reino Unido...no se encontró ninguna prueba empírica definitiva de un cambio en el mecanismo de transmisión.”

Tipos de negociantes¹¹⁰ y usos de los derivados

Podemos identificar tres grandes categorías generales de negociantes:

¹⁰⁷Brooks D.E., Fichtenbaum M.A. y Herz R.H. (1993). Guía de Instrumentos financieros. Coopers&Lybrand / Harteneck, Lopez y Cía. Argentina.

¹⁰⁸Op. Cit. 105

¹⁰⁹Los datos acerca de los mercados mundiales de derivados son proporcionados por el Banco de Pagos Internacionales (BPI). No rinde cuentas ante ningún gobierno. El BPI lleva a cabo su trabajo a través de los comités, de las secretarías que alberga y a través de la Asamblea General de todos sus miembros. También presta servicios bancarios, pero solamente a bancos centrales o a organizaciones internacionales. Tiene su sede en Basilea, Suiza. Fue fundado por los Acuerdos de La Haya de 1930. Su nombre oficial en alemán es Bank für Internationalen Zahlungsausgleich (BIZ). Tiene dos oficinas de representación, una en Hong-Kong y otra en Ciudad de México. Christian Noyer, Gobernador del Banco de Francia, es el Presidente del Consejo de Administración del BPI desde marzo de 2010.

¹¹⁰Hull, John C., Introducción a los Mercados de Futuros y Opciones, Sexta Edición, Pearson Educación, México, 2009

- **Coberturistas (*hedgers*):** usan los contratos de futuros, a plazo y de opciones para reducir el riesgo al que se enfrentan por cambios futuros en una variable del mercado, mitigando los efectos adversos en los precios. La cobertura reduce el riesgo, pero el resultado con el uso de cobertura no necesariamente será mejor que el resultado sin el uso de la misma.
- **Especuladores:** utilizan los instrumentos derivados para apostar sobre la dirección futura de una variable del mercado, logrando beneficios a través del denominado apalancamiento¹¹¹. Los especuladores no se cubren de los riesgos sino que los asumen con la esperanza de obtener una ganancia. En un mercado sin individuos que asumieran riesgos, sería difícil si no imposible, que los compradores y los vendedores de coberturas se pusieran de acuerdo sobre un precio, debido a que los vendedores (con coberturas cortas o de venta) siempre desean obtener el precio más alto posible, mientras que los compradores (con coberturas largas o de compra) desean el precio más bajo posible. Los especuladores cierran esa brecha entre la oferta y la demanda y hacen que el mercado sea más efectivo en cuanto a los costos.
- **Arbitrajistas:** toman posiciones de compensación simultáneas en dos o más instrumentos para obtener un beneficio seguro y libre de riesgos.

Grupos de contratos de instrumentos financieros derivados¹¹²

De acuerdo a la clasificación utilizada por los autores referidos, existen cuatro grandes grupos de contratos de instrumentos financieros derivados:

- Contratos a Término, denominados *Forwards*
- Contratos de Futuros
- Contratos de Canje, denominados *Swaps*

¹¹¹ Apalancamiento: es la relación de capital propio y capital de crédito que componen el capital total utilizado en una inversión u otra operación financiera. En otras palabras, es una herramienta que permite comerciar grandes volúmenes con una cantidad de dinero disponible mucho menor. Como fuente de capital de crédito se pueden utilizar préstamos, capital de margen o deuda. El apalancamiento en mercados financieros se realiza a través del uso de margen en productos como opciones, futuros, derivados, etc, los que se conocen como productos de margen o marginados (del inglés *margin*). El apalancamiento ayuda a inversores y empresas a invertir u operar pero con un mayor riesgo ya que el apalancamiento de una operación financiera o de una inversión aumenta tanto el beneficio como las pérdidas. El apalancamiento también aumenta el riesgo de la contraparte del inversor o empresa. Así por ejemplo, el uso de apalancamiento de un *trader* aumenta el riesgo de la contraparte (en la mayoría de casos de *trading* al por menor es el propio *dealer* o *broker*). En este sentido, los requerimientos de margen o el *margin call* (llamada de margen) son herramientas legales con las que cuentan los corredores (*dealers* o *brokers*) para disminuir el riesgo que asumen como contraparte de transacciones de sus clientes, además de limitar cuantitativamente el apalancamiento máximo que pueden utilizar sus clientes (máximo que puede estar limitado a su vez por los organismos reguladores). Fuente: <http://www.efxto.com/diccionario/a/3924-apalancamiento#ixzz3145Z1bA3>

¹¹² Op. Cit 107

- Contratos de Opciones

Los contratos de Canje o *Swaps*, a su vez, pueden clasificarse en:

- *Swaps* de Tasa de Interés
- *Swaps* de Moneda Extranjera
- *Swaps* de Hipotecas

Contratos a término¹¹³

Son contratos legales entre dos partes que compran y venden una cantidad específica de un producto (título público, moneda extranjera, *commodities* u otro instrumento financiero) a un precio especificado ahora, con entrega y liquidación convenida para una fecha futura.

El propósito de estos contratos es usarlos básicamente como protección, aunque en algunos casos también son utilizados en forma especulativa ya que al poder ser adaptados a cantidades y vencimientos específicos, agregan un elemento de flexibilidad. Tienen por objeto primario la eliminación del impacto de la volatilidad al igual que los contratos de Futuros.

Los activos subyacentes financieros más comunes para este tipo de contrato son índices, tasas de interés y divisas.

Características:

- No son estandarizados
- Son negociados directamente por las partes quienes definen los términos de la operación (mercado OTC *Over the Counter*)¹¹⁴
- No hay posibilidad de abandonar la posición antes del vencimiento sin el consentimiento de la otra parte
- No existe mercado secundario por cuanto las transacciones no tienen cotización en un mercado formal
- Las partes asumen todas las responsabilidades de la transacción por lo que existe riesgo de incumplimiento de la contraparte
- Las partes determinan, inicialmente en el contrato, las garantías de las transacciones.

¹¹³ Op. Cit. 102

¹¹⁴ Mercado OTC: mercado no inscripto en la bolsa. Consiste en una red de agentes de bolsa, vinculados por teléfono y computadora, que no se reúnen físicamente. Los participantes del mercado tienen la libertad de negociar cualquier acuerdo que sea mutuamente atractivo.

Contratos de futuros¹¹⁵

Son contratos legales negociados en un mercado para comprar o vender una cantidad y calidad estándar de un producto, instrumento financiero o índice en una fecha futura a un precio determinado.

Quienes lo utilizan como medio de protección lo hacen para cubrirse contra las pérdidas que podrían generarse si los precios del producto o la tasa de interés cambiaran adversamente.

Quienes lo utilizan como medio especulativo lo hacen para tratar de capitalizar las subas y bajas de los contratos mismos.

Características:

- Son estandarizados
- Se negocian en el ámbito de mercados institucionalizados
- Los datos de las transacciones concertadas son registrados diariamente y difundidos públicamente
- Una vez registradas las operaciones las partes pierden identidad y el mercado asume la posición de contraparte
- Todos en la misma serie tienen un mismo monto o unidad de negociación, fecha de vencimiento, márgenes de garantía, porcentaje o monto de fluctuación diariamente admitida
- Diariamente, al finalizar las ruedas de negociación, cada contrato tiene un precio de ajuste o precio de cierre que deriva de los precios registrados al finalizar la rueda de ese día y que se utiliza para determinar los márgenes de variación
- Antes del vencimiento las partes pueden cancelar las posiciones tomadas realizando la operación inversa
- Al vencimiento la transacción puede cancelarse por la entrega del activo subyacente o por la entrega en dinero de la diferencia entre el último precio de ajuste y el índice desarrollado por el mercado o por terceros.

Contratos de canje o *swaps*

Un *swap* es un acuerdo entre dos empresas para intercambiar flujos de efectivo en el futuro. El acuerdo define las fechas de pago de los flujos de efectivo y cómo deben calcularse.¹¹⁶

¹¹⁵ Op. Cit. 102

¹¹⁶ Op. cit. 110

Otra definición explica que:

“(…) constituyen transacciones financieras en las que dos partes contractuales acuerdan canjear periódicamente flujos monetarios en el tiempo con la particularidad que un flujo es fijo y el otro flujo, en la dirección opuesta, es variable.

Se intercambia únicamente el neto del flujo fijo con el flujo variable.”¹¹⁷

Dentro de este grupo de contratos, tenemos las siguientes alternativas:

Swaps de tasas de interés

Es un contrato entre dos partes para intercambiar pagos de interés sobre un monto de capital especificado, denominado capital nominal de referencia, por un período preestablecido. En el caso más común, el *swap* incluye el intercambio de flujo de interés a tasa fija y flujo a tasa variable.

Este tipo de contrato es utilizado porque le permite al tomador captar fondos en el mercado que sea el más accesible para él y luego intercambiar los pagos de interés por el otro tipo que le resulte más conveniente.

Swaps de moneda extranjera

Es un intercambio de capitales determinados en dos monedas distintas, al tipo de cambio corriente, bajo un acuerdo de rembolsar el capital en una fecha futura determinada, al tipo de cambio vigente en ese momento.

Los intereses son pagados por las partes usualmente en base a las tasas de interés disponibles para ambas monedas en el momento de celebrarse el acuerdo.

Algunos *swaps* de moneda extranjera pueden no contemplar el intercambio de capitales, sino sólo el de los flujos de interés.

Este tipo de contrato le permite a los tomadores convertir la moneda de una deuda en otra que le resulta más beneficiosa.

A diferencia de los mercados para operaciones a término, futuro u opciones para los cuales el mercado a largo plazo es casi inexistente, los *swaps* de moneda extranjera pueden abarcar varios años.

Swaps de hipotecas¹¹⁸

Es un contrato entre dos partes para intercambiar la diferencia, entre un pago a tasa fija y otro a tasa flotante sobre un importe de capital nominal o de referencia, que decrece en proporción a los pagos mensuales normales y los pagos anticipados, de un grupo indexado de títulos garantizados por hipotecas por un período especificado.

¹¹⁷ Op. Cit. 107

¹¹⁸ Op. Cit. 107

También se lo conoce como hipoteca sintética. El comprador puede elegir entre la entrega o la liquidación en efectivo a la finalización del contrato.

Los swaps de hipotecas pueden ser parte de un arreglo financiero que reduce los costos financieros o disminuye la exposición a riesgo de tasa de interés.

Se utilizan a menudo para proteger las franjas de interés en los títulos garantizados por hipotecas para las sociedades de ahorro y préstamo.

Estos swaps difieren de los de tasa de interés en que el monto del capital nominal va decreciendo para reflejar las cobranzas recibidas y las cancelaciones anticipadas, además, la cancelación puede consistir en la entrega de títulos al fin del contrato.

A través de estas clases de instrumentos es factible eliminar total o parcialmente un riesgo o incluso canjearlo por otro más conveniente.

Contratos de Opciones

Son contratos mediante los cuales una parte (el tomador o titular), mediante el pago de una suma de dinero (prima), adquiere el derecho (pero no contrae la obligación) de exigir a la otra parte (el lanzador) la compra (opción de compra o call) o la venta (opción de venta o put) de ciertos subyacentes (activos determinados, contratos de futuros o índices) a un precio fijo predeterminado (precio de ejercicio), durante un período preestablecido (opciones de tipo americano), o en cierta fecha (opciones de tipo europeo).

Las opciones pueden asemejarse en alguna medida a los seguros desde el punto de vista que quien compra el *call*, le transfiere el riesgo que el activo baje a quien vende el *call*. Por lo tanto, el que lo vende actúa como compañía de seguros, por lo cual soporta todo el riesgo. Dado que ninguna compañía de seguros puede quedarse totalmente expuesta a este riesgo si pretende perdurar en el tiempo, se verá luego como hace para cubrirse.

Estos contratos son utilizados como medio de protección contra cambios en los precios de acciones o productos con cotización, tasas de interés o tipos de cambio.

Debido a que son derechos y no obligaciones, las opciones posibilitan al tenedor la obtención de beneficios derivados de cambios favorables en el ítem objeto del contrato, lo que las diferencia de las demás formas de protección.

Las opciones pueden ser o bien *puts* (de venta) o *calls* (de compra). Un put da al tenedor de la opción el derecho de vender el ítem subyacente a un precio especificado (figura 25), y un call le da derecho de comprar el ítem (figura 26). Como

el contrato es asimétrico, el vendedor de la opción, está obligado a completar la transacción si el tenedor así elige, pero no viceversa. El lanzador de la opción recibirá siempre una prima, mientras que en los contratos a plazo, el contrato es simétrico y no se paga prima.

Los gráficos expuestos a continuación tienen por objetivo visualizar los conceptos y su funcionamiento sin utilizar notación específica ni traducirlo a números concretos. Claramente podemos observar cómo se gana o se pierde con las posiciones inversas de cada contrato, en forma simétrica.

De acuerdo con John Hull¹¹⁹, hay cuatro tipos de posiciones:

1. Adoptadas por los compradores o tomadores:
 - Posición larga en una opción de compra (*LONG CALL*)
 - Posición larga en una opción de venta (*LONG PUT*)
2. Adoptadas por los vendedores o lanzadores:
 - Posición corta en una opción de compra (*SHORT CALL*)
 - Posición corta en una opción de venta (*SHORT PUT*)

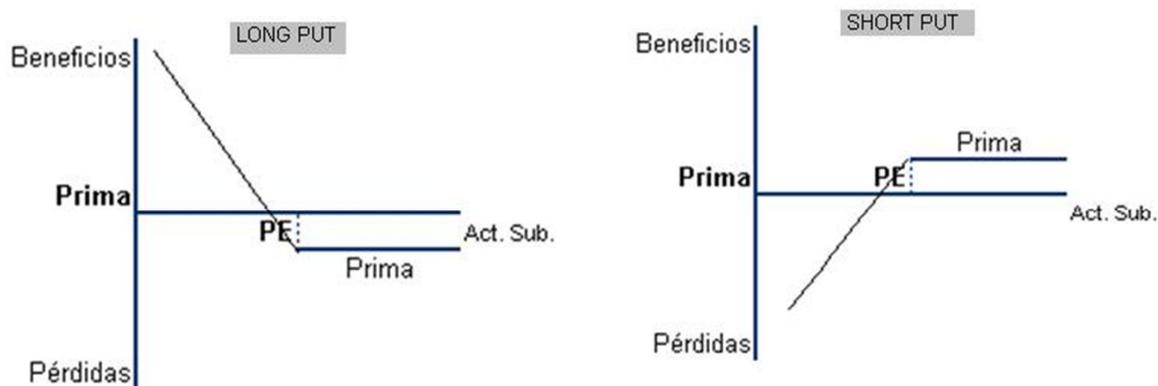


Figura 25: compra y venta de un contrato de opción de venta

PE: precio de ejercicio

¹¹⁹Op. Cit. 110

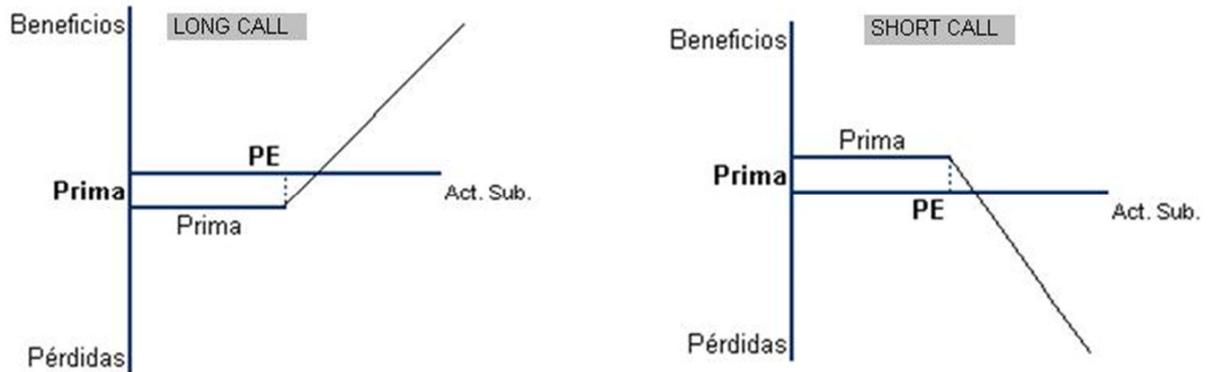


Figura 26: compra y venta de un contrato de opción de compra
PE: precio de ejercicio

Características:

- Las opciones pueden o no tener cotización en un mercado institucionalizado.
- Los contratos de opción pueden tener como subyacente bienes fungibles con cotización, índices representativos de aquellos u otros instrumentos derivados como ser contratos de futuros o *swaps*.
- La pérdida potencial está acotada (precio) para el tomador. Los compradores o tomadores disfrutan de un riesgo limitado y de una ganancia potencialmente ilimitada. En caso extremo lo máximo que se puede perder será la prima pagada, distinto al caso del uso de futuros, donde tanto las ganancias como las pérdidas son ilimitadas.
- La cobertura con opciones se convierte en una herramienta más flexible, que aquellas posiciones cubiertas con futuros o que nunca tuvieron algún tipo de cobertura.
- Los compradores de opciones no tendrán que depositar ningún tipo de margen ni tendrán llamadas de margen. Su desembolso de dinero se limita a la prima que va a pagar por comprar su opción.
- El valor de las opciones disminuye conforme el tiempo transcurre. Los compradores de opciones sufrirán una constante erosión en el valor en el tiempo de su opción.
- La bursatilidad de las opciones es menor que la de los futuros, ya que se reparten entre los meses de vencimiento, precios de ejercicio y tipo de opción.

Retomaremos conceptos específicos del contrato de opciones por tratarse del contrato elegido para el desarrollo de esta tesis, pero antes expondremos algunas consideraciones generales sobre los instrumentos financieros derivados.

Ámbitos de negociación de los instrumentos financieros derivados¹²⁰

<i>Mercados Institucionalizados</i>	<i>Mercados OTC / Extrabursátiles</i>
Derivados disponibles:	Derivados disponibles:
Futuros	<i>Forwards</i>
Opciones	Opciones
	<i>Swaps</i>
Contratos estandarizados	Flexibilidad en el objeto y términos de contratación
Precios transparentes y de público conocimiento (rueda electrónica o de viva voz- <i>open outcry</i>)	Precios acordados en forma privada (concertación telefónica o vía electrónica vía <i>dealers</i>)
Negociación con Contraparte Central (CC). En todas las negociaciones, la contraparte es el mercado, que garantiza el cierre de la operación.	Negociación Bilateral
Sistema de garantías	Riesgo de Contraparte
Cobertura aproximada pues los contratos estandarizan fechas y cantidades	Cobertura exacta, diseñada a medida

Los mercados de derivados, tanto negociados en bolsas como *OTC* son de gran magnitud en cuanto a volumen negociado. Aunque las estadísticas que se recolectan para los dos mercados no son exactamente comparables, es evidente que el mercado *over the counter* es mucho mayor que el negociado en bolsa.¹²¹

Los ámbitos de negociación en la República Argentina, junto a un breve resumen de su funcionamiento, son los siguientes:

¹²⁰ Marcus, J.J. (ed.) *Informe Derivados Financieros*. Informe n. 36, julio 2011, Rosario: ROFEX.

¹²¹ Op Cit. 110

Mercados Institucionalizados	Mercados OTC / Extrabursátiles
<p><u>Agropecuarios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • MATBA (1907): www.matba.com.ar <p><u>Agropecuarios y Financieros:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • ROFEX (1909): www.rofex.com.ar 	<p><u>Agropecuarios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bolsas de Cereales, operaciones en directo entre exportadores/ industria y acopios / productores • Mercado de Invernada y cría <p><u>Financieros:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • OCT – MAE (2005): www.mae.com.ar

MATBA – Mercado a término de Buenos Aires:

El 3 de julio de 1907 el Presidente de la Nación, Dr. José Figueroa Alcorta, creó una comisión que tenía como consigna el estudio de la organización del Mercado a Término de Buenos Aires.

El 17 de octubre de 1907 se aprobaron los Estatutos de la Asociación de Cereales de Buenos Aires sobre el modelo de la *Liverpool Corn Trade Association*, ya que a principios de esta centuria, el capital británico jugaba un papel importante en nuestro país y comerciantes de granos de Liverpool tenían sus oficinas en la Argentina. Fue el primer mercado de América en garantizar operaciones y el primero en establecerse en Latinoamérica. El Mercado a Término de Buenos Aires S.A. es una sociedad de derecho privado que registra y garantiza operaciones de futuro y opciones.

En 1991 el Mercado cambió su denominación por la actual de " MERCADO A TERMINO DE BUENOS AIRES S.A." En 1992 se incorporó la operatoria de opciones y en el 2000 se puso en funcionamiento el Mercado Electrónico (Mateba).

ROFEX:

El 19 de noviembre de 1909 se fundó el "Mercado General de Productos Nacionales del Rosario de Santa Fe S.A.". En 1978 se cambió la denominación de la sociedad por "Mercado a Término de Rosario S.A.", y se elevó el Capital Social de la empresa.

En el año 1993 la Comisión Nacional de Valores (CNV), dictó la RG N° 10.278 mediante la cual resolvió considerar el Mercado a Término de Rosario S.A., como una entidad autorregulada.

En el año 2011 ROFEX recibe el premio de la Revista FOW (*Futures and Options World*), por ser el Mercado más innovador en lo que respecta al desarrollo de productos en Latinoamérica.

En ROFEX funcionan dos divisiones de negocios: Derivados financieros y Derivados Agropecuarios.

MAE - Mercado Abierto Electrónico:

Como antecedente histórico, el Mercado Abierto de Títulos Valores comenzó su desarrollo en 1970 a partir de la sanción de la Ley 17.811, tornándose operativo al promediar esa década. Pero es a partir de 1980 cuando sus operaciones se expanden notablemente llegando contar con más de 450 agentes.

Luego, conforme a las tendencias mundiales de la época donde ya se empezaban a utilizar las primeras herramientas electrónicas como medio natural para la concreción de transacciones, la Comisión Nacional de Valores comenzó a avizorar la obligatoriedad del uso de la informática como medio transaccional. A tal fin se impulsó la creación de una corporación que funcionara como un ámbito electrónico para la realización de operaciones over-the-counter, a través de lo que sería la sanción de la Resolución N° 121 dictada en el año 1988.

En la misma se estableció que todos los agentes (*Broker-Dealers*) intervinientes en el Mercado, deberían estar interconectados a través de un sistema electrónico para la realización de sus operaciones. Así nació en la ciudad de Buenos Aires, el Mercado Abierto Electrónico S.A.(MAE).

El M.A.E. es el mercado electrónico de valores negociables de deuda y de negociación de moneda extranjera más importante de la Argentina. El mismo, está basado en una plataforma electrónica modular a partir de soportes informáticos específicos, donde se transan títulos de renta fija tanto públicos como privados, divisas, operaciones de pases, y se concretan operaciones de futuros con monedas y tasa de interés. Complementariamente, este soporte tecnológico es utilizado en las licitaciones de letras y bonos del Banco Central de la República Argentina y en la colocación primaria de títulos del Estado Nacional como así también para transacciones con moneda extranjera.

Entre otros, forman parte del MAE los Bancos Privados y públicos, Compañías Financieras, Casas de Cambio y Agentes privados.

El entorno OCT - MAE está diseñado para la concertación, registro y liquidación de operaciones a término sobre distintos tipos de activos subyacentes, moneda extranjera, tasas e índices, en las que la modalidad de negociación implica que no habrá entrega del subyacente al momento de la liquidación, sino que ésta se realiza mediante el pago en efectivo de la diferencia entre el precio a término pactado en la operación y el precio del subyacente en la fecha de liquidación.

Inicialmente las operaciones admitidas se concentran en activos financieros, específicamente moneda extranjera, para su compra o venta a término en diferentes plazos preestablecidos. Como habitualmente sucede en los mercados de futuros, durante la vigencia de la operación las partes se obligan a liquidar diariamente las posiciones abiertas mediante el mecanismo de *mark to market*, este proceso permite controlar el riesgo de precio y de crédito asociado a este tipo de productos.

Adicionalmente el MAE ha incorporado un Sistema de Garantías entre partes que contribuye al cumplimiento de los objetivos de control de riesgo.¹²²

Precisamente este aspecto, el riesgo, es una definición central a ser considerada para el caso de las inversiones en general y los instrumentos financieros derivados, en particular.

¹²² Extraído de http://www.mae.com.ar/institucional/acerca_de_mae.aspx . Entrada mes de abril de 2014.

Riesgos de instrumentos financieros derivados

Los derivados originan pocos riesgos completamente nuevos en sí mismos y que previamente ya no existan para el activo financiero subyacente que los origina. Al igual que la mayoría de los productos, generan exposiciones al riesgo de mercado y al riesgo de crédito o de contraparte, así como la acostumbrada serie de riesgos operativos.

Sin embargo, los derivados a veces pueden reempaquetar los riesgos en formas bastante complejas. Esto puede resultar en una mala comprensión de la exposición a estos riesgos y a una mala fijación de precios. Los derivados pueden permitirles a los agentes aceptar grandes exposiciones a los riesgos de mercado a cambio de desembolsos iniciales de efectivo relativamente pequeños. Esto se conoce como efecto de apalancamiento, tal como vimos y explicamos al hablar de los especuladores como negociantes que intervienen en los mercados de derivados.

Existen dos tipos de riesgos que son inherentes a todas las operaciones financieras, a saber:

- **Riesgo sistemático o de mercado:** es el riesgo inherente al propio mercado, que no puede eliminarse mediante diversificación. Se puede pensar, por ejemplo, en las variables de la economía que afectan a casi todos los activos por igual, por lo tanto ninguno escapa a su influencia.
- **Riesgo no sistemático o único:** es el riesgo específico de una empresa o sector, por ejemplo, una acción farmacéutica puede subir o bajar si se retira el presidente y creador de la misma, o si atraviesa particularmente una situación de iliquidez o insolvencia. Pero vemos que son acontecimientos o datos independientes de lo que suceda con el resto del sector. La diversificación permite reducir o casi eliminar el riesgo único, no así el de mercado.

Cuando veamos por qué estimamos que puede convenir la inclusión de instrumentos derivados sobre el clima en carteras de inversión, nos explayaremos aún más en esta noción de riesgo sistemático y de riesgo único.

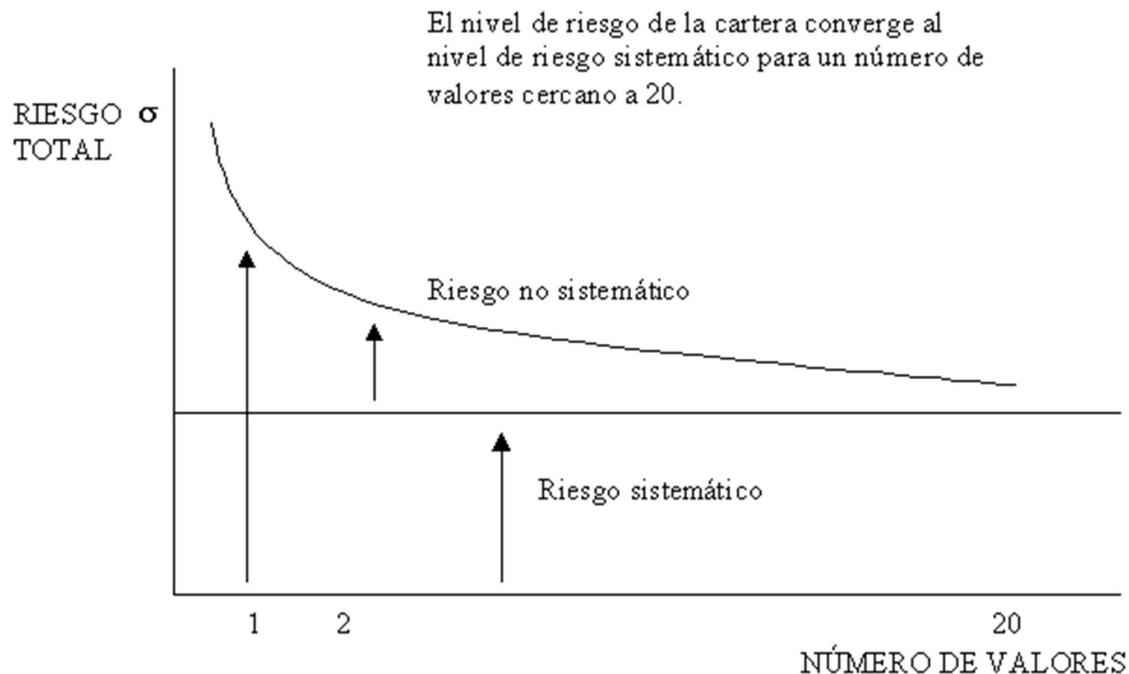


Fig.27: Riesgo sistemático y no sistemático

Fuente: extraído de <http://usuarios.tinet.cat/florems/bolsa0.html>

Como se observa con 20 o más activos en una cartera, se minimiza significativamente el riesgo no sistemático, aunque dicha definición teórica llevada a la práctica es relativa, dado que si se invirtiera todo el capital de un fondo de inversión conformado, por ejemplo, por 25 acciones de aerolíneas norteamericanas, el mismo se encontraría demasiado concentrado en un sector y en un país.¹²³

Los instrumentos financieros derivados exponen tanto a los emisores como a los inversores a varios tipos de riesgos, en algunos casos ya existentes tal como antes dijimos, pero sin dudas potenciados con el uso de derivados. Quiebras muy publicitadas de instituciones financieras y grandes pérdidas sufridas por otras empresas se han atribuido a la falta de comprensión de los riesgos de los instrumentos financieros por parte de inversores y/o emisores.

Desafortunadamente dichas pérdidas se produjeron, sobre todo, por la falta de conocimiento de los propósitos y riesgos de los instrumentos financieros. Existe una tendencia hacia una creciente complejidad de las transacciones con instrumentos financieros que hace que el conocimiento de los riesgos sea cada vez más dificultoso, pero de todos modos debe realizarse para cada transacción un análisis de los efectos económicos, para conocer los riesgos potenciales y así intentar evitar muchos problemas futuros. Tampoco hay que olvidar las implicancias del riesgo

¹²³Elbaum, M.A.(2004). *Administración de carteras de inversión*. (1ªed.). Buenos Aires:Macchi.

moral relacionado a la eventual comisión de acciones fraudulentas por parte de los involucrados como otra forma del riesgo, siempre presente en las transacciones financieras.

Si bien cada emisor e inversor deberán analizar los riesgos específicos que trae aparejados cada operación en particular, el primer análisis que debe hacerse es sobre los riesgos inherentes que traen consigo cada uno de los tipos de derivados, que son tres: riesgo de precio, riesgo de crédito y riesgo de liquidez.¹²⁴

Riesgo de precio

Existen tres tipos de riesgo de precio, estos son:

Riesgo de cambio: consiste en que el valor del instrumento fluctúe debido a variaciones en el tipo de cambio.

Riesgo de tasa de interés: consiste en que el valor de un instrumento fluctúe debido a variaciones en las tasas de interés del mercado.

Riesgo de mercado: consiste en que el valor de un instrumento fluctúe como resultado de variaciones producidas en los precios de mercado del subyacente.

Riesgo de crédito

Consiste en que alguna de las partes intervinientes no cumplimente su obligación, dando lugar a que la otra parte incurra en una pérdida. Un ente independiente y con reconocida autoridad debe proporcionar información relacionada con el riesgo de crédito a fin de permitir a los usuarios de estados contables conocer en qué medida el incumplimiento de las obligaciones de las contrapartes pueden reducir el monto de los flujos de fondos futuros pendientes a la fecha de cierre del ejercicio.

Ya mencionamos que los requerimientos de margen o el *margin call* (llamada de margen) son herramientas legales con las que cuentan los corredores (*dealers o brokers*) para disminuir el riesgo que asumen como contraparte de transacciones de sus clientes, además de limitar cuantitativamente el apalancamiento máximo que pueden utilizar sus clientes, máximo que puede estar limitado a su vez por los organismos reguladores.

¹²⁴Coopers&Lybrand / Harteneck, López y Cía – Centro de Capacitación Interna. *Instrumentos Financieros Derivados*. Materiales de la Reunión Técnica dictada por Harteneck, Lopez y Cía.:1996.

En Mercados con Contraparte Central, ésta se convierte en el vendedor de cada comprador y en el comprador de cada vendedor, garantizando el cumplimiento de todos los contratos negociados en un mercado.

Riesgo de liquidez

Es aquel proveniente de la imposibilidad de realizar los activos financieros de inmediato a su valor corriente de cierre, a pesar de disponer de los activos y la voluntad de hacerlo. Es decir, que no puedan venderse con la suficiente rapidez y al precio adecuado.

Ello debido fundamentalmente a que el mercado de instrumentos derivados carezca de volúmen y de tal forma, los inversores no puedan salir de la posición.



Fig. 28: Riesgos de instrumentos financieros derivados

Fuente: Elaboración propia

Otras consideraciones relacionadas con el riesgo de instrumentos financieros derivados

El precio de los *calls*, *puts* y el de su activo subyacente no se mueven del mismo modo. A su vencimiento sabemos con seguridad que el precio de las opciones vendrá dado por la diferencia entre el precio de, por ejemplo, la acción y el precio de ejercicio de la opción. Desde la teoría de cobertura de riesgos se desarrollaron medidas de sensibilidad del precio de la opción a dichos factores y se las conoce con el nombre de letras griegas. El objetivo de un negociante es manejar las letras griegas de tal manera que todos los riesgos sean aceptables. No es tema específico de esta tesis ahondar en detalles sobre letras griegas, pero consideramos importante mencionarlo dentro de este marco teórico.

Asimismo, los futuros y los forwards tienen dos riesgos asociados, a saber:

- Riesgo de base: representa el llamado *cost of carry* de estos instrumentos y si bien la definiremos más adelante al hablar de particularidades de derivados

del clima, se trata de la diferencia entre la prima esperada al momento de la siembra (en caso de un *commodity* agrícola) y la efectiva al momento de la época de venta de la cosecha.

- **Riesgo de producción:** es el riesgo de la actividad en sí. Para el caso de la actividad agrícola se refiere al riesgo que representa que la cantidad producida y cosechada difiera con la cantidad cubierta con futuros.

Hasta aquí hemos abordado en forma general, el ámbito de negociación y los riesgos a los que están expuestos los instrumentos financieros derivados. En más, nos abocaremos a ahondar en los conceptos relacionados con opciones y su valuación desde la teoría de mercados con información completa.

Los contratos de opción y su valuación en mercados con información completa

Comenzaremos conociendo la clasificación de las opciones según distintos criterios.

Clasificación de opciones¹²⁵

- **Según el derecho que otorgan:**
 1. Opciones de compra – *CALL*
 2. Opciones de Venta – *PUT*
- **Según el activo subyacente sobre el que se instrumentan**
 1. Opciones sobre el contado
 2. Opciones sobre el forward
 3. Opciones sobre futuros
- **Según la naturaleza del activo subyacente:**
 1. Opciones sobre *equity*
 2. Opciones sobre divisas
 3. Opciones sobre índices
 4. Opciones sobre futuros
 5. Opciones sobre *commodities*
 6. Opciones exóticas (clima, energía)
- **Según el momento en que se pueden ejercer:**
 1. Sólo el día del vencimiento – EUROPEAS

¹²⁵ Op. Cit. 120

2. Cualquier día hasta el vencimiento – AMERICANAS

Ejercer una opción significa que el comprador utiliza el derecho que la opción le confiere: comprar o vender el subyacente, según se trate de *Calls* o *Puts*.

Cabe aclarar que si bien las opciones europeas no se pueden ejercer antes de la fecha de vencimiento del contrato, se pueden negociar (o sea comprar o vender) en cualquier momento antes de tal fecha.

- **Según sea el valor de contado o spot del activo subyacente (S) respecto del precio de ejercicio de dicho activo (X):**

1. *In the Money* (ITM), es cuando en el *call* $S > X$ ó en el *put* $S < X$, siendo S el precio de contado del activo subyacente y X el precio de ejercicio correspondiente.
2. *At the Money* (ATM), es cuando tanto en el *call* como en el *put* $S = X$
3. *Out of the Money* (OTM), es cuando en el *call* $S < X$ ó en el *put* $S > X$

En general la bibliografía se refiere a los elementos de las opciones y en algunos casos hemos observado que se confunden o destacan junto a los factores que influyen en el precio de las opciones. Entendemos que es clarificador mencionarlos por separado, aunque veremos que algunos de ellos participan de ambas distinciones, por lo que en tal caso denotaremos expresamente.

Elementos de las opciones

Clase: Opción de compra (*call*) u opción de venta (*put*)

Activo subyacente: activo sobre el que se instrumenta la opción y sobre el que se ejerce o no el derecho que la opción otorga

Tenedor o tomador: quien compra la opción y adquiere el derecho a ejercerla.

Lanzador: quien vende la opción y queda obligado en caso de ejercicio.

Prima: es el precio de la opción y es el único concepto del contrato que se negocia entre las partes en los Mercados Institucionalizados. Básicamente se trata del monto pagado por el tomador al lanzador por el derecho implícito en la opción. A la vez, es el valor máximo que el comprador o tomador puede perder y también, en contraparte, el valor máximo que el lanzador puede ganar.

Precio de ejercicio (*Strike Price*), X: precio al cual el comprador tiene el derecho a comprar/vender el activo subyacente al ejercer la opción.

Precio de contado (*Spot Price*), S: precio actual del activo subyacente negociado

Fecha de vencimiento (*Exercise Date*), T: Todas las opciones tienen una fecha de vencimiento, pasada la cual dejan de existir y no tienen ningún valor. Las opciones pueden comprarse y venderse libremente hasta el cierre de la sesión de la fecha de vencimiento, siendo ésta una de las diferencias fundamentales entre comprar una opción y comprar el activo subyacente. Cuanto más tiempo quede para el vencimiento más valor tienen las opciones.

Factores que influyen en los precios de las opciones¹²⁶

Toda opción es influenciada por los siguientes factores, resumidos en la figura 29:

1. El precio actual del activo subyacente (S)
2. El precio de ejercicio (X)
3. El plazo hasta la expiración de la opción o tiempo al vencimiento (T)
4. La volatilidad del activo subyacente (σ)
5. La tasa de interés de mercado, libre de riesgo (r)

Excepto el punto 4, el resto de las variables son conocidas por todos los participantes del mercado, dado que son observables. La volatilidad no es observable sino que debe determinarse o estimarse. Por eso se dice que el negocio de opciones es un negocio de volatilidad.

Factores	Valor <i>Call</i>	Valor <i>Put</i>
Precio actual del subyacente (S)	+	-
Precio de ejercicio (X)	-	+
Tiempo al vencimiento (t)	+	+
Volatilidad del activo subyacente (σ)	+	+
Tasa de interés libre de riesgo (r)	+	-

Figura 29: Factores que influyen en precio de las opciones

El signo + indica que un aumento de la variable hace que el precio de la opción se incremente; el signo - indica que un aumento de la variable hace que el precio de la opción disminuya

Hull menciona también a los dividendos esperados durante la vida de la acción pues hace mención a las opciones sobre este subyacente en particular. Allí, el efecto de un incremento de los dividendos es disminuir ex post el valor actual de las acciones, con lo cual impacta negativamente en un *call* y a la inversa en un *put*.

¹²⁶ Op. Cit. 110 y Op. Cit. 123

Valor de una opción

La prima o precio de la opción, representa en el mercado, el valor de una opción.

A su vez la prima es el resultado de sus dos componentes:

Prima = Valor intrínseco + Valor tiempo o prima de riesgo

El **valor intrínseco** es la ganancia que se obtiene si se ejerce la opción, la opción no puede valer menos que dicho valor, caso contrario hay oportunidades de arbitraje.

$$Call = \text{Máx. } (0; S - X)$$

$$Put = \text{Máx. } (0; X - S)$$

En el caso de las opciones ATM y OTM, el valor intrínseco es 0.

El **valor tiempo** representa para el comprador la posibilidad que con el tiempo la opción adquiera valor intrínseco, por lo que al vencimiento de la opción su valor es 0. Se trata básicamente de una valoración que hace el mercado de las probabilidades de mayores beneficios de la opción si el movimiento del subyacente es favorable.

En el caso de las opciones ATM y OTM, el valor intrínseco es 0 y todo su valor corresponde al valor tiempo, prima de riesgo o extrínseco.

$$\text{Valor tiempo} = \text{prima} - \text{valor intrínseco}$$

Límites superiores e inferiores del precio de las opciones

Los límites de las opciones responden al sentido común y el único supuesto es que $r > 0$

Cuando hacemos referencia al sentido común, queremos expresar que si no se produce la situación planteada, el inversor tendría menos riesgo y mejores resultados con una decisión diferente a invertir en opciones.

Justamente la noción de límites es establecida para fijar los rangos de precios entre los que se tienen que mover las opciones para no producirse una ganancia libre de riesgo, es decir oportunidades rentables para los arbitrajistas.

Call americana: C

Put americana: P

Call europea: c

Put europea: p

	c	C	p	P
Límite superior	$c \leq S$	$C \leq S$	$p \leq X^{r \cdot t}$	$P \leq X$
	Sino compraria directamente el activo		Sino suscribo la opción e invierto el dinero a la tasa r	
Límite inferior	$c \geq S - X^{r \cdot t}$		$p \geq X^{r \cdot T} - S$	
	No puede valer menos que lo que gana ejerciéndolo			

Modelos de valuación

Entre los modelos de valuación de opciones más conocidos encontramos dos que veremos en detalle. Se tratan del modelo binomial y del modelo de Black, Scholes and Merton, los cuales tienen en cuenta los factores que influyen sobre el precio de las opciones mencionados anteriormente. Para este apartado, seguiremos a Marcelo Elbaum¹²⁷ y a Jonh Hull¹²⁸

Modelo Binomial

Este método, además de ser intuitivo y sencillo desde el punto de vista matemático, facilita la comprensión de la razón de ser de las opciones.

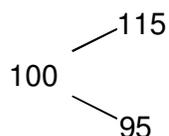
Debe tenerse presente que toda opción existe o es susceptible de ser valuada, siempre y cuando exista la posibilidad de ser cubierta, a su vez, de los riesgos inherentes a tal operación financiera. ¿Por qué? Porque recordemos que las opciones se pueden asemejar al negocio de los seguros y por lo tanto, especialmente quien las vende debe tener la posibilidad de “reasegurarse”, es decir cubrirse ante ciertas situaciones que llevarían a que el derecho sea ejercido y se deba hacer frente a lo comprometido, de lo contrario ante un evento negativo para el lanzador, éste quebraría.

Veamos el siguiente ejemplo: supongamos tener una acción que cotiza hoy a \$ 100 (S), pero que en el próximo período puede subir a \$ 115 o bajar a \$ 95; por ahora no se sabe la probabilidad de que dicha acción baje o suba.

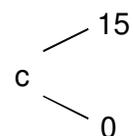
También sabemos que la tasa de interés para el período es de 5 % (r).

A su vez, el precio de ejercicio (X) de ésta opción es de \$ 100. Hasta aquí sabemos que si el precio de la acción termina en \$ 115, la opción valdrá \$ 15 (S – X será 115 – 100 = 15). Mientras que si el precio de la acción se desploma a los \$ 95, el valor de la opción (c) será 0. Esto se puede visualizar de la siguiente manera:

Movimiento de la acción



Valores de la opción



Supongamos que se realiza la siguiente estrategia: se vende un call y se compra una acción¹²⁹. Esto se hace así dado que al venderse un call, al vencimiento del

¹²⁷ Op. Cit. 123

¹²⁸ Op. Cit 110

¹²⁹ Estrategia conocida como lanzamiento cubierto.

período si el comprador de la opción ejerce el derecho, el vendedor va a estar obligado a entregársela y, para no correr riesgos, la compra hoy.

La pregunta que se debe hacer es si ésta es una buena cobertura. Para ello se debería ver el perfil de ganancias y pérdidas para el vendedor de la opción en ambas situaciones: si la acción sube a 115 o si baja a 95. Para que resulte una buena cobertura, ambos perfiles deberían producir el mismo resultado:

- Si el precio de la acción sube: 1 acción * 115 – 15 = 100
- Si el precio de la acción baja: 1 acción * 95 – 0 = 95

Se evidencia que no ha sido una buena cobertura, pues si el precio de la acción sube, el vendedor de la opción tiene un resultado de 100, mientras que si baja, tiene un resultado de 95. Pareciera tener acciones en exceso de las que necesita para la cobertura. Es por ello que se ensayará otra estrategia:

Se vende un call y se compra sólo 0.5 de la acción. ¿Cuál será el resultado en este caso?:

- Si el precio de la acción sube: 0.5 * 115 – 15 = 42.5
- Si el precio de la acción baja: 0.5 * 95 – 0 = 47.5

En este caso pareciera tener acciones en defecto de las que necesita para la cobertura.

Por último, supongamos que se ensaya la siguiente estrategia: se vende un call y se compra 0.75 de la acción. ¿Cuál es el resultado en este caso?

- Si el precio de la acción sube: 0.75 * 115 – 15 = 71.25
- Si el precio de la acción baja: 0.75 * 95 – 0 = 71.25

Pareciera que esta estrategia ha resultado ser la correcta. O, dicho de otra manera, se ha podido crear una estrategia libre de riesgos. Por lo tanto:

$$\frac{\text{Rendimiento bruto}}{\text{Inversión}} = 1 + r$$

Donde r es la tasa de interés libre de riesgo del período, que definimos en un 5 %¹³⁰. Así podemos resolver la ecuación para el precio del call, c .

$$\frac{71,25}{0,75 (100) - c} = 1 + 0,05$$

Despejando se obtiene el valor de $c = 7.1436$

Lo más importante de esto es que se puede apreciar claramente la esencia de esta metodología de valuación de opciones. En forma teórica, el precio de la prima que

¹³⁰ Como puede observarse estamos trabajando con tasas de interés con frecuencia de composición no continua. La frecuencia de composición define las unidades en que se mide una tasa de interés.

recibe el vendedor debería alcanzarle para cubrir todos los rebalanceos necesarios para la cobertura, de manera que lo que se termina ganando es la tasa de interés libre de riesgo. Esto es así pues hemos visto que para mantener una cobertura libre de riesgo usando una opción y la acción subyacente, necesitamos ajustar periódicamente nuestras tenencias de la acción (cobertura dinámica).

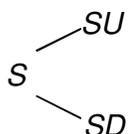
Aquí podemos deducir que la valuación de opciones es una operación con valor presente neto igual a 0, $VPN=0$.

En la práctica, quienes llevan los libros de opciones alteran levemente esta cobertura en determinados momentos para intentar ganarle al mercado.

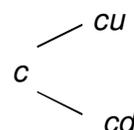
Para tal caso y formalizando el proceso visto en el ejemplo, tenemos:

- Precio de la acción S : 100
- El factor de suba es U , en este caso 1.15, terminando en el próximo período con un valor SU de 115.
- El factor de baja es D , en este caso 0.95, terminando en el próximo período con un valor SD de 95.
- El valor de la opción si el precio de la acción sube es cu y si baja es cd

Movimiento de la acción



Valores de la opción



- Se denotará con h el ratio de cobertura (*hedge ratio* o delta de la opción), o sea la cantidad de acciones que es preciso comprar para que la cobertura sea eficiente.

Por lo tanto, los perfiles de pérdidas y ganancias se pueden denotar del siguiente modo:

Si las acciones suben: $hSU - cu$

Si las acciones bajan: $hSD - cd$

Para que la cobertura sea eficiente, como se ha visto, ambas ecuaciones deben igualarse:

$$hSU - cu = hSD - cd$$

Resolviendo para h se tiene:

$$h = \frac{cu - cd}{S(U - D)}$$

Resolviendo en el ejemplo anterior:

$$h = \frac{15 - 0}{100(1,15 - 0,95)} = 0,75$$

Ahora determinaremos el precio de la opción de compra:

$$\frac{\text{Rendimiento bruto}}{\text{Inversión}} = 1 + r$$

Por lo tanto,

$$\frac{hSU - cu}{hS - c} = 1 + r$$

Reagrupando los términos se tiene:

$$hSU - cu = hS(1 + r) - c(1 + r)$$

$$c(1 + r) = hS(1 + r) - hSU + cu$$

$$c(1 + r) = hS(1 + r - U) + cu$$

Las variables desconocidas en la fórmula anterior son h y c , pero h ya fue estimada anteriormente, por lo se puede sustituir h :

$$c(1 + r) = \frac{cu - cd}{S(U - D)} S(1 + r - U) + cu$$

Realizando algunos paso más de álgebra se llega a determinar el valor de c :

$$c = \frac{m cu + (1 - m) cd}{1 + r}$$

Donde $m = (1 + r - D) / (U - D)$,

Siendo m la probabilidad de que el activo suba, mientras $(1 - m)$ es la probabilidad de que baje. Para este ejemplo se calculará la probabilidad de que el activo tome un valor de 115 o de 95.

Utilicemos las dos fórmulas anteriores para determinar la probabilidad de que el activo suba o baje y el valor del call.

Cálculo de m

$$m = (1 + 0,05 - 0,95) / (1,15 - 0,95) = 0,5$$

Cálculo del valor del call, c

$$c = \frac{0,50 \cdot 15 + (1 - 0,50) \cdot 0}{1 + 0,05} = 7,143$$

Obsérvese que el valor del call, c , es el valor presente de la probabilidad ponderada del perfil de ganancias y pérdidas finales o dicho de otra manera, es el valor que puede tomar la opción si el precio de la acción sube, obviamente multiplicado por la

probabilidad de ocurrencia más el valor que puede tomar la opción si su precio baja, también obviamente multiplicado por la probabilidad de ocurrencia.

Ahora, ¿de qué va a depender la amplitud del rango de valores que la acción pueda tomar en cada período? Pues bien, dependerá de la volatilidad del activo subyacente, lo que determinará los valores de U y D .

Pero para saber la volatilidad se debe suponer alguna forma de comportamiento que seguirá el activo y, por lo tanto, sus rendimientos. Para el modelo binomial, el supuesto indica que la distribución de los precios es multiplicativa binomial y éstos se mueven en forma simétrica. En este modelo podemos denominar los rendimientos como R_i :

$\text{Log}(SU/S) = \text{log}(U)$ para una suba de precios

$\text{Log}(SD/S) = \text{log}(D)$ para una baja de precios

$$= -\text{log}(U), \text{ si denotamos que } D = 1/U$$

De aquí que los rendimientos serán simétricos en ese proceso geométrico.

Por lo tanto, los cálculos de U y D se podrían obtener de la siguiente manera:

$$U = e^{\sigma \sqrt{(t/n)}} \quad 131$$

Mientras que

$$D = 1/U = e^{-\sigma \sqrt{(t/n)}}$$

t es el plazo de la opción al vencimiento y n la cantidad de periodos tomados para hacer el árbol binomial. Se puede observar que cuanto mayor sea la volatilidad del activo, mayor será U y D .

Si ahora pretendemos calcular el precio de la misma opción, pero suponiendo dos períodos o dos nodos en el árbol binomial; se debe empezar, para obtener el valor de c , por los valores que pueden tomar las opciones al final del último período de a pares y se calcula c en el período anterior.

Entonces, la fórmula general binomial para calcular el precio de una opción tomando varios períodos o un árbol con varios nodos se puede escribir así:

$$c = \frac{1}{(1+r)^n} \sum_{k=0}^n \left\{ \binom{n}{k} m^k (1-m)^{n-k} \max((SU^k D^{n-k} - E), 0) \right\}$$

Donde:

¹³¹√ es el símbolo de la raíz cuadrada

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)! k!}$$

y

$$n! = n(n-1)(n-2)\dots$$

Lo que implica que cuando hay n períodos, los k elementos de la expresión binomial toman la forma descrita arriba.

Para el caso de la valuación de *puts*, el h se calcula de la siguiente manera:

$$h_p = \frac{pu - pd}{S(U - D)}$$

A su vez el cálculo del *put* es:

$$p = \frac{m p_u + (1-m) p_d}{1 + r}$$

El m se calcula igual que para *calls*. La forma de cálculo de un *put* europeo para varios períodos es igual que para un *call* europeo o americano en ausencia de dividendos. Para el cálculo de un *put* americano, en primer lugar se debe analizar en cada nodo, si el *put* vale más “muerto que vivo”, o sea que $E - S > PV(E) - S$. De ser así, en el nodo del *put* se debe consignar el valor de $E - S$.

Debemos aclarar que el cálculo de un *call* para una acción es el mismo para un *call* europeo que para uno americano, dado que en ausencia de dividendos nunca se debe ejercer un *call* americano antes de su vencimiento. En cambio es posible su venta, pues sino se pierde el valor tiempo o prima de riesgo, pues $S - E$ (valor del *call* si se ejerce) < que $S - PV(E)$ (valor del *call* si se vende).

Supuestos del método binomial

El método binomial analizado se basa en los siguientes supuestos:

1. La distribución del precio de las acciones es multiplicativa binomial
2. Los U y D , y por lo tanto la varianza de los rendimientos, son iguales en cada uno de los períodos
3. No hay costos de transacción ni impuestos, por lo tanto se puede establecer una cobertura libre de riesgo para cada uno de los períodos, entre la opción y el activo.
4. Las tasas de interés también son constantes

5. No se puede realizar ejercicio de la opción en forma anticipada (opción europea)
6. No hay distribución de dividendos sobre la acción durante la vida de la opción

Modelo de Black, Scholes y Merton

El modelo conocido como de Black and Scholes (B&S), aunque también se le reconozca autoría a Robert C. Merton.

Es el modelo más utilizado en la valuación de opciones. Si bien fue pensado para valuar opciones de compra europeas de acciones en ausencia de dividendos, se han realizado distintas modificaciones para poder utilizarlo en la valuación de opciones de los más variados activos subyacentes.

Supuestos del modelo B&S

1. Los precios de los activos siguen una distribución log normal, lo que implica que los rendimientos están distribuidos de una manera normal, en períodos cortos. Se asume que los rendimientos de dos períodos diferentes, no superpuestos, son independientes.
2. La varianza de los rendimientos es conocida y directamente proporcional al paso del tiempo, por lo tanto es constante.
3. No hay costos de transacción ni impuestos. Todos los títulos son perfectamente divisibles.
4. La tasa de interés libre de riesgo es conocida y constante a corto plazo
5. No hay posibilidad de ejercicio anticipado (opciones europeas)
6. La negociación de valores es continua
7. Los inversionistas pueden adquirir y otorgar préstamos a la misma tasa de interés libre de riesgo
8. No hay distribución de dividendos sobre la acción durante la vida de la opción

¿Cómo determinamos el precio de un *call* según este modelo?

El modelo propone para ello:

$$C = S N(d_1) - X e^{-rt} N(d_2)$$

y:

$$d_1 = \frac{\log(S/X) + (rt) + 0,5 \sigma^2 t}{\sigma \sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T}$$

Donde:

C es el valor de la prima *call*, la incógnita

S es el valor *spot* de la acción

X es el precio de ejercicio

r es la tasa de interés libre de riesgo en su forma continua.

t es el tiempo al vencimiento, expresado en años

Log significa logaritmo

σ es la volatilidad esperada anual del activo, es decir una medida de la incertidumbre sobre los rendimientos que proporciona la acción. Se la define como la desviación estándar del rendimiento proporcionado por la acción en un año, expresado por una composición continua.

$N(d)$ es la probabilidad de que en una distribución normal cualquier número tome valores de d . En otras palabras, es la probabilidad de que una variable con una distribución normal estándar, sea menor que d .

El precio de una opción de venta europea sobre acciones que no pagan dividendos es:

$$p = X e^{-rt} N(d_2) - S N(d_1)$$

Lo que puede inferirse en la fórmula de B&S es que se trata de lo mismo que derivamos de una manera informal al ver el método binomial, pero en términos continuos. Dicho de otra manera es la probabilidad de que el precio de la acción termine por encima o por debajo del precio de ejercicio X , aunque hoy todavía no lo haga. En el siguiente gráfico puede observarse la causa que hace que la distribución de probabilidades de valores X y S se agrande, y que no es otra que su proporcionalidad al tiempo.

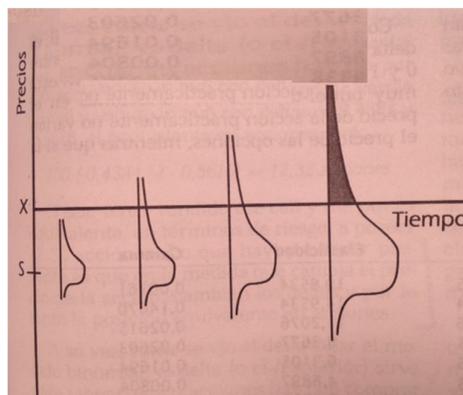


Fig. 30: Probabilidad de valores de X y S distribuidos en el tiempo

Fuente: *Administración de carteras de inversión*, Marcelo Elbaum, 1era. Edición, 2004

Si bien todos los supuestos no se cumplen, el modelo es robusto y numerosos estudios demuestran que es difícil obtener ganancias de arbitraje mediante una supuesta mal valoración por parte del modelo B&S.

Los argumentos que usaron los autores de B&S para valorar opciones, son similares a los utilizados por el método binomial. Es decir:

“Se establece una cartera libre de riesgo que consiste en una posición en la opción y una posición en la acción subyacente. Al no haber oportunidades de arbitraje, el rendimiento de la cartera debe ser la tasa de interés libre de riesgo, r . Esto da como resultado una ecuación diferencial que la opción debe resolver.

La razón por la que se puede establecer una cartera libre de riesgo es que el precio de la acción y el precio de la opción reciben influencia de la misma fuente subyacente de incertidumbre: las variaciones en el precio de la acción. En un período corto, el precio de una opción de compra está perfectamente correlacionado de manera positiva con el precio de la acción subyacente y el precio de una opción de venta está perfectamente correlacionado de manera negativa con el mismo activo mencionado antes. En ambos casos la ganancia o la pérdida de la posición en la acción siempre compensa la ganancia o la pérdida de la posición en la opción de tal manera que se conoce con certeza el valor general de la cartera al final del período corto.”¹³²

La diferencia central en este aspecto, entre ambos modelos, es que la posición establecida en B&S está libre de riesgo sólo durante un período muy corto (en teoría durante instantes) y para que permanezca libre de riesgo debe ajustarse o reequilibrarse frecuentemente.

Valuación neutral al riesgo para la valuación de derivados financieros

“Podemos asumir que el mundo es neutral al riesgo, inclusive los precios resultantes son correctos no sólo en un mundo neutral al riesgo, sino también en otros mundos”¹³³.

Con esta importante afirmación, Hull quiere expresar que cualquier título que depende de otros títulos negociados puede valorarse bajo el supuesto de que los inversionistas son neutrales al riesgo.

Recapitulemos, ¿esto significa neutralidad al riesgo de los inversionistas en la realidad? No. Significa que dichas preferencias por el riesgo o no de los agentes, no

¹³² Op. Cit. 110

¹³³ Op. Cit. 110

tienen impacto en la valuación de una opción cuando ésta se expresa en función del precio de una acción subyacente. Esto explica por qué, cuando recién definimos p y c no incluimos el rendimiento esperado de la acción. Así, en este mundo se sostienen dos resultados simples e importantes:

- El rendimiento esperado de todos los activos es la tasa de interés libre de riesgo, r
- Esta tasa de interés libre de riesgo es la tasa de descuento adecuada para aplicar a cualquier flujo de efectivo futuro esperado

Volatilidad: su cálculo y estimación¹³⁴

En los productos derivados hay un factor que es fundamental: la volatilidad del activo subyacente.

El único parámetro en las fórmulas del modelo binomial y B&S que no puede observarse directamente.

Si bien en los mercados *spot* de los activos subyacentes de los instrumentos derivados es importante determinar dicho factor¹³⁵ a los efectos de saber el riesgo asumido en la cartera, también es sumamente importante el cálculo preciso de la volatilidad para el caso particular de las opciones, dado el nivel de apalancamiento que involucra y el consiguiente incremento del riesgo que ello implica.

Estos productos financieros se han creado para cubrir los riesgos crecientes en los precios de los activos, por lo que si un activo carece de volatilidad es poco probable que se operen opciones sobre el mismo. Es decir, para el caso de las opciones, si los precios de un subyacente no se mueven con la suficiente rapidez, las opciones sobre ese activo valdrán poco dinero, ya que disminuyen las probabilidades de que el mercado cruce en alza o en baja, los precios de ejercicio de las opciones. Por lo tanto, si el subyacente es poco volátil, los agentes que acudan al mercado para cubrir riesgos no tendrán ningún incentivo para operar opciones y deberán enfocarse en otros instrumentos para tal fin.

Si partimos de la hipótesis de que los mercados son eficientes, o sea la variación en los precios es totalmente aleatoria (*randomwalk*) y se producirá sólo cuando aparezca nueva información, los precios en dichos mercados seguirán una distribución normal; entonces, el nivel de dispersión de los valores posibles de la

¹³⁴Op. Cit. 123

¹³⁵ En mercado de acciones mediante el *beta* y en el de bonos a través de la *duración* modificada

variable objeto de análisis se puede medir por la varianza o la desviación típica. Es decir, la volatilidad se puede asociar a la desviación típica o estándar de las variaciones de los retornos (sobre la base de logaritmos) de los precios de los activos.

En el mercado de opciones la volatilidad es la esencia del mismo. Cuando los operadores concurren a comprar o vender opciones, piensan en términos de volatilidad operada y no en el precio al que se comercializan los contratos de opciones. “Lo que se comercializa, lo que se negocia, es volatilidad” dicen los operadores.

Ahora bien, cuáles son las distintas clases de volatilidad que se pueden calcular. Son dos: la volatilidad histórica y la volatilidad implícita.

1. Volatilidad histórica

La volatilidad histórica es una primera aproximación para expresar la volatilidad del activo subyacente, en este caso con base en el pasado.

En la figura 31 se expone la volatilidad histórica de la empresa TELMEX como una media móvil de los precios spot de dichas acciones a 30, 50, 60 y 90 días.

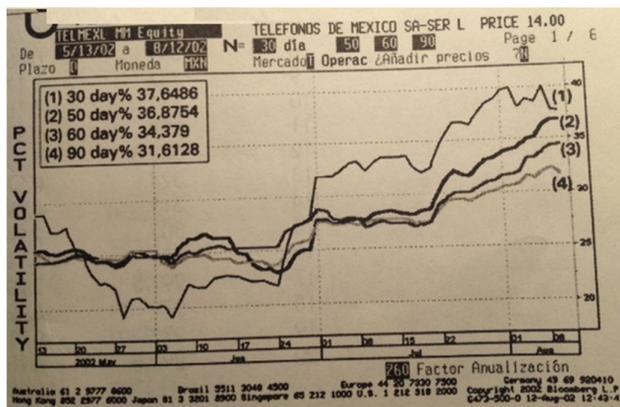


Fig. 31: TELMEX, medias móviles de cotizaciones spot

Fuente: Administración de carteras de inversión, Marcelo Elbaum, 1era. Edición, 2004

Dentro de las estimaciones de volatilidad histórica podemos encontrar tres tipos de cálculos:

- a- Volatilidad histórica no ponderada
- b- Volatilidad histórica ponderada
- c- Volatilidad histórica tomando en cuenta precios máximos, mínimos y de cierre

La **volatilidad histórica no ponderada** es, de éstas, la más utilizada y en este caso se trata de registrar un período de tiempo similar al plazo de la opción que se requiere calcular. Para ello se determinan los retornos en forma continua, la varianza de dichos retornos y su desviación estándar.

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^T (R_t - \mu)^2}}{T}$$

Para el caso del cálculo de la volatilidad de una muestra, se debe dividir por $T - 1$. Esta es la volatilidad de un período. En todos los modelos se usa la volatilidad anual. En tal caso se anualiza multiplicando por la raíz cuadrada del tiempo: $\sigma = \sqrt{t}$

Mencionaremos las dos restantes formas de expresar la volatilidad histórica, aunque sin entrar en mayores detalles ya que no hacen al objeto de la presente tesis.

La **volatilidad histórica ponderada** también utiliza la fórmula de desviación estándar, pero con la variante de ponderar algunas observaciones respecto de otras. Por ejemplo, ponderar con mayor importancia los cierres de los últimos 60 días por sobre el resto.

La **volatilidad histórica tomando en cuenta precios máximos, mínimos y de cierre** utiliza mayor cantidad de datos, recolectados por analistas técnicos y dentro de su definición incorpora los tres datos mencionados: precio máximo de una jornada, precio mínimo y precio de cierre.

Por último, cabe destacar una importante característica de la evolución o comportamiento de la volatilidad: si es alta, es probable que caiga. Si es muy baja, es probable que suba. Por alta o baja se entiende en relación al promedio de largo plazo. En otras palabras, hay una tendencia de la volatilidad a volver a sus niveles normales, un fenómeno conocido como *reversión a la media (mean reversion)*.

2. Volatilidad implícita

Es la volatilidad en base a la cual la fórmula de B&S da el precio de mercado de la opción. Se obtiene invirtiendo los modelos de valoración, en el sentido que la volatilidad (σ) es la incógnita y la prima de la opción es un dato.

Representa las expectativas del mercado sobre la volatilidad del subyacente hasta el vencimiento de la correspondiente opción (es el valor operado de volatilidad)

No obstante, cabe una salvedad al respecto. En efecto, cuando se observan las volatilidades implícitas de un mismo activo para las opciones (*call* y *put*) con vencimiento en una misma fecha y con igual o diferente *strike*, las mismas deberían ser iguales. Esto sucede en virtud de la paridad *call put*, caso contrario existirían oportunidades de arbitraje dado que la volatilidad no es de la opción sino del mismo activo subyacente.

La realidad muestra que no son iguales y asimilables a la figura 32 (volatilidad implícita teórica) sino, por el contrario, que la volatilidad presenta sesgos que no

describiremos, aunque los mencionamos aquí. Ellos son los denominados: *Volatility smirk*, *reverse smirk* y *smile*.

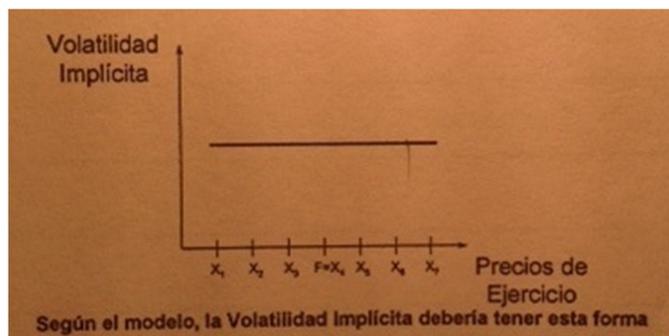


Fig. 32: Volatilidad implícita teórica

Fuente: Marcus, Javier, ROFEX: Material sobre instrumentos derivados, 2011, FCE UNL Santa FE

Lo más común es encontrar un *smile* de volatilidad¹³⁶, cuyo grafico se muestra a continuación y a través del cual se advierte que la volatilidad de las opciones tanto *in* como *out of the money* son superiores a la volatilidad *at the money*.

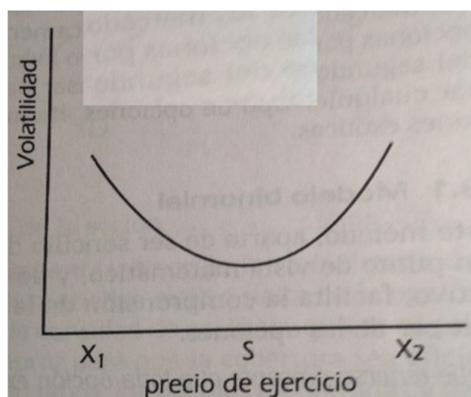


Fig.33: Volatilidad *smile*

Fuente: Administración de carteras de inversión, Marcelo Elbaum, 1era. Edición, 2004

Paridad entre opciones de venta y de compra (*Put – Call parity*)

El teorema de la paridad entre *call* y *put* es una relación entre las opciones *call*, las opciones *put* y el propio precio del subyacente, de forma que en todo momento debe existir un equilibrio entre los precios, y cuando esta paridad se desajusta, es cuando aparecen oportunidades de arbitraje.

Para demostrar esta paridad partimos de dos carteras, una contiene una opción de compra europea (*c*) más un monto en efectivo ($X^{-r} \cdot t$) y la otra una opción de venta europea (*p*) más una acción (*S*). Las opciones europeas no pueden ejercerse antes

¹³⁶ Op. Cit. 123

de la fecha de vencimiento, por lo tanto las carteras deben tener valores idénticos hoy. Es decir que:

$$\begin{aligned}c + X^{r \cdot t} &= p + S \\c - p &= S - X^{r \cdot t}\end{aligned}$$

Esta relación se la conoce como paridad entre opciones de compra y de venta. Así, el valor de una opción de compra europea con el determinado precio y fecha de ejercicio puede deducirse del valor de una opción de venta europea con el mismo precio y fecha de ejercicio y viceversa. Así tenemos que:

$$\begin{aligned}c &= S - X^{r \cdot t} + p \\p &= c - S + X^{r \cdot t}\end{aligned}$$

Aspectos particulares de los activos derivados sobre el clima

La valoración riesgo neutral de estos activos pasa por lograr volúmenes considerables en la negociación de derivados ligados al riesgo atmosférico. Este volumen importante nos aportaría un mayor grado de certeza sobre la valoración realizada por el propio mercado como resultado de un número considerable de operaciones e iría disminuyendo las posibilidades de precios muy dispares para un mismo instrumento y riesgo cubierto. Por esta razón, es importante ofrecer a los mercados modelos sencillos de valoración, que puedan ser entendidos y contrastados por los eventuales agentes, al mismo tiempo que las estructuras de los derivados se adecuan a las necesidades de éstos.

Otra particularidad que presenta este tipo de activos financieros derivados es el riesgo de base, definido como la posible divergencia de tiempo atmosférico entre el lugar donde se realice la medición (estación meteorológica) y el área cubierta por el derivado.¹³⁷ A diferencia del tradicional riesgo de base temporal, en este caso se trata de uno de tipo espacial.

Sabemos que la base se define como la diferencia entre el precio *spot* o contado y el precio del futuro de dicho activo financiero. O sea que:

$$\text{Base} = \text{precio de contado} - \text{precio del futuro}$$

Esta es la definición más usual. Sin embargo, a veces se usa la definición alternativa:

$$\text{Base} = \text{precio del futuro} - \text{precio de contado}$$

sobre todo cuando es un contrato de futuros sobre un activo financiero.¹³⁸

Cuando hablamos de precio del futuro nos referimos al ajustado por el factor de conversión¹³⁹ para el caso de un activo subyacente entregable y no de uno teórico o nocional.

La base varía con el tiempo y converge de manera no uniforme hacia cero conforme se aproxima la fecha de vencimiento del contrato de futuro debido a que en ese momento tanto el precio del futuro como del activo subyacente deberán coincidir.

En la figura 34 se observa la base de un contrato de futuro y también podemos distinguir una diagonal que nos muestra la convergencia teórica uniforme de la base a lo largo de los 21 días del período.¹⁴⁰

¹³⁷ Op. Cit. 99

¹³⁸ Op. Cit. 110

¹³⁹ Multiplicador que permite ajustar el precio del activo y equipararlo al establecido por el contrato de futuro correspondiente. Los contratos de futuro establecen características a veces excesivamente puras de los activos y es por ello que se admite la entrega de activos de calidad inferior o superior, ajustados por dicho factor de conversión.

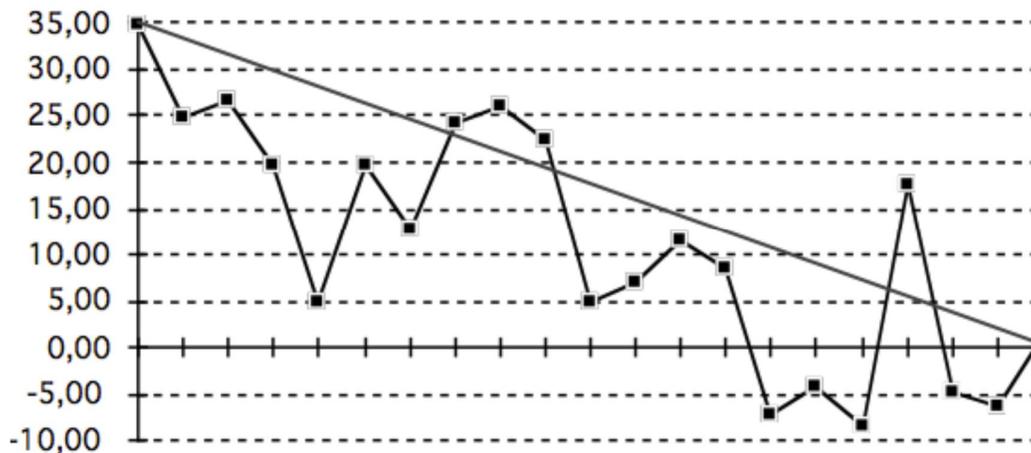


Fig.34: Evolución de la base del contrato de futuros sobre el Ibex – 35 entre el 15 de marzo de 1993 y la fecha de vencimiento del mismo el 16 de abril de 1993

Fuente: Mascareñas, J. (2012). *Mercado de derivados financieros: futuros y opciones*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid

Quien haya cubierto completamente su posición sobre el instrumento financiero, habrá cambiado el riesgo de precio o sea la oscilación de éste, por el riesgo de base, es decir que el precio del contado y del futuro no se muevan al unísono. Volviendo a los derivados sobre el clima, además del riesgo de base entendido en su acepción habitual de tipo temporal, existe el riesgo relacionado al hecho de que la medición del subyacente, se realiza en un lugar determinado pero luego, a través del instrumento derivado que nos ocupa, adquiriría influencia sobre toda un área o región de extensión territorial mucho mayor. En efecto, los datos que presentaremos más adelante, relativos a los niveles de lluvia en la provincia de Entre Ríos, mediante los cuales procuraremos construir una opción cuyo subyacente sea la variable pluviométrica, provendrán de tres Estaciones Agrometeorológicas del INTA¹⁴¹ ubicadas en la provincia de Entre Ríos, precisamente en las localidades de Oro Verde, Concordia y Concepción del Uruguay. Por lo tanto, los datos de lluvia relativos a esas localidades, impactarían, a través de dicho instrumento derivado, en un ámbito geográfico mucho mayor que podría alcanzar a todo el territorio de la provincia si los límites de esta demarcaran a la vez, el mercado de negociación del mencionado instrumento. Es evidente, entonces la existencia del riesgo que acarrea la posibilidad que las mediciones de lluvias efectuadas en las localidades mencionadas sean muy

¹⁴⁰Mascareñas, J.(2012). *Mercado de derivados financieros: futuros y opciones*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

disímiles a las que se puedan verificarse en otras localidades o zonas de la provincia, más o menos alejadas de aquellas.

Por otra parte, también se debe reconocer la existencia de riesgo moral en cuanto a la posibilidad de la manipulación o adulteración del registro de las mediciones pluviales. De allí que resulte esencial, garantizar en primera instancia la calificación profesional y ética del organismo o institución que respalde y avale las mediciones a considerar. A nivel mundial se trabaja con mediciones respaldadas con garantía gubernamental: estaciones meteorológicas de aeropuertos y/o instituciones dedicadas a la investigación agrícola.

Ahora si nos introduciremos específicamente en el análisis y estudio de derivados del clima, su origen, sus fundamentos, usos en el mundo y la lógica de su construcción para cada variable climática a cubrir.

Historia del mercado del clima: negociando riesgo climático

La primer transacción sobre derivados del clima se realizó en el mercado OTC (*Over the counter*) de Estados Unidos en 1996, precisamente en la ciudad de Milwaukee, Wisconsin¹⁴², cuando las empresas Koch Industries y ENRON completaron un HDD (*Heating degree day*) swap para el invierno de 1997

Tras dieciocho meses de trabajo de Koch y Enron junto a Willis¹⁴³ encontraron un medio de transferir el riesgo de mal tiempo. Su trabajo se centró en el uso de datos meteorológicos mensurables tales como la temperatura o la precipitación, que se adoptaron como base de los índices de riesgo, lo que resultó ser la clave para hacer fungible el riesgo climático. El riesgo fue expresado y transferido en términos de temperatura, precipitación, nieve, viento u otras variables medibles.

¿De qué trata básicamente esta transferencia de riesgos climáticos? Consiste en una transacción típica sobre la temperatura. Si el clima es demasiado caliente, por ejemplo o si la temperatura media medida durante un período definido excede un umbral acordado previamente, el comprador tiene derecho a recibir un pago por parte del vendedor basándose en la medida en que la temperatura media supera el umbral.

El importe del pago o “reparación” se determina de antemano de acuerdo con la sensibilidad del comprador a los cambios adversos en la temperatura. Un caso típico de mayor sensibilidad es el originado por el incremento del consumo de energía eléctrica que demanda mantener una adecuada refrigeración de un proceso productivo que se traduce en mayor cantidad de KW/hora.

En realidad no hay nada nuevo en la idea de transferir riesgos climáticos. En efecto, hace ya mucho tiempo que existen seguros agrícolas relacionados directamente o como adicionales contra granizo en coberturas de automotores e inmuebles, pero cada una de esas alternativas tiene sus limitaciones y ninguna se convirtió en un mercado en si misma con todo lo que ello implica y genera.

El mercado de los riesgos meteorológicos establecido hace más de diez años a nivel mundial se distingue por la combinación de varias características, entre las que destacamos:

- Permite la transferencia del riesgo basado en índices contruidos con base en variables meteorológicas medibles.

¹⁴²Informe de WRMA-Weather Risk Management Association: 2010.

¹⁴³ Empresa Broker de seguros y asesoramiento en gestión de riesgos, nacida en el siglo XIX en Londres.

- Gestiona variables tales como la temperatura, las precipitaciones, las nevadas, el flujo de corriente, la velocidad del viento, las horas de luz solar, la humedad y otras variables climáticas.
- Logra transferir riesgos sobre la base de medidas de acumulación (por ejemplo, la precipitación total en un período, el total de días con determinados grados de temperatura en un período), la frecuencia de incidencia (por ejemplo, días con temperatura máxima de menos de 32º C en un período) o acontecimientos adversos (por ejemplo, lluvia mayor a “x” milímetros el día de un acontecimiento trascendente) con metodologías aceptadas y estrechamente relacionadas entre sí que son conocidas y operadas, manejadas por el mercado.
- Gestiona el riesgo de forma compatible con los mercados financieros y de seguros.
- Comprende un mercado primario y secundario de los riesgos meteorológicos, lo cual le da liquidez y profundidad, favoreciendo su crecimiento y utilización, inclusive como activo financiero integrante de carteras diversificadas.

La CME (*Chicago Mercantile Exchange*) es la bolsa precursora a nivel mundial en el tema de los derivados del clima.

En Septiembre de 1999 esta entidad inicia sus operaciones con la emisión de contratos de futuros basados en días de calentamiento (*Heating degree days*) y días de enfriamiento (*Cooling degree days*) para las principales ciudades de los Estados Unidos, donde se negociaban estos derivados. Estas operaciones de cobertura se realizaron con la temperatura promedio diaria de las ciudades seleccionadas 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 Coopers¹⁴⁴.

Al mes de Junio de 2010, la CME ofrecía derivados del clima en 24 ciudades de Estados Unidos, 11 de Europa, 6 de Canadá, 3 de Australia y 3 de Japón¹⁴⁵.

Actualmente se estima que el sector de los derivados del clima acumula más de 45.200 millones de dólares en transacciones, según datos de WRMA (*Weather Risk Management Association*).

¹⁴⁴ Empresa de servicios de auditoría, consultoría y asesoramiento impositivo y legal, centrados en la industria, fundada en 1849 en EE.UU.

¹⁴⁵ Chicago Mercantile Exchange Group, 2010,

Este crecimiento explosivo entre 2001 y la actualidad se debe fundamentalmente a la negociación de riesgo climático, lo que claramente ha llegado a conformar una masa crítica de volumen negociado con identidad propia, evidenciando que el negocio de gestionar los riesgos climáticos ha despegado.

Entre los participantes de este mercado pueden encontrarse una variedad muy grande de empresas, tales como compañías energéticas y agroindustriales, bancos y compañías de seguros, empresas dedicadas al entretenimiento, agricultores, instituciones educativas, empresas de servicios públicos, entre otras. El ramo de la construcción es uno de los más importantes, de la mano de países como Holanda, donde la ley fija una temperatura mínima a partir de la cual se prohíbe trabajar a los empleados a la intemperie. Algunas aerolíneas de vuelos comerciales también miran hacia este sector, interesadas en compensar el impacto de fuertes alteraciones del clima, como las nevadas que paralizaron aeropuertos de media Europa en el invierno de 2010. También están comenzando a intervenir fondos de cobertura (*Hedge funds*) en forma especulativa en los mercados abiertos, inyectando mayor volumen y liquidez. En general podemos decir que entre sus participantes ya se encuentran varias de las instituciones financieras más sólidas del mundo.

En los últimos años la negociación de riesgos climáticos, a menudo junto con *commodities* y el riesgo de la energía, se ha multiplicado y alcanzado un nivel importante de volúmenes negociados en el CME. De esta manera, el “mercado del tiempo” se ha convertido en un factor importante y determinante para la gestión de riesgos en una amplia variedad de negocios y áreas de responsabilidad, inclusive a nivel gubernamental.

Los tamaños de estas transacciones varían ampliamente de acuerdo con los parámetros de riesgo de los compradores. En ese sentido, compradores comerciales e industriales de tamaño pequeño y mediano pueden requerir límites en las decenas de miles de dólares o cientos de miles de dólares. Tratar eficazmente con estas transacciones de límite pequeño requiere un alto nivel de automatización y medios sistemáticos para estandarizar productos que, sin embargo, se adaptan a las circunstancias del comprador. Para empresas de mayor tamaño y exposición a riesgo, contratos entre 10 y 30 millones de dólares son comunes, y las empresas más grandes también están bien posicionadas para comprar acuerdos plurianuales. Existen transacciones importantes que debieron ser asumidas en conjunto, que superaban los 100 y hasta los 150 millones de dólares.

Gerenciamiento de riesgos climáticos como negocio

Gestionar riesgos climáticos implica valorar dos facetas en base a las cuales es posible posicionarse en el mercado:

1. **Management:** Hacerse cargo de las consecuencias financieras de las adversidades climáticas para aquellas organizaciones con exposición natural al tiempo. Esta sería principalmente la fuerza de demanda de este mercado.
2. **Comercial Trading:** Comercialización de riesgos climáticos, solos o combinados con una variedad de *commodities*. Esta sería una combinación de fuerzas de demanda y de oferta. Aquí se ubican los hacedores de mercado (*market makers*) más importantes.

1. Adversidades climáticas y sus consecuencias (*Management*)

El tiempo desafía y afecta a una amplia gama de actividades como mencionamos anteriormente. Según una estimación realizada por el Instituto Meteorológico Británico, más del 80% de la actividad empresarial en el mundo depende del estado meteorológico. De tal forma, se ha comprobado que cualquier sector de la economía está sujeto directa o indirectamente a los cambios climáticos (Paz de Cobo 2003). El punto en común de todas ellas es que sus costos, sus ganancias y la mayor parte de su performance financiera es sensible al clima.

El primer paso en el *management* o gestión de riesgos climáticos es, a partir de diagnosticar el impacto del clima en el negocio, definir una estrategia de gestión en este sentido y proceder con la transferencia de riesgos propiamente dicha ejecutando la estrategia elegida.



Fig. 35: Soluciones para la transferencia de riesgos, Estrategias de gerenciamiento de riesgo climático e Inteligencia de riesgos climáticos

Fuente: www.fahrenheitrisk.com

A través de la denominada Inteligencia de Riesgos Climáticos (***Weather Risk Intelligence***) se evalúa y cuantifica la sensibilidad del negocio, expresada en sus

estados contables y financieros, a las variables meteorológicas. El resultado se detalla en un informe de riesgo clima (*Weather Risk Report*), el cuál se ve complementado con un minucioso análisis económico-financiero que permite tener una visión global de la exposición del negocio.



Fig. 36: Informe de riesgos climáticos
 Fuente: www.fahrenheitrisk.com

El informe de riesgos climáticos permite diseñar una estrategia de gestión de riesgos totalmente adaptada para conseguir que la **sensibilidad del negocio** a una variable de compleja predicción, como es el clima, pueda ser modificada y controlada en el futuro.

El simple hecho de conocer el impacto potencial del clima es de gran valor para la comprensión global de las variables que mueven el negocio e implica un claro avance en el campo de la inteligencia de negocio (*business intelligence*).¹⁴⁶

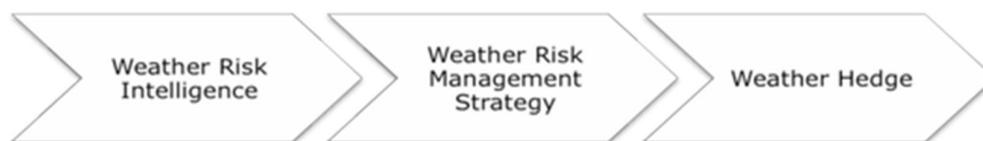


Fig. 37: Inteligencia de Riesgos Climáticos, Estrategia de gestión de riesgos climáticos, Cobertura Climática
 Fuente: www.fahrenheitrisk.com

Diseño de soluciones para el clima ó *Weather Structured Solutions*

Así se denomina al proceso de diseñar, una vez cuantificada la sensibilidad del negocio a las variables climáticas, un producto financiero de transferencia de riesgo climático a medida o utilizando los existentes en el mercado. Este es el siguiente paso de un agente económico decidido a actuar y hacer lo posible por contrarrestar los efectos negativos de las inclemencias del tiempo sobre su flujo de fondos. Por supuesto que otra opción es no hacer nada.

Entre ambos casos hay, además, otras alternativas de acción que no son objeto del presente trabajo (seguros, diversificación geográfica de cultivos, diversificación de actividades agropecuarias) y que ya hemos mencionado anteriormente.

¹⁴⁶Fahrenheit Risk Internacional: empresa gestora de riesgos climáticos de España (www.fahrenheitrisk.com)

Los productos estructurados frecuentemente comercializados son aquellos que cubren riesgos relacionados a cambios adversos de temperatura que implican impactos económicos negativos como consecuencia de condiciones meteorológicas hostiles.

La implementación de una cobertura climática es parecida al proceso empleado para cubrir cualquier otro riesgo financiero.¹⁴⁷



Fig. 38: Proceso de creación de coberturas financieras climáticas

Fuente: www.fahrenheitrisk.com

Un ejemplo de lo expresado hasta aquí adoptando la forma del gerenciamiento en el modo más simple, es el siguiente: una empresa eventualmente afectada por condiciones climáticas desfavorables paga una prima a un tomador que asume ese riesgo, definido en términos de una condición climática y su eventual comportamiento, taxativamente establecido. Así, el tomador, a cambio de la percepción de la prima se compromete a pagar, en un plazo o vencimiento, un importe monetario que depende del valor adoptado por la variable climática acordada.

Tanto el sector financiero como el asegurador a nivel mundial, innovan continuamente para poner al alcance de la economía mecanismos de transferencia de riesgos flexibles y adaptados en el ámbito del riesgo climático. Veamos algunos ejemplos de ello¹⁴⁸:

- 1- Sector Minorista: una compañía del sector “*retail*” desea conocer cuál es el impacto del clima en la facturación de sus tiendas y gestionar stocks y precios tomando en consideración la sensibilidad del negocio a las variables climáticas.



¹⁴⁷Op. Cit 146

¹⁴⁸ Ejemplos y gráficos extraídos de www.fahrenheitrisk.com

- 2- Sector energético: una central hidroeléctrica quiere gestionar su exposición al caudal del río para disminuir el riesgo de una menor generación de energía en escenarios de poco caudal.



- 3- Sector Construcción: una empresa de construcción decide cubrirse sobre el riesgo que en determinadas etapas de un proyecto las condiciones meteorológicas imposibiliten el trabajo.



- 4- Turismo y ocio: un parque de atracciones tiene la necesidad de conocer cómo impactan las variables meteorológicas en el número de visitantes y en la facturación para determinar una estrategia de cobertura climática en determinados periodos de máxima afluencia de visitantes.



- 5- Gobiernos y administraciones públicas: que necesiten estabilizar su presupuesto dado el poco margen de actuación en política fiscal por lo que contratan coberturas financieras que cubran el riesgo de que nevadas repentinas o imprevistas, incendios o lluvias e inundaciones impacten desfavorablemente en sus presupuestos.



- 6- Sector industrial: una empresa productora de aparatos de aire acondicionado pretende reducir el riesgo de pérdidas que podría ocasionarle un verano poco cálido que afecte la demanda del producto.



- 7- Eventos: una compañía organizadora de grandes eventos busca un producto para poder minimizar las pérdidas en el caso de que el tiempo influya en la afluencia de público a un evento determinado.



- 8- Usos promocionales: una marca de automóviles decide lanzar una promoción para sus descapotables en la que por la compra de uno de ellos, si en el siguiente mes llueve más de dos días se devolverá un 5% del precio final del automóvil. Esto es factible y de aplicación real en la actualidad, en el mercado estadounidense.



Cuando hablamos de productos financieros relacionados con clima, no se trata de precios de ejercicio¹⁴⁹, sino de niveles de ejercicio a partir de los cuales se disparan los gatillos de pago de cada producto.

“No se puede comprar un día soleado” dice el refrán, aunque en estos casos parece que se está bastante cerca de lograrlo.

Por supuesto que en la actualidad la estructuración de productos y los análisis incorporados en ellos son muy variados y sofisticados, pero la esencia de todos es la misma y se fundamenta de la forma antes explicada.

El mal tiempo genera condiciones financieras adversas que pueden ser manejadas por los instrumentos financieros o contratos de seguros contruídos alrededor de la variable de tiempo a la que se expone el comprador.

El objetivo de la compra del instrumento de transferencia de riesgo es limitar el impacto negativo del clima sobre la economía del comprador y la financiación de las consecuencias de las condiciones climáticas adversas cuando éstas tienen lugar. Aseguradoras, bancos, diversas instituciones financieras e inversores institucionales hacen su negocio en asumir riesgos climáticos de aquellos que poseen exposición natural a los mismos, empleando a menudo los servicios de corredores y otros intermediarios. Todos estos participantes, juntos a los Hedge Funds son los “*market makers*” de este mercado.

2. Comercialización de riesgos climáticos (*Comercial Trading*)

Dentro de la comercialización de riesgos climáticos haremos breve reseña a tres facetas de esta forma de posicionarse en el mercado de riesgos del clima.

En primer lugar, una amplia gama de proveedores de capital antes mencionados como *market makers* hacen posible el funcionamiento del mercado en sí. A la vez, la existencia de este mercado posibilita a los tomadores de riesgo gestionar sus portfolios de una manera más eficiente y en general, a todos los participantes les brinda la posibilidad de encontrar valor y el justiprecio derivado de las interacciones naturales de todo mercado cuando es lo suficientemente amplio y profundo¹⁵⁰.

¹⁴⁹Tal es el caso de contratos de opción sobre activos financieros

¹⁵⁰**Amplitud:** Se refiere al volumen de activos financieros negociados en un mercado. Un mercado financiero es tanto más amplio cuanto mayor es el volumen y variedad de activos financieros negociados o intercambiados en él. **Profundidad:** Hace referencia al número de órdenes de compra y de venta existentes para cada tipo de activo financiero. Un mercado es tanto más profundo cuanto mayor sea el número de órdenes de compra y venta que existen para cada tipo de activo financiero.

Veamos un ejemplo de lo expresado en este punto. Supongamos un tomador de riesgo que está sobreexposto en los alrededores de Chicago, Estados Unidos. En tal situación, éste puede ser capaz de vender una porción de su exposición a una contraparte interesada que esté buscando exponerse en esa zona o bien intercambiar por exposiciones en Sudáfrica, Bélgica o Japón con el fin de diversificar su negocio.

En segundo lugar otro curso de acción posible se deriva de la identificación de anomalías en el espacio de tiempo o plazo del contrato en sí. Es el caso de comportamiento adversos de regiones climatológicas que están estadísticamente correlacionadas de tal manera que ofrecen la oportunidad de crear valor a partir de la comercialización de los riesgos meteorológicos. Si bien no se trata de arbitrajes ni errores del mercado ya que en este caso son fenómenos naturales, este uso se asemeja a la tarea de arbitrar mercados cuyos activos lo permiten.

Estas actividades de intercambio (trading) crean valor, aumentan la diversidad o amplitud del mercado, permiten reestructurar los riesgos climáticos tal como existen en el mercado y mejoran la eficiencia del mismo en general.

En tercer lugar, a partir del año 2004, el comercio cruzado (*cross trading*) de tiempo y *commodities* ha crecido significativamente, añadiendo un nuevo componente a los intercambios de tiempo. Ambos mercados, el de riesgos climáticos y el de *commodities*, se complementan entre sí en una variedad de circunstancias. Por ejemplo, los tomadores de riesgo pueden desarrollar exposiciones en el oeste medio de Estados Unidos a las bajas precipitaciones (seguros contra sequía o también llamados multiriesgos), que luego pueden ser gestionadas o cubiertas en parte por la compra de calls de trigo, dado que la sequía suele provocar bajas en la oferta de los productos, lo cual por lo general hace subir los precios.

Hay una gran variedad de tales combinaciones en las que los dos mercados interactúan. Además, es posible combinar el riesgo climático asociado a una variable y su comportamiento, por un lado, y el riesgo climático de *commodities*, por otro, relacionados con estructuras simples o triangulaciones capaces de responder, por caso, si el invierno es a la vez excepcionalmente frío y el precio spot del gas natural es inusualmente alto, ¿cómo podemos disminuir nuestra exposición siendo proveedores de energía?

Esta combinación de riesgo tiempo y el de *commodities* relacionados agrega profundidad y amplitud al mercado del tiempo y es el origen de los productos

innovadores en el campo de la gestión de riesgos que se ofrecen en el presente. El alcance de este comercio se extiende a productos más allá de la energía y los *commodities* agrícolas, inclusive a nuevas áreas de gestión de riesgos, en particular los ambientales como el relacionado a las emisiones de dióxido de carbono.

En general, la mayor proporción de transacciones comerciales se realizan con base en productos derivados, estructurados de diferente manera (swaps, puts, calls, etc.) en mercados OTC y/o en Bolsas. Estos instrumentos toman como referencia índices contruídos en términos de temperaturas mensuales/estacionales promedio. Luego, a cada valor del índice se le asigna una determinada cantidad de unidades monetarias, haciendo posible transar cambios de temperatura de modo similar a cualquier activo.

Diseño de soluciones para el clima ó *Weather Structured Solutions (WSS)*

Como antes mencionamos se denomina así a la actividad de diseñar un producto financiero de transferencia de riesgo climático a medida o utilizando los existentes en el mercado, previa definición y cuantificación de la sensibilidad del negocio a dicha variable.

Veamos con mayor grado de detalle cómo es este proceso, al cual retornaremos al momento de aplicarlo empleando datos de la provincia de Entre Ríos, que es el objeto, precisamente, del presente trabajo. A continuación enumeraremos los pasos de un proceso de gestión de riesgos climáticos incluyendo las definiciones previas a la elección del producto financiero en sí. Los pasos son:

1. Identificar la/las variable/s del tiempo críticas para nuestro negocio
2. Identificar una fuente confiable y neutral de datos históricos e información actual de las variables meteorológicas, por lo general un organismo público. En Estados Unidos es el Servicio Nacional de Meteorología, en Francia es *MeteoFrance*, la Agencia Meteorológica en Japón y en nuestro país debería ser el Servicio Meteorológico Nacional y también proponemos a las Estaciones Agrometeorológicas del INTA¹⁵¹
3. Identificar el período o la/las fechas en las que la influencia de las variables meteorológicas es determinante para el caso bajo estudio (por ejemplo, determinar períodos críticos en necesidades de agua para el crecimiento/desarrollo de un determinado cultivo).
4. Identificar el impacto de las variables meteorológicas en los ingresos, márgenes, beneficios y / o costos.
5. Cuantificar la relación entre los cambios en las variables climáticas y los cambios en los parámetros financieros afectados por dicha variable.
6. Establecer la sensibilidad a los cambios en los parámetros financieros y traducir la sensibilidad en términos de la variable tiempo.
7. Diseñar el producto financiero aplicable o utilización de alguno de los existentes en el mercado, según el sistema o programa contra los riesgos climáticos seleccionado.

¹⁵¹El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria a estos efectos cuenta con una red de radares meteorológicos con datos en línea a través de: http://climayagua.inta.gov.ar/radares_meteorol%C3%B3gicos y <http://radar.inta.gov.ar/v3/>

Los pasos 1 a 6 forman parte de la denominada Inteligencia de Riesgos Climáticos (***Weather Risk Intelligence***), el restante conforma el llamado Diseño de soluciones para el clima (***Weather Structured Solutions***).

Este proceso suele ser complejo y normalmente es iterativo.

La calidad de los datos y su disponibilidad en forma oportuna a menudo son los principales problemas.

Por otro lado, las exposiciones al clima de cada segmento de negocio, ya sea servicios, comercio minorista, agropecuario, transporte, etc. tienen sus propias y particulares características. Sin embargo, en casi todos los casos, estos pasos son fundamentales para la evaluación del riesgo climático y la estructuración de una solución financiera para diligenciar adecuadamente las preocupaciones de los titulares de empresas por su exposición natural al clima.

En la mayoría de los casos el riesgo climático es un riesgo volumétrico y sin dudas este es el objetivo primario de cobertura de estos productos financieros. Nos referimos esencialmente a cambios en volúmenes por cambios en la demanda a causa del tiempo, por un lado, y también a cambios en los volúmenes de producción por efecto del cambio en las condiciones climáticas. Por ejemplo, las variaciones en las temperaturas de invierno son el factor determinante en las variaciones de los volúmenes de gas que se consumen para la calefacción ambiental. En otro caso, las cantidades de lluvia o de exposición diaria acumulada a la luz solar son un determinante significativo del rendimiento de los cultivos. Por último, uno de los riesgos de las nevadas se reflejan en las masas de nieve que tienen que ser limpiadas de las carreteras y pistas de aterrizaje.

A pesar que cambios en la demanda pueden afectar el precio de estos productos, el riesgo precio puede ser cubierto de manera más eficiente con productos como futuros u opciones basados en el precio de estos *commodities*¹⁵².

La principal noción detrás de una cobertura contra riesgos climáticos es que el resultado económico de aquellas empresas, industrias o sectores sensibles al clima está sujeto a gran volatilidad, por cambios en la demanda y/o en los volúmenes demandados o producidos aún en el caso en que los precios se mantengan estables.

¹⁵²Müller, A.; Grandi, M. (2000). *Weather derivatives for protection against weather risks*. Munich Re ART Solutions: Munich Re Group.

Se mezclan conceptos como estacionalidad y sus consecuencias para las empresas, con otros como excesos o déficit de lluvias o nieve, con sus particulares consecuencias también.

Dependiendo del sector en cuestión, la lógica de este razonamiento nos muestra que una cobertura plena debe cubrir tanto el riesgo de precio a través de derivados de materias primas convencionales, como el riesgo de volumen por medio de derivados del clima. Esta combinación de cobertura es la llamada cobertura cruzada y se ilustra en la figura 39. Antes nos referimos a esta alternativa cuando desarrollamos el punto “Comercialización de riesgos climáticos” y dentro de este, el *cross trading* a partir del año 2004 en los mercados financieros. En consecuencia, el tipo de cobertura elegido, ya sea sólo de volumen, ya sea sólo de precio o una cobertura cruzada, dependerá del comportamiento de los mecanismos de mercado en el sector correspondiente y cómo afectan a las ventas, volúmenes y precios de suministro.¹⁵³

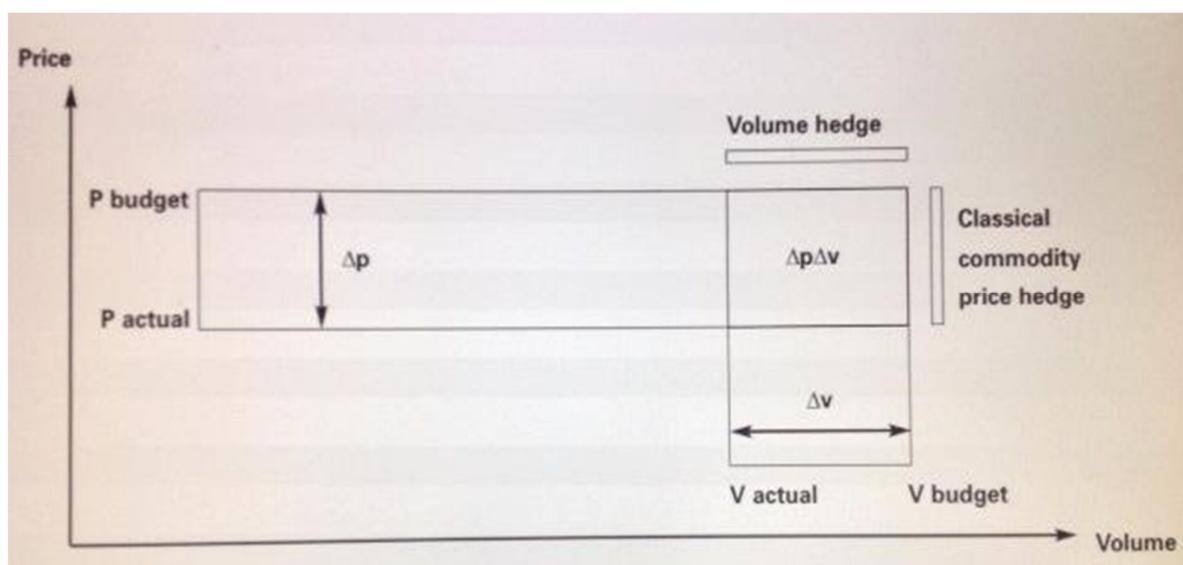


Figura 39: Cobertura cruzada para productos sensibles al clima

Fuente: Müller, A.; Grandi, M. (2000). *Weather derivatives for protection against weather risks. Munich Re ART Solutions: Munich Re Group*

El “techo” proyectado de egresos financieros en una empresa se construye a partir de la aplicación de los costos históricos, proyectados o presupuestados sobre los cambios en los volúmenes relacionados con las variaciones en el clima. En otras palabras, se trabaja con costos conocidos aplicados a volúmenes cambiantes de la variable en cuestión, en función de los vaivenes estimados en el clima.

¹⁵³ Op. Cit. 152

Básicamente hay tres tipos de sistemas o programas contra los riesgos climáticos¹⁵⁴, a saber:

1. **Programas basados en medidas acumuladas (*Aggregate based programs*):** se elaboran a partir de medidas agregadas de las variables climáticas durante un período definido, tales como las temperaturas medias, grados/día acumulados, nieve total, lluvia total y otras. Responden a la suma de los valores de la variable tiempo. Por ejemplo, 600 mm. de lluvia caída en total entre mediados de enero y fines de marzo, período crítico de sensibilidad para la soja en la provincia de Entre Ríos, respecto de esta variable.
2. **Programas de días adversos (*Adverse days programs*):** un día adverso se define en términos de una variable meteorológica, como por ejemplo el día en el que la temperatura media es de menos de 0 ° C ó aquel en que las precipitaciones totales superan 80 mm. Responden al número de días que se caracterizan por la condición adversa. Otro ejemplo de uso es: 10 días en el invierno en el que la temperatura máxima es menor a-1° C.
3. **Programas de eventos adversos (*Adverse events programs*):** responden a la ocurrencia de una condición del tiempo. Por ejemplo, si la velocidad máxima registrada del viento excede los 50 Km./h durante la vigencia del contrato.

El análisis de las variables climáticas y su relación con parámetros financieros nos permitirá identificar el tipo de programa que corresponde al riesgo a cubrir.

Los programas 2 y 3, es decir los días adversos (*adverse days*) y los eventos adversos (*adverse events*) están estrechamente relacionados.

Programas de días adversos (***Adverse days programs***) opera en el supuesto de que un cierto número de días con condiciones climáticas definidas como adversas, son esperables durante el período analizado. Una buena gestión de riesgos en este caso, intentaría conformar una protección o previsión “razonable” por tales días adversos esperados y garantizar la protección contra un número inusual de acontecimientos de este tipo a través de un producto financiero. Este monto “razonable” por lo general es el deducible (*attachment*) del producto estructurado y la compra de protección contra la condición excesiva libera al comprador de hacer

¹⁵⁴Esta es la denominación de las formas de presentar soluciones financieras a partir de la variable del clima observada, los denominados Programas contra Riesgos Climáticos.

provisión física o financiera para la contingencia. De allí uno de sus grandes beneficios.

En cambio, programas de eventos adversos (***Adverse events***), en el sentido más estricto implica que el comprador no puede tolerar la presencia de las condiciones adversas en absoluto. Ejemplos en este caso son sumamente ilustrativos: suspensión por lluvia de un día en la final de la copa del mundo de fútbol, ó de un juego de la Serie Mundial de Golf o de un Grand Slam de tenis. En estos casos significaría reprogramación con el aumento de los costos para el promotor y la pérdida de audiencia y de eficacia publicitaria para los anunciantes.

Aquí los productos están estructurados para responder por el pago de la cantidad establecida, destinada a cubrir el aumento de los costos y/o la pérdida de ingresos asociados con el evento adverso que pueda tener lugar.

Otros desarrollos recientes

Los tres sistemas o programas contra riesgos climáticos mencionados abarcan a la gran mayoría de los productos estructurados para tal fin. Sin embargo, es importante mencionar otros desarrollos surgidos en ese mismo sentido y que ocupan hoy un lugar, aunque menor por el momento. Ellos son:

- **Protección contra riesgos de pronósticos (*Forecast Risk Protection*):** que provee compensaciones si el comprador organiza su actividad económica sobre la base de un pronóstico sobre un evento de la naturaleza que de producirse, transforma en antieconómica su labor.
- **Índices climáticos (*Weather Indices*):**son desarrollos recientes en el mercado europeo, donde las partes pueden comprar o vender posiciones en el índice, de la misma forma que se comercializan los índices bursátiles. Han sido desarrollados para segmentos específicos de negocios, como por ejemplo el Índice de clima cálido en el verano para el sector de la cervecería.
- **Estructuras combinadas de Tiempo – Commodity (*Bundled Weather and Commodity Structures*):** ellos responden cuando hay tanto una condición de mal tiempo y un entorno de precios adversos, o sea que se requieren dos condiciones como mínimo y al mismo tiempo (doble gatillo). Se centran en estas combinaciones, que se presentan como uno de los más grandes desafíos de gestión de riesgo que tienen las empresas muy sensibles al precio y al tiempo para conformar su rendimiento final.

Estos programas de doble gatillo operan eficazmente en entornos en los que la mercancía es un commodity dada la ventaja que estos mercados tienen en cuanto poseen, principalmente, una gran liquidez. Son similares a la operatoria de *cross trading*, pero en este caso, todo en un mismo y único producto.

Como resultado de esta doble o múltiple cobertura, la protección también será mayor y más favorable que hacerlas por separado y de a una por vez.

Describiremos ahora las principales características del agua como insumo central para la vida de plantas, animales y personas. También analizaremos aspectos vinculados a la medición de milímetros de agua caídos y por último explicaremos el tratamiento estadístico de las precipitaciones, vital para productos de cobertura climática a medida para regiones climáticas específicas.

El agua en la atmósfera

Muchos cambios del tiempo son sencillamente cambios de estado del agua que se encuentra presente en la atmósfera. Dentro de los límites normales de temperatura, el agua puede existir en cualquiera de sus estados: sólido, líquido o gaseoso.

Así, en condiciones atmosféricas normales el agua se presenta en estado:

- Sólido, conformado por hielo nieve y granizo, cuando se halla a temperaturas inferiores a 0°C y al fundirse, absorbe el calor latente de fusión que es igual a 80 cal/gr.
- Líquido, a temperaturas entre 0° y 100°C, a temperaturas inferiores e incluso tan bajas como -40°C, puede continuar en este estado como pequeñas gotitas sobre enfriadas, siempre y cuando no entren en contacto con sólidos o con núcleos de condensación¹⁵⁵.
- Gaseoso, más conocido como vapor de agua, que puede existir bajo todas las temperaturas normales.

En cuanto a su densidad, varía con la temperatura teniendo su máximo a los 4°C, característica que impide el congelamiento de las aguas profundas en ríos y lagos.

El agua es una substancia abundante aunque irregularmente distribuida en la naturaleza, cuyo movimiento constante entre la superficie terrestre y la atmósfera, debido a la energía proveniente del sol, se conoce como ciclo hidrológico. Ya vimos dicho ciclo en detalle, pero agregamos que observándolo, se ve que fundamentalmente la incorporación de agua en la atmósfera en forma de vapor se debe a la evaporación del agua de mar (41 %), de suelos húmedos (13 %), del agua interceptada por los vegetales y superficie continental (10 %) y evapotranspiración desde la superficie terrestre(36 %). A su vez, la pérdida de agua atmosférica se da por condensación y precipitación.

En ese sentido, F. Sazón y R. Barber consultores de FAO sostienen que “la comprensión del ciclo hidrológico es esencial para el manejo eficiente del agua de lluvia y del agua del suelo”.

El agua, como ya dijimos, se encuentra no solo en forma líquida sino también en forma sólida como granizo, hielo o nieve y en forma gaseosa con el vapor de agua.

¹⁵⁵ Se trata de una partícula o aerosol atmosférico que debido a sus propiedades permite que sobre él comience a ocurrir la condensación del vapor de agua, fenómeno esencial para la formación de las nubes y de la lluvia. Recordemos que la condensación es el paso, en este caso del agua, del estado gaseoso (vapor) a líquido.

La cantidad de agua en el mundo es constante pero el agua está continuamente cambiando de una forma a otra y se mueve a diferentes velocidades.

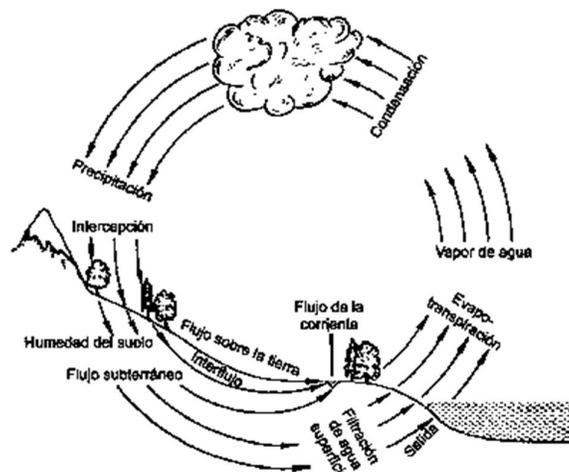


Fig. 40 El ciclo del agua

El calor del sol es la causa de que el agua en la superficie de los océanos, lagos y ríos cambie al estado de vapor en el proceso conocido como evaporación. La transpiración de las plantas es un proceso similar en el cual el agua absorbida del suelo por las raíces y transportada por el tallo a las hojas de donde pasa bajo forma de vapor de agua a la atmósfera. Esta es la llamada evapotranspiración, a la que también ya nos hemos referido con anterioridad.

Volveremos sobre este concepto más adelante.

A medida que el vapor de agua producido por la evaporación y la transpiración entra en la atmósfera, su temperatura disminuye y el vapor se convierte en pequeñas gotas producto del proceso de condensación que se acumulan bajo forma de nubes. Dependiendo de su tamaño, esas gotas se pueden precipitarse en forma de lluvia. Una vez que la lluvia llega a la superficie de la tierra puede infiltrarse, correr como flujo, acumularse en las hojas de las plantas o encharcarse, desde donde puede evaporarse nuevamente hacia la atmósfera.

Por lo general ocurre una combinación de estos procesos.

A su vez, la lluvia que se infiltra integra el agua del suelo parte de la cual es usada por las plantas que luego la transpiran, otra parte vuelve a la atmósfera a través de la evaporación desde la superficie del suelo y otra, si hay suficiente infiltración, puede pasar más abajo de la zona radical como agua subterránea.

El agua subterránea se mueve en forma lateral y lentamente hacia el mar para completar el ciclo hidrológico pero parte de esta en su camino filtrará hacia arroyos,

ríos y lagos. De esta forma el agua subterránea mantiene el nivel del agua en los pozos y la continuidad de las corrientes de agua de ríos, arroyos y lagos especialmente durante los períodos secos por escasez de lluvias, conformando el denominado flujo de base.

El agua de lluvia que escorre sobre la tierra se mueve rápidamente por las pendientes y declives del terreno hacia los cursos de agua, conformando muchas veces flujos caudalosos que siempre son motivo de preocupación.

La escorrentía no es solamente un desperdicio del agua de lluvia que podría haber contribuido al regadío de cultivos y a reabastecer las aguas subterráneas sino que además, frecuentemente, causa inundaciones o daña los caminos y las tierras agrícolas, erosiona el suelo que a su vez es depositado en el curso de los ríos y estanques aguas abajo.

El agua subterránea deriva del agua de lluvia que se ha infiltrado en el suelo y drenado más abajo de la zona radical. Es el agua en exceso de la cantidad necesaria, para los cultivos y otra vegetación, que sobrepasa la capacidad de almacenamiento del suelo¹⁵⁶.

El agua subterránea se mueve muy lentamente a través de los materiales del subsuelo en dirección del curso de drenaje dominante. Si la parte superior de la misma, la capa freática, no se sumerge por debajo del nivel del lecho de la corriente, el agua aparece en surgentes que alimentan las corrientes de agua, como los ríos, arroyos y sus tributarios. Este proceso ocurre durante todo el año y de esta manera el agua subterránea actúa como amortiguador para mantener el flujo básico de la corriente y los niveles de agua en los pozos durante los períodos secos.

En los lugares donde las capas del subsuelo son relativamente impermeables ubicadas por debajo de capas más o menos permeables, se pueden desarrollar capas de agua por encima del agua subterránea debido a que son retenidas por esas capas impermeables. El agua así retenida es conocida como interflujo y tiene un lento movimiento en forma lateral, pudiendo emerger, alimentado cursos de agua o constituir surgentes a menores elevaciones. En ningún caso contribuye directamente al agua subterránea.

La presencia de agua subterránea o de una capa de agua retenida es indicio de suelos saturados, por lo general con una dominancia de suelos de color gris claro, gris azulado, azulado o verdoso. Estos colores son típicos de ciertos compuestos de

¹⁵⁶F.A.O. Food Agriculture Organization, 1995 y 2002

hierro que solo se encuentran en lugares de aguas estancadas donde hay carencia de oxígeno.

La cantidad de agua de lluvia que percola¹⁵⁷ más allá del límite inferior de la zona radical hacia el agua subterránea dependerá de la cantidad de agua perdida en la transpiración por los cultivos o la vegetación. En un tipo determinado de suelo y clima, los bosques transpiran más agua que las tierras de pastoreo, las cuales, por lo general, usan más agua que los cultivos. El alto consumo de agua de los bosques es debido, en general, a su mayor tasa de transpiración, al período más largo de transpiración en comparación con el de los cultivos y a las raíces más profundas que permiten la absorción de agua desde mayores profundidades.

Los cambios en el uso de la tierra pueden, por lo tanto, afectar la cantidad de agua transportada y con ello la cantidad de agua que llega al agua subterránea. El reemplazo de los bosques con pasturas o cultivos anuales puede aumentar el drenaje profundo y de esta manera proporcionar más flujos básicos a las corrientes de agua. Los cambios en el manejo del suelo también pueden afectar la cantidad de drenaje profundo que reabastece el agua subterránea.

La introducción de malas prácticas de manejo que aumenten la proporción de agua de lluvia pérdida como escorrentía reduce el flujo de base e incrementa los flujos máximos y la incidencia de las inundaciones. Viceversa, un mejoramiento del manejo del suelo y de los nutrientes conducirá a una mayor producción de grano y follaje, mayores tasas de transpiración y, por lo tanto, a menos recarga.

¹⁵⁷Percolación: se refiere al paso lento de fluidos a través de los materiales porosos. Ejemplo de este proceso es la filtración.

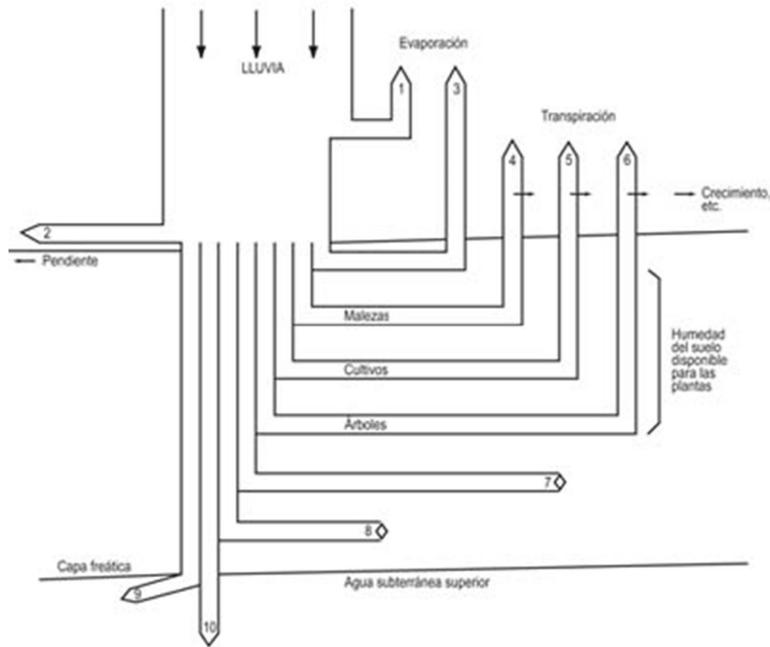


Fig. 41: Recorridos alternativos del agua de lluvia

Referencias:

1. Evaporación directa de las superficies húmedas de las hojas.
2. Escorrentía superficial/tormentas.
3. Evaporación directa de la superficie del suelo
- 4, 5, 6 Humedad del suelo disponible para las plantas al alcance de las raíces de las malezas, cultivos, árboles existentes.
7. Humedad del suelo al alcance de las raíces de las plantas existentes pero retenida a tensiones indisponibles para los mismos.
8. Humedad del suelo retenida a cualquier tensión pero debajo de las raíces de las plantas existentes.
9. Agua no capturada por las raíces y los poros pequeños moviéndose a agua subterránea y flujo de corrientes.
10. Lixiviación¹⁵⁸ a agua subterránea debajo del piso de captura.

A fin de considerar el aporte de agua de lluvia para las plantas y para el agua subterránea como un hecho secuencial, es importante retener mentalmente sus movimientos. Después de pasar a través de la atmósfera en respuesta a la fuerza de gravedad, el agua de lluvia o de riego escurre y/o hacia alguno o a todos los siguientes destinos descritos en la figura 41.

El manejo del suelo puede afectar en forma importante la escorrentía, la evaporación directa de la superficie del suelo, la cantidad de humedad del suelo disponible para las plantas dentro del alcance de sus raíces y la profundidad a la cual pueden penetrar las raíces. La cantidad de agua que llega a cualquiera de esos destinos depende de la condición física del suelo, su influencia sobre la infiltración, la

¹⁵⁸La lixiviación, o extracción sólido-líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.

escorrentía y las condiciones atmosféricas, ya que estas últimas impactan sobre la evaporación y la transpiración.

Evapotranspiración

La evapotranspiración, como ya lo dijimos, es la pérdida de agua en forma de vapor el que proviene de la evaporación del suelo y de la transpiración de las plantas, incorporándose todo finalmente a la atmósfera.

A su vez, la humedad disponible en el suelo y el grado de cobertura vegetal de éste, limitan y diferencian dos formas de evapotranspiración:

- Evapotranspiración potencial (EP): es la máxima evaporación posible en un intervalo de tiempo, bajo las condiciones climáticas existentes y cuando el suelo se encuentra en su contenido óptimo de humedad (capacidad de campo), cubierto totalmente con una capa vegetal de baja altura en activo crecimiento y cuyo albedo¹⁵⁹ sea de alrededor de un 25%. Según Thornthwaite¹⁶⁰ "es la cantidad de agua que evaporaría un suelo y transpirarían las plantas si el suelo estuviera en su contenido óptimo de humedad y con cobertura vegetal completa".
- Evapotranspiración real o actual (ER): es la producida en condiciones reales, teniendo en cuenta que la cobertura vegetal no siempre es completa y que los niveles de humedad en el suelo son variables.

De las definiciones se desprende que la EP depende únicamente de factores meteorológicos. En cambio, la ER, depende además de la estructura y composición del suelo y de la anatomía y fisiología de las plantas.

Balance hidrológico – climático (BHC)

Fue introducido por Thornthwaite en 1944 y usado como base para su nueva clasificación de climas de 1948. Específicamente es un balance climático que utiliza valores estadísticos medios mensuales de precipitación y evapotranspiración potencial.

Consiste en comparar la evolución estacional de la precipitación media mensual con relación a la evapotranspiración, también media mensual. De tal forma, luego, puede calcularse la magnitud de otros parámetros que se encuentran relacionados, tales

¹⁵⁹El albedo es el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma. Las superficies claras tienen valores de albedo superiores a las oscuras, y las brillantes más que las mates. El albedo medio de la Tierra es del 37-39% de la radiación que proviene del sol.

¹⁶⁰Thornthwaite, C. W. (1948). *An approach toward a rational classification of climate*. *Geographical Review*, n.38, pp. 55–94.

como el exceso o la deficiencia de agua, el almacenaje de humedad del suelo y el escurrimiento de agua en un período mensual.

Por utilizarse valores climáticos promedios de una larga serie de años, los parámetros mencionados precedentemente reflejan también una situación hídrica media o normal del clima para el lugar considerado y su aplicación deberá extenderse exclusivamente a las condiciones naturales producidas por la acción de los elementos meteorológicos a través del tiempo, por ejemplo el tipo de suelo y el tipo de vegetación natural que dichos elementos meteorológicos generan o propician. Su utilización también es adecuada para delimitar áreas geográficas para la implantación de cultivos.

Con respecto a la evapotranspiración potencial y las precipitaciones mensuales utilizadas en el BHC, corresponde hacer algunas aclaraciones.

La EP representa la necesidad de agua y puede estimarse por una gran cantidad de métodos, que van desde los más simples que utilizan un solo elemento climático para su cálculo hasta los más complejos, en que intervienen numerosos componentes del clima.

En cuanto a la precipitación media o promedio (P_p) mensual, cabe observar que seguramente sea donde cometan los mayores errores pues la precipitación media no representa, por tratarse de un fenómeno aperiódico y discontinuo, el valor más frecuente que puede esperarse. No obstante ello, el BHC constituye una herramienta relativamente sencilla y con un grado de confiabilidad aceptable para elaborar un diagnóstico climático. Su empleo en la comparación del clima hídrico de distintas regiones se halla muy extendido.

Es necesario recalcar que para efectuar el balance entre el agua que llega a la superficie y la pérdida por evapotranspiración, hay que tomar en cuenta que el agua que llega al suelo no se almacena en un recipiente del cual puede evapotranspirar libremente sino que al penetrar en el suelo, entra a formar parte de un sistema disperso que la retiene de distintas formas según el tipo de suelo y la estructura del mismo. A su vez podrá ser llevada a la superficie según la profundidad de las raíces de la vegetación que cubre el suelo del lugar. Por ejemplo un suelo arenoso puede contener solamente de 10 a 20 mm. de agua por cada 30 cm. de profundidad, en tanto que un suelo de arcilla fina puede almacenar 100 o más mm. en esa misma profundidad. Las raíces de los cultivos hortícolas no penetran más que unos pocos centímetros, en tanto que los árboles superan el metro. De ahí que el agua

contenida en los diferentes suelos estará más o menos disponible para evapotranspirar según la profundidad de las raíces de los cultivos o vegetación considerada.

De tal manera, en base a la combinación del contenido máximo de agua que puede retener un suelo en función de su tipo y estructura, con la profundidad de las raíces, se han confeccionado tablas que indican el contenido máximo para cada caso y la retención que se produce a medida que el suelo se va secando ante demandas sucesivas de evaporación por acción de la energía solar y otros factores del ambiente.

Cálculo del Balance Hidrológico Climático Mensual (BHCM)

Como hemos visto, si conocemos la evapotranspiración potencial (EP), y la precipitación media (P) mensual de un lugar, es posible elaborar el balance hidrológico climático del lugar. Para ello es necesario emplear como soporte de los datos, una planilla tipo cuyo formato contemple los siguientes ítems, a través de los cuales y posteriormente, será posible analizar los distintos casos que se pueden presentar.

Ítems de la planilla tipo de un BHMC

Los datos mínimos a recopilar para un lugar y período determinado, son:

1. Evapotranspiración potencial: (EP)

Se consignan los milímetros de EP obtenidos por cálculo mediante el empleo de las fórmulas correspondientes.

2. Precipitación: (P)

Se consignan los valores obtenidos de las estadísticas climatológicas correspondientes.

3. Precipitación menos evapotranspiración potencial: $(P - EP) = DP$ o $EX P$

El signo del resultado de la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial del punto 3, nos indicará un exceso de humedad (Ex P), si fuera positivo y un déficit (DP), si fuera negativo.

En el primer caso, resultado positivo, indicaría la cantidad de agua excedente que se escurre y sirve también para la recarga de humedad del suelo.

Por el contrario, el resultado negativo indica la cantidad de precipitaciones que falta para satisfacer las necesidades potenciales de agua del área y su vegetación.

En general, en la mayoría de las localidades hay una sola estación húmeda y otra estación seca. Por eso es que resultan una única serie consecutiva de valores positivos y otra de valores negativos.

Pruebas de Cierre: se realizan con valores anuales

$$\sum EP = \sum ER + \sum \text{Déficit de precipitaciones}$$

$$\sum Pp = \sum ER + \sum \text{Exceso de precipitaciones}$$

ER: Evapotranspiración real

Determinación de las propiedades agrohidrológicas del suelo

Cada suelo tiene ciertas propiedades físicas y respecto del agua. De ellas dependen la cantidad de agua que se conserva en el suelo, su movilidad dentro de él y su disponibilidad para las plantas.

Las propiedades físicas son: la textura, la densidad de volumen, la densidad parcial, la porosidad, entre otras.

En cuanto a las propiedades relacionadas al agua son: la capacidad total, la capacidad de capilaridad, la capacidad de campo, el punto de marchitez, higroscopicidad máxima, entre otras.

Para los agrometeorólogos tienen significativa importancia: la densidad de volumen, la capacidad de campo y el punto de marchitez. Muchos de ellos las denominan propiedades agrohidrológicas del suelo. Precisamente de ellas nos ocuparemos a continuación pues nos interesan en particular.

Densidad de volumen

La densidad de volumen es el peso, en gramos, de un centímetro cúbico (gr./cm^3) de suelo absolutamente seco, "no perturbado". Se entiende por suelo no perturbado, cuando dentro del volumen de un centímetro cúbico están incluidos tanto las partes sólidas de suelo como los espacios porosos.

Cuando la humedad del suelo se expresa como un porcentaje del peso de suelo seco, por ejemplo 20 %, los valores indican solamente el grado de humedad del suelo. Estos valores no muestran el contenido de agua existente en el suelo. Este último se expresa en milímetros de agua, en la misma forma como se expresa la cantidad de lluvia caída. Los valores de la densidad de volumen del suelo son utilizados para transferir los porcentajes de humedad del suelo en milímetros de agua de suelo.

Aunque la densidad de volumen puede determinarse a cualquier grado de humedad del suelo, es preferible medirla cuando el suelo ha alcanzado el humedecimiento de capacidad de campo.

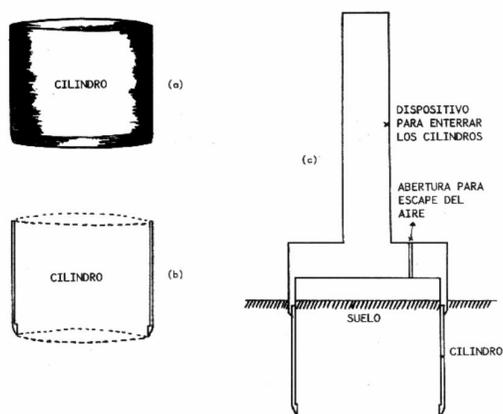


Figura 5.1 - Instrumentos utilizados para la determinación de la densidad de volumen

Fig. 42: Instrumentos utilizados para la determinación de la densidad de volúmen

Capacidad de campo

La capacidad de campo es la máxima cantidad de agua que puede contener el suelo, después que se ha drenado toda el agua que ha penetrado por gravitación, que se ha impedido la evaporación de la superficie del suelo y que no exista contacto directo entre la humedad del suelo y la capa freática.

Cuando todo el espacio poroso se ha llenado con agua, el suelo se ha humedecido hasta su total capacidad. En condiciones naturales, los suelos se humedecen a su total capacidad por corto tiempo, después de fuertes lluvias o cuando la nieve se funde en campos cubiertos por esta. El suelo no puede estar a su capacidad total por períodos más largos de tiempo debido a la fuerza de gravedad que hace que el agua que se encuentra en los poros de gran tamaño se infiltre a través de las capas de suelo más profundas y el subsuelo. A esta porción de agua en el suelo se la denomina agua gravitacional.

Cuando el agua gravitacional abandona el suelo, el resto del agua permanece en el mismo debido a la existencia de fuerzas de mayor intensidad que las fuerzas de gravedad. Cuando un suelo o una capa separada de suelo contiene la máxima cantidad de esta agua, se dice que el suelo está humedecido a la capacidad de campo.

La cantidad de agua que está a capacidad de campo y lo que es menor que ésta, es menos móvil que el agua gravitacional y puede permanecer en el suelo durante largo tiempo. Por consiguiente, este aspecto tiene una gran importancia agrometeorológica.

Punto de marchitez

Es la cantidad de humedad del suelo a el cual ocurre la marchitez permanente de la planta. La vegetación consume humedad del suelo y si no es recuperada a través del agua de precipitación o irrigación, llegará el momento en que la planta comenzará a marchitarse, a pesar que todavía haya humedad en el suelo.

El momento de marchitez permanente ocurre cuando el agua de suelo es absorbida por las partículas sólidas del mismo, mediante fuerzas que superan a las que poseen las raíces de las plantas para apropiarse del agua.

La marchitez permanente implica que las plantas no pueden obtener nuevamente su turgencia, aunque sean mantenidas en un lugar con aire saturado o sea con alrededor de cien por ciento de humedad relativa. Por eso no debe confundirse con la marchitez temporal, la cual ocurre a menudo en las primeras horas de la tarde de los días calurosos y secos

El punto de marchitez es muy importante porque divide el total de agua del suelo en dos categorías principales: la cantidad disponible y la no disponible para las plantas. La disponibilidad de humedad del suelo se encuentra entre la capacidad total del suelo y el punto de marchitez.

Como los suelos están a capacidad total por un corto período de tiempo durante el año, se considera que el agua de lluvia disponible para propósitos prácticos y de irrigación, se encuentra entre la capacidad de campo (no la capacidad total) y el punto de marchitez.

Cualquier humedad de suelo por debajo del punto de marchitez no está disponible para las plantas.

Nos interesa ahora retornar al ciclo hidrológico ya visto con anterioridad y ahondar, a los efectos del objeto específico de esta tesis, en la etapa del mismo en que el agua se presenta en la naturaleza en su estado líquido pero, en particular, cuando además lo hace en forma de nubes y posteriores precipitaciones.

En ese sentido resulta necesario que abordemos el estudio de estos conceptos y la forma en que el ser humano recolecta datos a lo largo del tiempo para intentar comprender tendencias, historia, posibles cambios inmediatos o lejanos, efectos particulares de las precipitaciones según la morfología del terreno y otros aspectos específicos de esta parte importante del ciclo hidrológico, responsable del depósito de agua dulce en el planeta y, por ende, de la vida, tanto de animales como de vegetales, que requieren del agua para vivir.

Nubes

Las nubes son una expresión muy importante de los procesos físicos que se producen en la atmósfera, cuyo carácter de visibilidad le confiere la propiedad de ser testigo revelador del tiempo presente. Esta afirmación se basa fundamentalmente, en que su forma, su mayor o menor grado de desarrollo, su altura y otras características que le son propias, son indicadoras del estado actual de la atmósfera. Para definir conceptualmente el término nube, debemos saber previamente que se entiende por meteoro. En tal sentido, un meteoro es un fenómeno observado en la atmósfera o en la superficie de la tierra consistente en una suspensión, precipitación o depósito de partículas líquidas (acuosas o no acuosas) o sólidas, o una manifestación de naturaleza óptica (arco iris, halos) o eléctrica (auroras boreales, rayos).

Un hidrometeoro es un meteoro consistente en un conjunto de partículas de agua en estado líquido o sólido, que caen o que se encuentran suspendidas en la atmósfera, que pueden ser levantadas de la superficie de la tierra por el viento e inclusive depositadas sobre objetos de la superficie.

Una nube es un hidrometeoro constituido por una mezcla visible de partículas de agua en estado líquido o sólido, o en ambos a la vez, que se encuentran en suspensión en la atmósfera por encima de la superficie del suelo sin estar en contacto con la misma. Puede también contener partículas de hielo de tamaño apreciablemente mayor y partículas sólidas tales como humo, polvo atmosférico y las que provienen de las emanaciones industriales, como los vapores.

Para que sea posible la formación de una nube, es imprescindible llegar a un determinado nivel de condensación del vapor de agua, lo cual es consecuencia de la disminución de la temperatura del entorno, o también de la presión atmosférica (esto último involucra además un enfriamiento). En ambas circunstancias, la humedad relativa aumenta hasta la saturación.

Otro importante requisito, previo a la formación de las partículas de agua o gotas, es la presencia de núcleos de condensación o sustancias higroscópicas es decir, corpúsculos de naturaleza mineral u orgánica alrededor de los cuales se realiza el paso del vapor de agua al estado líquido, constituyendo las gotas. Son fuentes de esos núcleos: el polvo originado por la erosión eólica, los humos de combustión

(natural o industrial), el polen y también los cristales de sal marina que se encuentran en suspensión en los distintos niveles de la atmósfera.¹⁶¹

Cuando las partículas o gotas de agua de la nube se vuelven demasiado pesadas para permanecer suspendidas en el aire, caen a la tierra en forma de precipitación.

Condensación y precipitación

El ciclo del agua en la atmósfera, como ya vimos, consta de la siguiente secuencia de fenómenos:

- Evaporación
- Condensación
- Precipitación
- Transpiración

En este punto nos interesa específicamente abordar con mayor grado de detalle, en qué consisten dos etapas relacionadas: la condensación y la precipitación. Veamos.

El proceso de condensación es el cambio del agua en estado de vapor a estado líquido. Así la acumulación de moléculas de agua forma gotitas extremadamente pequeñas. En cambio en el proceso de precipitación se reúnen muchas de esas gotitas para formar gotas más grandes, del tamaño de las observadas comúnmente en una lluvia, o cristales de hielo y agrupaciones de ellos en magnitud suficiente para conformar la consistencia de la nieve. La precipitación consiste entonces, en la caída libre a través de la atmósfera, de estos hidrometeoros que finalmente así llegan e impactan sobre la superficie terrestre.

Principales tipos de precipitación

Conforme sea la consistencia de la precipitación, es posible diferenciar distintos tipos de la misma, a saber:

1. Llovizna: es una precipitación tenue compuesta exclusivamente por pequeñas gotas de agua de tamaños bastante uniforme. Las gotas son tan pequeñas que parecen flotar en el aire y siguen las evoluciones de los movimientos de éste o en su caso son impulsadas en la dirección del viento imperante.
2. Lluvia: es una precipitación de agua líquida en la que las gotas son más grandes que las de la llovizna.
3. Nieve: es precipitación de agua en estado sólido en forma de cristales de hielo, en su mayor parte ramificados. Aún a temperaturas inferiores a las de congelación,

¹⁶¹ Extraído de [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/cld/home.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/cld/home.rxml). *Clouds, Precipitation*

estos cristales están rodeados de una delgada capa líquida, y cuando chocan unos contra otros quedan soldados constituyendo grandes copos.

4. Aguanieve: es una precipitación constituida por la combinación o mezcla de nieve y lluvia.

5. Lluvia engelante: se denomina así al agua, ya condensada, que precipita en forma líquida a través del aire frío. Al chocar con el suelo o la superficie de los objetos expuestos a la intemperie con temperaturas inferiores a 0°C, el agua se congela dando como resultado la formación de una capa de hielo glaseado.

6. Granizo: cuando se presentan nubes de tormenta de gran desarrollo vertical (cumulo nimbus) la gota de lluvia generada dentro de la nube es arrastrada hacia niveles superiores donde las temperaturas son inferiores a 0°C y de tal forma, en presencia de núcleos de congelación, se congela. Luego, al caer, se va fundiendo pero en su camino se encuentra nuevamente con las corrientes ascendentes que la llevarán a zonas de congelación aumentando su tamaño repetidas veces, hasta que por su propio peso caerán hasta la superficie terrestre. Por el gran tamaño que adquirieron, en su reiterado proceso de congelación, no alcanzarán a fundirse por completo al llegar al suelo y por lo tanto se presentarán en estado sólido con la dureza del hielo. Son comúnmente llamadas piedras de granizo o pedrisco. Además en su caída, pueden soldarse con otros granizos formando terrones irregulares.

Otros hidrometeoros

Son los siguientes:

- Rocío: se forma por condensación directa sobre el suelo o sobre objetos ubicados cerca de él. Se presenta principalmente durante la noche, cuando la superficie de la tierra se ha enfriado por irradiación.
- Escarcha: está constituida por cristales de hielo y se forma del mismo modo que el rocío, salvo que en este caso el vapor de agua contenido en el aire, pasa directamente al estado sólido tomando la forma de cristales de hielo con apariencia de escamas, agujas, plumas o abanicos.
- Cencellada: es un depósito de hielo constituido por granos más o menos separados con inclusiones de aire que ha quedado encerrado. Ocasionalmente se presenta adornado con ramificaciones cristalinas.

Como se observa, la condensación del agua en la atmósfera da lugar, posteriormente, a distintos tipos de hidrometeoros que hemos descrito. Ahora

corresponde que nos aboquemos a los que por el objeto de esta tesis resultan más relevantes a tal fin. Se trata de la lluvia y la llovizna.

Lluvia y llovizna

Según la definición oficial de la Organización Meteorológica Mundial¹⁶², la lluvia es la precipitación de partículas líquidas o gotas de agua, con diámetro mayor a 0,5 mm. ó de gotas menores, pero muy dispersas.

La llovizna, en cambio, es un tipo de precipitación caracterizada por gotas de tamaño pequeño, usualmente menor a 0,5 mm. de diámetro, dando la sensación de que las gotas flotan en vez de caer. Aunque su intensidad es usualmente menor a la de la lluvia, la llovizna puede ser lo suficientemente copiosa como para producir acumulaciones del orden de 1 mm./hora.

Como ya dijimos, tanto la lluvia como la llovizna, medidas en milímetros caídos por metro cuadrado, se transforma en un dato relevante para el resultado del producto financiero en análisis y por supuesto, para el rendimiento real de la producción agrícola de la que se trate.

Para caracterizar las lluvias de una zona o región debemos considerar la cantidad de milímetros caídos, la intensidad por intervalo de tiempo, la duración de cada evento, la frecuencia con que se sucede una lluvia con determinada intensidad y la variabilidad de las mismas a través del tiempo.

Las isohietas, precisamente, son líneas imaginarias trazadas sobre un mapa que unen puntos de igual magnitud de precipitación. Sirven para conocer la distribución geográfica de la precipitación en una región, un país, un continente o del mundo, de manera tal de posibilitar delimitar zonas húmedas, áridas o con excesos o defectos de lluvias.

La aptitud agrícola de una región no sólo depende de la cantidad anual de las precipitaciones, sino también de la distribución de las mismas a lo largo del año.

A continuación podemos observar las actuales isohietas de la provincia de Entre Ríos:

¹⁶²La Organización Meteorológica Mundial (OMM), o en inglés *World Meteorological Organization* (WMO) es una organización internacional creada en 1950 en el seno de la ONU cuyo objetivo es asegurar y facilitar la cooperación entre los servicios meteorológicos nacionales, promover y unificar los instrumentos de medida y los métodos de observación. En la actualidad cuenta con 191 Estados Miembros y Territorios.

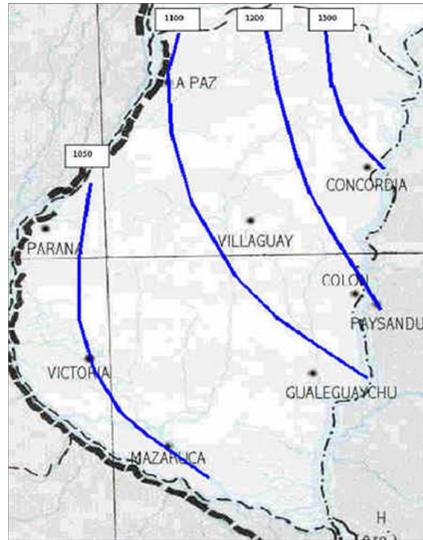


Fig. 43: Isohietas de Entre Ríos

Fuente: <http://www.mineria.gov.ar/estudios/irn/entrierios/fi-1.asp>

Regímenes de precipitación

Se denominan así a las formas en que se distribuye la lluvia en los doce meses del año. Según un criterio general, el régimen de precipitación se puede definir como:

- a) **Monzónico:** cuando las precipitaciones del semestre cálido son iguales o mayores al 80 % de la precipitación anual.
 - b) **Mediterráneo:** cuando las precipitaciones del semestre frío son iguales o mayores al 60 % de la precipitación anual.
- Este régimen pluvial, es propio de las regiones aledañas al mar Mediterráneo, de allí que la denominación aluda al mismo.
- c) **Isohigro:** cuando la precipitación se distribuye más o menos uniformemente a lo largo del año.
 - d) **De doble onda:** cuando las precipitaciones presentan picos en otoño y primavera.

De tal manera, si analizamos el régimen pluviométrico de nuestro país encontramos las provincias del noroeste (Jujuy, Salta y Tucumán) con un régimen monzónico bien definido. Si nos alejamos de estas provincias hacia el este, sur y sureste la concentración de lluvias estivales va disminuyendo hasta el punto que en el litoral, estepas pampeanas y patagónicas nos encontramos con el régimen isohigro. Por el contrario, en la faja montañosa de la Patagonia, el régimen es típicamente mediterráneo.

Por otra parte, si representamos en un eje de ordenadas los valores medios mensuales de precipitación y en el eje de abscisas las temperaturas medias mensuales de, por ejemplo, una región determinada, se obtiene un gráfico denominado hiterograma. De acuerdo a la forma del o los polígonos así formados, se puede conocer los distintos regímenes de precipitación.

Medición de las precipitaciones

Los instrumentos utilizados con mayor frecuencia para la medición de las precipitaciones son el pluviómetro y el pluviógrafo. Con ellos se mide la cantidad y la intensidad de agua caída.

Otra forma de medir las precipitaciones es a través de radares meteorológicos. Los mismos, generalmente, se conectan a ordenadores con sistemas que incorporan modelos matemáticos permitiendo, en función de las señales que captan, determinar cantidades y caudales de lluvia en tiempo real. El INTA tiene actualmente en funcionamiento 3 radares meteorológicos ubicados en las estaciones experimentales de Anguil (La Pampa), Pergamino (Bs. AS) y Paraná (Entre Ríos), con un radio de cobertura de cada uno de ellos de aproximadamente 300 km, monitorean en forma continua la evolución de los componentes nubosos de la atmósfera. Esa información se traslada a un mapa de la región y es registrada a intervalos de 10 minutos. Ello permite tener disponible y en tiempo real la dinámica de la evolución de la nubosidad y de las lluvias y tormentas en toda el área de cobertura mencionada. En la actualidad estos radares proveen de una cobertura prácticamente completa de la provincia de Entre Ríos.

Los valores determinados con estos instrumentos son científicamente comprobables y comparables con datos de cualquier zona o región del mundo.

La magnitud de la precipitación se expresa de varias maneras:

- Por la altura de la capa de agua, que cae en un día, y que cubriría el suelo. Supuesto éste perfectamente horizontal, sin filtraciones y sin evaporarse ni escurrirse. Si la precipitación es sólida (nieve, granizo) se considera la capa de agua producto de la fusión total de la misma. Como ya dijimos, la Organización Meteorológica Mundial considera lluvia a toda precipitación superior a 0,05mm., pero en nuestro país la menor precipitación que se registra es de 0,10 mm. en las estaciones meteorológicas y de 0,30 mm. en las pluviométricas. En ambos casos, el instrumento empleado para ello es el pluviómetro.

- Por la cantidad de agua caída por unidad de superficie. Esta metodología, generalmente se refiere a 1 m², aunque también puede relacionarse a ha o a km². El volumen de una capa de agua de 1 mm. de altura o espesor es igual a: 1 litro/m = 10 m³/ha = 1000 m³/km². Nótese que 1 milímetro de agua de lluvia equivale a 1 litro de agua por m².
- Por el volumen de agua. En este caso se obtiene multiplicando la altura de la capa de agua por la superficie cubierta.
- Por la intensidad de la precipitación. Se trata de medir la velocidad de crecimiento de la altura de la capa de agua, es decir la cantidad de agua caída en la unidad de tiempo (minuto, segundo, hora). Generalmente se expresa en mm/hora y se mide mediante un pluviógrafo.

Año hidrológico

Las variaciones de cantidades de lluvia se analizan relacionándolas con un período de tiempo. De tal forma se puede advertir fácilmente la variación en más o en menos, de las precipitaciones por cada período de medición. Para poder evaluar y describir correctamente las características objetivas del clima de una región, en el cual las precipitaciones y en especial las lluvias, desempeñan un papel importante, las mismas deben haber sido observadas y medidas por un período de por lo menos 30 años, lo que se llama un período de observación largo.

La variación estacional de las precipitaciones define el año hidrológico. Este es el período de doce meses que comprende un ciclo hidrológico completo, partiendo del mes siguiente a aquel en el que se observan los valores medios mínimos, medidos en un período de observación largo.

El año hidrológico no coincide necesariamente con el período que convencionalmente transcurre entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de un mismo año.

El año hidrológico se establece para intentar reflejar adecuadamente el comportamiento de las precipitaciones sobre una determinada cuenca hidrográfica.

El comienzo del año hidrológico puede variar entre una región y otra, incluso dentro de un mismo país. Por ejemplo, en países del hemisferio norte con clima continental extremo, con veranos muy secos e inviernos lluviosos, el comienzo del año hidrológico suele darse en septiembre u octubre. En el hemisferio sur, al contrario, puede considerarse marzo o abril.

Tratamiento estadístico de las precipitaciones¹⁶³

a- Primeras características a nivel estadístico

La primera característica distintiva que surge del análisis de las precipitaciones es su discontinuidad. Otros elementos del clima pueden ser medidos en cualquier momento y todavía pueden efectuarse un número casi infinito de observaciones cada día; por ejemplo la temperatura. En el caso de las precipitaciones esto no es posible, dado que hay días en que no pueden efectuarse observaciones pues el fenómeno no se produce. Aún más, durante una jornada de lluvia, ésta no se registra necesariamente durante todo el transcurso del día, sino que puede suceder en ciertas horas del mismo, o inclusive en el lapso de unos pocos minutos.

También es importante notar que para obtener los valores diarios, mensuales o anuales, se debe tener en cuenta los totales acumulados, en cada período que se trate, a diferencia de la temperatura cuyos valores se obtienen como un promedio de valores.

Las precipitaciones y períodos de medición más frecuentemente utilizados son los siguientes:

Precipitación diaria: es la precipitación mayor a 0,1 mm., acumulada entre las 9hs de un día y las 9hs del siguiente.

Precipitación mensual: es la correspondiente a la suma de todas las precipitaciones diarias del mes y acumula el total obtenido a las 9 hs. del primer día del mes siguiente.

Precipitación anual: son las precipitaciones acumuladas desde las 9hs. del día primero de enero de un año a las 9hs. del día primero de enero del año siguiente. Es el llamado año pluviométrico, que también puede obtenerse sumando los valores de precipitación mensual de los doce meses del año.

Otros índices vinculados a las precipitaciones, son los correspondientes a las mediciones de la lluvia acumulada semanal y la lluvia acumulada decádica.

A partir de las diferentes sumatorias de valores absolutos de lluvia caída según diferentes períodos vistos, es posible obtener los valores climáticos de precipitación:

Precipitación media mensual: promedio de una serie de precipitaciones mensuales, en un período no menor a 30 años.

Precipitación media anual: promedio de una serie de precipitaciones anuales, en un período no menor a 30 años.

¹⁶³ CÁTEDRA DE CLIMATOLOGÍA AGRÍCOLA, Universidad Nacional de Entre Ríos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Apuntes 2010, <http://www.cicyttp.org.ar/climatologiafca/docencia/apuntes/tema6.pdf>

Número de días con precipitación: promedio de días en un período en el que se produjo alguna precipitación, en una serie no menor a 30 años.

Los siguientes cálculos son elaborados para aportar mayor información sobre variaciones en milímetros caídos por encima o por debajo de la media mensual o anual, por ejemplo para analizar períodos atípicos en series temporales amplias.

Variabilidad media (V_m) mensual y anual:

$$V_m \text{ mensual: } V_{m_m} = Vm_m = \frac{1}{30} \sum_{k=1}^{30} (k_m - S_m)$$

siendo: k_m la precipitación diaria

S_m la precipitación media diaria del mes considerado

$$V_m \text{ anual: } V_{m_a} = Vm_a = \frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} (k_a - S_a)$$

siendo: k_a la precipitación mensual

S_a la precipitación media mensual

Variabilidad relativa (V_r) mensual y anual:

$$V_{r_m} = (V_{m_m}/S_m).100$$

$$V_{r_a} = (V_{m_a}/S_a).100$$

b- Frecuencias de clases, con distribuciones normales anuales, de cantidad diaria de precipitación

En nuestro país, el número de días anual máximo con lluvias se encuentra en Bariloche, con 101 días de lluvia por año y el menor en Caucete, provincia de San Juan, con sólo 12 días de lluvia por año. En la pradera pampeana encontramos valores de entre 70 días en el este y 50 días en el oeste de la misma. Por ello es importante destacar que, salvo en ciertas situaciones especiales, el valor mediano (Probabilidad = 50%) de la precipitación diaria es igual a cero (no lluvia) o dicho de otra manera, que el valor más frecuente de precipitación diaria es cero.

Además, hay lugares que tienen el mismo valor de precipitación media anual, pero difieren muchísimo en las precipitaciones extremas, es decir en años lluviosos o secos.

De todo lo analizado hasta aquí en cuanto al tratamiento estadísticos de las precipitaciones, se observa que no es posible adjudicar a los valores promedio de

precipitación el mismo significado que a los otros elementos del clima (contínuos y más regulares).

Es importante contar a su vez con el dato de la frecuencia de ocurrencia del evento lluvia caída, para lo cual una tabla de distribución de frecuencias se convierte en un elemento importante de análisis.

Relacionando para una serie de precipitaciones anuales suficientemente larga, el valor de la precipitación anual del año más seco con el de la precipitación del año más húmedo, de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Precipitación acumulada del año más seco}}{\text{Precipitación acumulada del año más húmedo}} = \frac{1}{X}$$

se puede conocer cuántas veces mayor es la cantidad de agua caída en un año lluvioso con respecto a uno seco. Por ejemplo, una relación de 1:3,7 significa que en un año lluvioso la precipitación es 3,7 veces más abundante que la del año seco. Esta relación aumenta en los climas muy secos, registrándose un valor excepcional en Coquimbo, desierto de Chile, con 1:188.

Esto hace necesario, en ocasiones, el recurrir a tratamientos estadísticos especiales con el fin de obtener parámetros que permitan caracterizar con exactitud el régimen de precipitaciones de un lugar.

Cuando se procede al análisis de una serie de precipitaciones, el primer paso consiste en realizar un gráfico de distribución de frecuencia en cuya ordenada se colocan las frecuencias (número de clases) y en las abscisas el elemento a estudiar, milímetros de precipitación en este caso.

Representando los valores mediante un histograma, se obtiene la distribución empírica de frecuencias. Si la misma se adapta a una distribución normal o gaussiana, la tarea de análisis se simplifica en gran medida y el valor de la media aritmética tiene real significación.

Sin embargo, esto sucede pocas veces, sólo cuando se trabaja en lugares muy lluviosos o con series de períodos largos.

La serie de valores de precipitación acumuladas en un período largo, como por ejemplo una serie de 30 años, debe distinguirse del término “series largas de precipitación” que indica que la serie posee muchos registros de precipitación, ya sea diarias, mensuales, anuales, etc. pero no necesariamente acumula muchos años de registro.

En lugares secos o con series de períodos cortos (quincenales, semanales) la distribución de frecuencias es asimétrica. En este caso se deben utilizar otras distribución esteóricas de frecuencia que representen el fenómeno, como por ejemplo la distribución normal logarítmica o la distribución normal raíz cúbica y es más conveniente la utilización de la mediana como medida de tendencia central, pues la media aritmética se ve muy distorsionada por la asimetría de información.

Para completar el estudio estadístico de las precipitaciones es importante tener en cuenta la distribución estacional de las mismas, pues permite determinar si las disponibilidades de agua coinciden con las exigencias a lo largo del ciclo del cultivo que se considere.

La precipitación, al igual que la temperatura, presenta esta característica primordial que nos permite diferenciarla claramente de los activos financieros que habitualmente son utilizados como subyacentes. Esta característica es la estacionalidad que presenta, al estar sometida a los ciclos de nuestro planeta alrededor de sí mismo y del sol, entre otros factores. Por lo tanto, no es de esperar que las precipitaciones doblen su valor de un año a otro, lo cual sí es susceptible de ocurrir en el caso de activos financieros comunes, como las acciones.¹⁶⁴ Esta razón nos lleva a pensar en modelos con reversión a una media como los más adecuados para reflejar la evolución de las precipitaciones.

Aquí también es importante referirnos a las consecuencias del cambio climático. Proceso que viene sufriendo nuestro planeta, tema que anteriormente ya hemos desarrollado.

En efecto, el cambio climático amenaza la producción agrícola por el alza de temperaturas, los cambios en las pautas de lluvia e incremento de la concurrencia de eventos climáticos extremos como sequías e inundaciones. Estadísticamente, esa tendencia dañina debe ser mostrada y su impacto incluido en los modelos de valoración de productos financieros para riesgos climáticos. El cambio en los regímenes de precipitaciones y en los eventos de sequía extrema no se da a través de un movimiento browniano como sería de esperar en el caso de otros subyacentes del mercado de capitales, sino que sus principales consecuencias en nuestra región,

¹⁶⁴ Pons Ferrer, V. (2003). *Derivados sobre un subyacente no negociable: valoración de una opción sobre meteorología*. Madrid: Universidad Complutense.

según una reciente investigación publicada por la Bolsa de Comercio de Rosario,¹⁶⁵ son:

- “en la mayor parte de los países la temperatura media está aumentando a una tasa de a 1 a 2 grados por siglo. Aunque, si se separa la temperatura entre máxima y mínima y entre estaciones del año, se observan calentamientos de hasta 8 grados por siglo en el invierno en el norte de la Patagonia, y de 5 a 8 grados por siglo en la temperatura mínima en el sur de Brasil.
- el aumento de las lluvias, principalmente las de primavera y verano, en toda la región del sudeste de Sudamérica. Las lluvias también aumentaron en gran parte de Ecuador; y, por el contrario, se redujeron en Chile y en la zona de Cuyo y norte de la Patagonia argentina. Resumiendo, en Argentina se observaron aumentos notables de lluvia en el centro-este del país y reducciones en la zona central, pegada a la Cordillera de Los Andes.
- el aumento en la frecuencia de ocurrencia de eventos extremos. Eventos que ocurrían una vez cada 100 años, se están acelerando de tal manera que ahora ocurren 4 ó 5 veces cada 100 años. Lo que nosotros tal vez más notemos como habitantes de esta región centro-este del país, es la mayor frecuencia de lluvias muy intensas. Las lluvias se concentraron y pareciera que caen todas juntas. Eso genera dos problemas: por un lado, la mayor posibilidad de inundaciones; pero, por otro, la posibilidad de eventos de sequía, debido al espaciamiento entre episodios de lluvia. Entonces tenemos los dos problemas: nos llueve todo junto, nos inundamos y después tenemos períodos sin lluvias que pueden desembocar en episodios de sequía. Si bien el fenómeno se da en gran parte de la región pampeana, el epicentro del aumento de lluvias intensas es en el este de Chaco, noroeste de Corrientes, donde se quintuplicó la frecuencia de ocurrencia de lluvias de más de 100 a 150 milímetros en el término de 48 horas.
- todo parece indicar que las olas de calor se repetirán más frecuentemente.
- el corrimiento de las fronteras agrícolas hacia zonas donde el aumento de hasta 200 milímetros en las lluvias anuales permitió la producción de cultivos en condiciones de secano en zonas que eran consideradas semiáridas.
- el aumento de las temperaturas también permitió el desplazamiento de los cultivos hacia el sur, favoreciendo las producciones en el sur de la región pampeana y permitiendo el ingreso de cultivos extensivos en la Patagonia. O sea que, por un lado, el aumento de las lluvias favoreció el desplazamiento

¹⁶⁵Magrin, G. (2014). *Cambio climático: impacto, vulnerabilidad y medidas de adaptación en el sector agropecuario*. Revista Institucional N° 1521. Bolsa de Comercio de Rosario, enero 2014.

hacia el oeste; y, por otro, el aumento de la temperatura favoreció el desplazamiento de los cultivos hacia el sur.”

c- Distribución empírica de frecuencia, determinación de percentiles

Se procede ordenando la serie de datos pluviométricos (anuales, mensuales) de menor a mayor y dividiendo a la serie en X partes iguales, denominadas gráficamente como percentiles.

Por ejemplo, dividiendo la serie en cuatro partes iguales se obtienen los cuartiles (25 % de probabilidad), en cinco partes iguales los quintiles (20 % de probabilidad), en diez partes iguales los deciles (10 % de probabilidad) o en dos partes iguales siendo el término central de la serie ordenada el valor mediano (50 % de probabilidad).

El cálculo se realiza de la siguiente forma: se determina para una probabilidad dada, el número de posición en la serie según:

$$\text{Posición en la serie} = \frac{\text{Prob. X (N + 1)}}{100}$$

siendo:

N: el número de años de la serie

Prob: la probabilidad correspondiente al percentil requerido

Así, por ejemplo, con N=51 datos ya ordenados de la localidad de Balcarce¹⁶⁶, provincia de Buenos Aires, podríamos calcular qué precipitación puede ocurrir con una probabilidad del 20 %. Aplicando la fórmula:

$$\text{N}^{\circ} \text{ posición de la serie} = 20 \times (51 + 1) = 10,4 / 100$$

Esto indica que entre el 10º y el 11º término de la serie ordenada de menor a mayor, se encuentra el valor de precipitación que puede esperarse con una probabilidad del 20 %. Si en este caso se tiene 37 y 42 mm. (en las posiciones 10º y 11º respectivamente), se interpola para obtener el valor de 39 mm. que es la precipitación buscada. La interpretación que debe darse al resultado obtenido, es que existe un 20 % de probabilidad de que se produzca una precipitación de 39 mm. o menos.

La probabilidad de que en un año cualquiera ocurra una precipitación determinada puede expresarse como período de retorno. Esto define uno de cada “tantos años” en el cual es probable que la lluvia tenga ese valor.

¹⁶⁶Ejemplo con datos reales brindados por el Servicio Meteorológico Nacional.

$$\text{Período de retorno} = \frac{100}{\text{PROB}}$$

O sea que para el 20 % de probabilidad, el período de retorno es de una vez cada 5 años; para el 10 % es de una cada 10 años y para el valor mediano es de una cada 2 años.

d- Distribuciones teóricas de frecuencia

En la actualidad el análisis de series de datos del clima, en general, se trabaja con distribuciones teóricas de frecuencias que ajustan bien el fenómeno y que puedan extenderse a otras localidades y así facilitar los cálculos.

Las distribuciones teóricas de frecuencia que pueden emplearse son: la distribución normal, la normal logarítmica y la normal raíz cúbica.

- Distribución normal: representa muy bien a numerosos elementos del clima (temperatura, humedad relativa, presión) pero no ajusta en muchos casos a la distribución de frecuencias de las precipitaciones, como ya fue indicado anteriormente.

Sólo puede ser aplicada en lugares muy lluviosos o para series con períodos largos de tiempo, por ejemplo la precipitación anual.

Toma en consideración dos parámetros, la media aritmética y el desvío estándar. A partir de ellos, para cada valor de la variable, se puede determinar la probabilidad de ocurrencia en base a:

$$Z = (x - \bar{x}) / \sigma$$

Con el valor de Z se puede obtener por tablas el valor de probabilidad. Asimismo, para un valor de probabilidad determinado (que corresponde a un valor de Z específico) se puede calcular un valor probable mediante la siguiente relación:

$$x = \bar{x} + Z \sigma$$

- Distribución normal logarítmica: se utiliza cuando la distribución normal no representa adecuadamente el fenómeno estudiado, fundamentalmente en series de precipitación mensual o decádica, que presentan gran asimetría. Consiste en calcular para cada valor de la serie de precipitación, el logaritmo natural, obteniendo luego el valor promedio de los logaritmos naturales de la serie y el desvío estándar respectivo. Mediante la fórmula de Z se obtiene el valor de x (ídem distribución normal) y se calcula el antilogaritmo del mismo para obtener el valor requerido de la variable.

Con este procedimiento se logra disminuir la asimetría de la serie, mediante un artificio como es el uso de los logaritmos naturales.

- Distribución normal raíz cúbica: persigue la misma finalidad que la distribución anterior, debiendo calcular en este caso las raíces cúbicas de los valores de la serie. Siguiendo el mismo procedimiento se puede obtener el valor x de la fórmula Z , recordando que éste debe elevarse al cubo para obtener el valor de precipitación requerido.

Finalmente, para poder decidir cuál de las funciones teóricas se ajusta mejor a la distribución empírica, se deben aplicar pruebas de bondad de ajuste, entre las cuales se halla, por ejemplo, la de chi-cuadrado.

e- Variación interanual de la precipitación

De forma similar que para el caso de la temperatura del aire, se puede estudiar también la variación interanual de la precipitación, ya sea por medio de los desvíos porcentuales de la precipitación anual de un año con respecto a la precipitación media anual normal, o mediante las variaciones de las frecuencias porcentuales. También se puede obtener la variación interanual de una variable con respecto a un valor de referencia, ya sea un año determinado, o un período (mes, trimestre) de un año de referencia.

Por ejemplo la variación interanual de la lluvia acumulada en Set-Oct-Nov del año 2010 en Paraná respecto de la lluvia acumulada en el mismo período durante el año 2009.

Incluso puede ser de interés tomar como referencia un año seco o un año húmedo y comparar con la situación observada en otro año.

Luego, a todos estos datos estadísticos, iremos combinándolos con los relacionados a la soja, su estado fenológico con el paso del tiempo y las necesidades de agua en cada período. Allí trabajaremos con otras herramientas estadísticas que permitirán relacionar datos y observar su consistencia y su ajuste a lo óptimo o deseado, como por ejemplo la covarianza, las rectas de regresión lineal simples y/o múltiples, logarítmica o exponencial y su coeficiente de correlación.

Ahora nos enfocaremos en la importancia del uso de estos instrumentos financieros para el productor agropecuario e inclusive para inversores, en cuanto a qué nivel de reducción de incertidumbre le aportan a su negocio y de qué forma su utilización contribuye a estabilizar ingresos y darle mayor eficiencia a la gestión de riesgos asociados a la actividad.

Decisiones arriesgadas

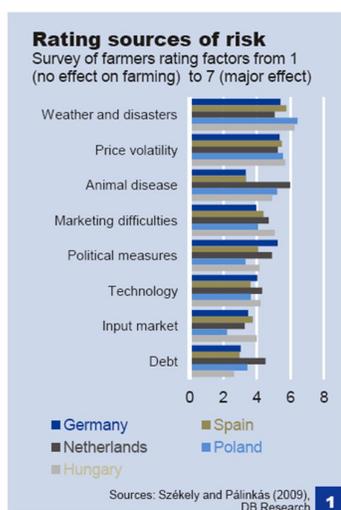
Los productores agropecuarios toman decisiones en ambiente de riesgo todos los días. Normalmente desconocen las consecuencias de sus decisiones en el momento en que las toman, aunque, el resultado que logren, puede ser mejor o peor de lo esperado o pretendido.

La variabilidad de los precios y el rendimiento son la mayor fuente de riesgo en la agricultura.

Cambios tecnológicos, problemas legales y sociales, así como el factor humano en sí también contribuyen al ambiente de riesgo del que hablamos.

Las dos situaciones que más preocupan a los productores agrícolas pueden resumirse en dos interrogantes, a saber:

- ¿existe una alta probabilidad de consecuencias adversas derivadas de nuestras decisiones?
- ¿estas consecuencias adversas podrían ser disruptivas para el negocio? ¹⁶⁷



La figura adjunta resume algunas fuentes de riesgo categorizadas de 0 a 7 por productores agrícolas de Alemania, Holanda, Hungría, España y Polonia. Vemos que clima y desastres de la naturaleza, o volúmenes de producción (*Weather and disasters*) y Volatilidad de precios (*Price volatility*) son los más significativos. Por otro lado, las medidas “políticas” o decisiones del gobierno (*Political Measures*) son posibles soluciones, pero a la vez parte del problema, de acuerdo a qué y cómo se ejecuten.

Figura 44: Rating de fuentes de riesgo

Fuente: Deutsche Bank Research, septiembre 2010

Anteriormente, cuando analizamos gestión de crisis y de riesgos vimos que la gestión del riesgo se puede definir como la elección entre las alternativas para reducir, precisamente, los efectos del riesgo. Esto requiere una evaluación del equilibrio entre los cambios en el riesgo, rentabilidad esperada y la libertad de empresa, entre otros. La atención debe centrarse en el “*risk that matters*” o el riesgo

¹⁶⁷Kaan, Dennis, Defining Risk and a Framework for Moving. Towards Resilience In Agriculture, Colorado State University.

que importa. Esto puede implicar la posibilidad de perder dinero, los posibles daños a la salud humana, repercusiones que afectan a los recursos u otros eventos que pueden menoscabar el bienestar de una persona.

Para un agricultor, la gestión del riesgo individual consiste en encontrar la combinación preferida, el *trade off* ideal entre actividades con ingresos inciertos y niveles variables de retornos esperados.¹⁶⁸

Los pequeños agricultores necesitan fondos para invertir en insumos e iniciar la siembra. Consideramos que la lógica de un productor a gran escala es diferente a partir de contar con financiación a la cual un pequeño empresario no accede en forma habitual.

Una cosecha exitosa depende fundamentalmente de favorables condiciones climáticas. Si hace buen tiempo, la cosecha también lo será, de esta forma, los agricultores generan excedentes que son vendidos, obteniendo así los ingresos necesarios para la siguiente plantación. Si hace mal tiempo, la cosecha se reduce y no se pueden realizar inversiones en nuevos recursos para el siguiente “círculo de la siembra”.

En términos básicos y primarios, las protecciones en base a activos financieros contra adversidades climáticas, mitigan el riesgo de pérdidas debidas al mal tiempo, permitiendo a los agricultores continuar con el círculo de la siembra a pesar del clima desfavorable, y dándoles así un entorno de vida más sólido y sostenible.

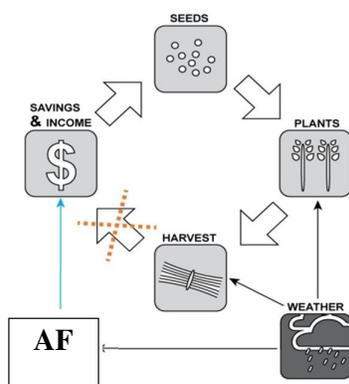


Fig. 45: Círculo de la siembra

(*) Protección contra adversidades climáticas

Savings and Income: ahorros e ingreso; **Seeds:** semillas; **Plants:** cultivos; **Harvest:** cosecha; **Weather:** clima; **AF:** Activo financiero de protección
Fuente: <http://www.celsiuspro.com/Partner/Microinsurance/tabid/766/language/es-ES/Default.aspx> con adaptaciones de propia autoría

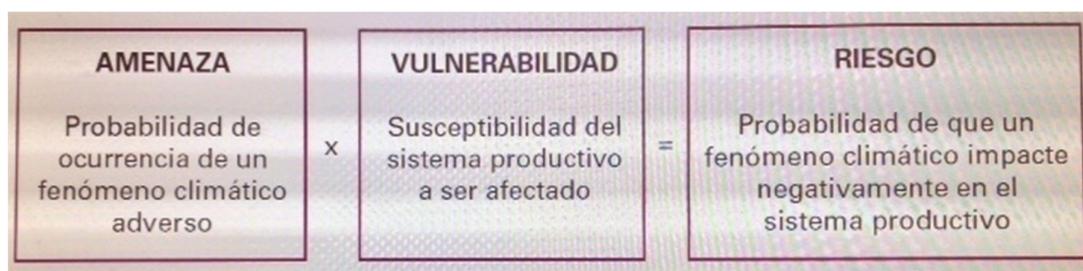
¹⁶⁸Op. Cit 167

De todos modos, y como también lo afirmamos previamente, la realidad del sector agrícola va más allá de los efectos negativos individuales. El riesgo en la agricultura no sólo es importante para los productores agropecuarios, sino que también lo es para la sociedad en su conjunto.

Cuando explicamos nociones de riesgo sistemático o de mercado y riesgo no sistemático o único, dijimos que retomaríamos estos conceptos justamente en esta instancia del trabajo.

Sin entrar en las definiciones específicas que ya vimos, la posibilidad de eliminar o reducir riesgos a través de la diversificación nos permite distinguirlos riesgos de mercado de aquellos únicos o específicos.

Ahora bien, ¿puedo eliminar el riesgo clima? Así planteado es difícil de explicar, pero si recordamos la formación del concepto riesgo asumida para la presente tesis entenderemos con mayor claridad.



Los factores climáticos adversos forman parte de la amenaza y no pueden modificarse, pero si podemos trabajar sobre la vulnerabilidad del sistema productivo a ellos, con lo cual reducimos el impacto negativo de los mismos.

Debido a que los agricultores varían en sus actitudes hacia el riesgo, la gestión del mismo no se puede ver bajo la idea de “*one size fits all*”¹⁶⁹. Es decir, no es prudente afirmar que "todos los productores de maíz deberían cubrir el 50 por ciento de su cosecha con Futuros ", o que "ningún agricultor debe planificar para obtener más de dos tercios de sus ingresos a partir de un solo *commodity*". Los agricultores enfrentan los riesgos de manera diferente. Sus preferencias hacia el riesgo y sus compensaciones de riesgo-rendimiento tienen un efecto importante en la toma de decisiones ante cada situación dada.¹⁷⁰

Veamos dos ejemplos de situaciones que enfrentan los productores agropecuarios y sus alternativas de decisión:

¹⁶⁹ Traducción del inglés: “Una talla para todos”

¹⁷⁰Harwood J., Heifner R., Coble K., Perry J.&Somwaru, A. (1999).*Managing Risk in Farming: Concepts, Research, and Análisis*, Economic Research Service, USDA, marzo 1999.

- **Diversificación productiva:** Don Juan está considerando cambiar en 200 has. de su campo, la producción de maíz por soja. Actualmente trabaja con el siguiente esquema: maíz, alfalfa y productos lácteos de su tambo. Con esta decisión el pretende reducir el riesgo de baja en sus ganancias ya que ha concluido que en la zona donde están sus campos, el rendimiento y los ingresos derivados de la producción de soja son menos variables que los del maíz y porque el rendimiento de este *commodity* no se mueve en bloque con el resto de sus producciones agropecuarias, es decir que no está perfectamente correlacionado con ellas. De manera que Don Juan debe analizar esta reducción de riesgos, sopesando cualquier potencial declinación en sus ingresos netos contra la posibilidad de reducir la variabilidad de los mismos, que él considera se logrará incorporando este cultivo dentro de su plan de siembra.
- **Seguro de cosecha – multiclima:** Don Pedro analiza si asegurarse o no debido a que sus hectáreas productivas se encuentran en una zona con altas probabilidades de sequías, con el elevado impacto que esto genera en el rendimiento de sus cultivos. Su decisión consiste en comprar un seguro para cubrir esta variabilidad, que al ser potencialmente alta ha observado que tiene un impacto importante en el costo de la prima anual correspondiente, o bien autoasegurarse y correr el riesgo de tener que absorber o no las pérdidas potenciales. Entonces, el *trade off* entre riesgo y rentabilidad que el analiza, lo debe ayudar a decidir entre asegurarse o no, y si lo hace, el nivel de cobertura que mejor se ajusta al riesgo que él desea tener cubierto.

Como se puede apreciar a través de las dos casuísticas en que involucramos a Don Juan y Don Pedro como decididores ante el riesgo, la gestión de riesgos, específicamente en la agricultura no implica necesariamente evitarlo, sino que incluye acciones tendientes a encontrar la mejor combinación disponible de riesgo y rendimiento, dando a la persona capacidad para soportar una amplia gama de resultados según su grado de aversión al riesgo.¹⁷¹

La mayoría de las herramientas que consideramos tienden a reducir la incertidumbre de ingresos interanuales, pero pueden tener sólo un pequeño o insignificante efecto sobre la incertidumbre de varios años. Precisamente porque nos concentramos en instrumentos de gestión de riesgos y no de crisis es que esto sucede. Existen

¹⁷¹Op. Cit 170

estudios, que no son objeto específico de la presente tesis, que analizan la efectividad de instrumentos financieros en la protección de ganancias durante períodos de varios años.¹⁷²

Recordemos también que la incertidumbre, una situación en la que una persona no sabe con certeza lo que ocurrirá, es necesaria para que el riesgo se haga presente, pero ella sola no tiene por qué conducir a una arriesgada situación.

Aunque la cobertura a través de instrumentos financieros puede reducir la incertidumbre de ingresos para muchos agricultores, nunca la elimina completamente.¹⁷³

Considerando cualquier actividad agrícola, como veremos más adelante con un ejemplo numérico, el trabajar con coberturas financieras otorga menor variabilidad en los retornos, medido tanto en términos de resultados absolutos como así también a través de su desvío estándar, frente a la estrategia de trabajar con la venta contado del cultivo cosechado o "*cash-sale only strategy*". En términos estadísticos, dos productores pueden tener similar media de ingresos anuales, pero variabilidades totalmente diferentes, con sus obvias consecuencias para la continuidad del negocio.

Originalmente, la literatura sobre coberturas de riesgos agrícolas, ha considerado que:

- Si hay certeza del *output* del productor, es decir si tenemos la certeza teórica del rendimiento de nuestros cultivos, la posibilidad de cobertura es prácticamente del 100 %. No es del total pues el riesgo de base sigue existiendo y hace que no se llegue a una cobertura plena.
- Por el contrario, si no hay certezas del *output*, como sucede en el caso de producciones agrícolas donde se observa un mayor potencial de riesgo que impida lograr los rindes esperados (por ejemplo por falta de agua), la razón de cobertura debe ser sustancialmente menor al 100%. Esto se daría por la correlación negativa, ya no sólo de precios aleatorios, sino también ahora, de rendimientos aleatorios. Normalmente así sucede y es lógico prever coberturas menores al 100 % pues justamente ese total es desconocido en dicho grado de exactitud.

¹⁷²Plato, G.E. (1988). *Effectiveness of Futures and Options in Reducing Farmer Revenue Risk*. Options, Futures, and Agricultural Commodity Programs: Symposium Proceedings. Bruce Wright ed. Staff Report No. AGES870911. U.S. Dept. Agr., Econ. Res. Serv., February 1988, pp. 84-93.

¹⁷³Op. Cit 170

Recientes estudios¹⁷⁴ han explorado otros aspectos de la cobertura y demostraron que la aleatoriedad que afecta a las coberturas plenas pasa no sólo por precio y rendimiento, sino también por la base. Sus conclusiones indican que, a diferencia de los resultados anteriores utilizando diferentes métodos, la cobertura óptima depende del nivel de la aversión al riesgo del productor. Además, llegaron a la conclusión de que los efectos del riesgo de base (*basis risk*), que no puede cubrirse, se ven agravados y potenciados por el riesgo en los rendimientos.

A nivel de definiciones sobre eficacia de coberturas utilizando distintas estrategias, si consideramos diferentes grados de protección entre, por ejemplo, el uso de opciones, futuros y/o estar líquido en el *commodity* para venderlo al final del período analizado, hay consenso en establecer que “el uso de futuros y opciones financieras tradicionales reduce la incertidumbre sobre los retornos”.¹⁷⁵

¿Conviene los derivados climáticos para un productor agropecuario?

Independientemente de todo lo expresado y argumentado oportunamente, consideramos relevante traducir en números una aproximación a coberturas mediante el uso de derivados del clima, en este caso opciones.

Como ya explicamos, cuando hablamos de coberturas mediante el uso de derivados del clima, nos extendemos a pensar también en términos de cubrir volúmenes como principal beneficio. Esto amplía el espectro de variables posibles de proteger y mejora el nivel de seguridad del productor agropecuario. Recordemos en este momento la llamada cobertura cruzada o *cross trading* que han comenzado a desarrollar ciertos productores y que graficamos oportunamente.

Pensemos hipotéticamente en un productor agropecuario que posee 1.000 has. aptas para producción agrícola en la zona del departamento Paraná, en la provincia de Entre Ríos.

Analizaremos dos escenarios extremos para la zona, como han sido la campaña 2008 – 2009, con sequía, y la 2013 – 2014, cercana a óptima en cuanto a lluvias.

Otros supuestos:

- sólo será analizada la variable clima y dentro de ella, las precipitaciones pluviales, como causante de variaciones en la ganancia final del productor agrícola

¹⁷⁴Lapan, H.&Moschini, G. (1994). *Futures Hedging Under Price, Basis, and Production Risk*. American Journal of Agricultural Economics, n.76, August 1994: 465-477.

¹⁷⁵ Op. Cit 4, pág. 170

- el productor destina la totalidad de sus hectáreas aptas a la producción de soja, no distinguiremos soja de primera o de segunda en esta instancia
- la tierra es de propiedad del productor, con lo cual no se consideran gastos de arrendamiento¹⁷⁶

De acuerdo a datos brindados por la Bolsa de Cereales de la provincia de Entre Ríos¹⁷⁷ tenemos que:

Campaña 2008 – 2009:

- Los productores entrerrianos sembraron 1.117.660 ha y lograron producir 1.059.992 tn; calculando el rendimiento en base al área implantada, se obtiene un rinde promedio provincial de 948 kg/ha., si consideramos lo cosechado el rendimiento fue de 1.093 kg./ha. ¿Por qué es importante en esta campaña expresar el rendimiento promedio en base al área total implantada? Al igual que lo sucedido con el maíz, el flagelo de la sequía, hizo que se perdieran 147.600 ha, lo cual significa que hubo un 13,2% de la superficie total en el cual los productores invirtieron el costo de implantación y tuvieron productividad cero. Si se analizan los gastos del productor en esta campaña, se concluye que para el recupero del monto invertido allá por el mes de octubre - noviembre de 2008, era necesario obtener rendimientos promedios de aproximadamente 2.230 Kg/ha, es decir que esta cosecha finaliza con una pérdida de 1.282 Kg/ha.
- Para el departamento Paraná, el rendimiento de lo sembrado fue de 716 kg./ha., con lo cual la pérdida sería de 1.514 kg./ha.
- Precio de Cámara soja Rosario 29/05/2009: \$ 1.032¹⁷⁸

Campaña 2013 – 2014:

- El área cultivada con la oleaginosa se posicionó en 1.363.200 ha, este hecho representó un crecimiento del 2,5% con respecto al ciclo 2012/13 y una expansión de 33.300 ha. El rendimiento promedio provincial se ubicó en 2.463 kg/ha, detectándose una variación positiva de 170 kg/ha, si se la compara con lo registrado el año anterior, lo cual equivale a un crecimiento del 7,4%. La

¹⁷⁶En Entre Ríos, aproximadamente el 70 % de la producción se trabaja con arrendamiento de tierras, según datos brindados por la Bolsa de Cereales de Entre Ríos

¹⁷⁷Informes finales de campaña elaborados por este organismo, elaborado con datos propios y de una extensa red de colaboradores. Así es como nace el SIBER. Sistema Integrado para el seguimiento y estimación de la producción de cereales y oleaginosas en el territorio entrerriano. <http://www.bolsacer.org.ar/Fuentes/siber.php>

¹⁷⁸Extraído de http://extranet.bcr.com.ar/extranet/CAC/wf_ReportView.aspx

mayor cantidad de hectáreas destinadas a la oleaginosa, el buen nivel de rendimiento logrado y el hecho de que no hubo mayores inconvenientes en la trilla arrojó como resultado una producción de 3.355.000 tn; generándose un crecimiento del 10,2% en base a lo informado en el ciclo anterior

- Para el departamento Paraná, el rendimiento de lo sembrado fue de 2.500 kg./ha.
- Precio de Cámara soja Rosario 29/05/2009: \$ 2.620¹⁷⁹

Claramente podemos ver las diferencias de rendimiento entre ambas campañas por efectos climáticos.

En el siguiente gráfico se muestra el monto de la precipitación acumulada entre noviembre y marzo y la variación del rinde promedio de soja en Entre Ríos para los últimos 12 ciclos agrícolas. Como puede observarse el monto total acumulado en el último verano se aproximó a los valores esperados para un evento “Niño”, existiendo una correlación positiva con los rindes registrados.

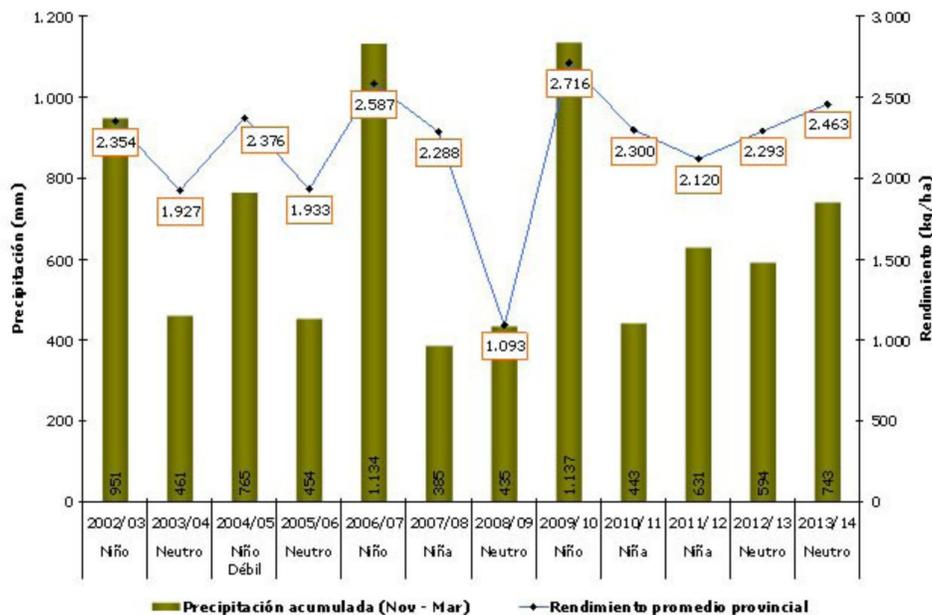


Figura 46: Situación del Pacífico Ecuatorial y rendimientos promedio de la soja en Entre Ríos
Fuente: Informes SIBER - INFORME PRODUCCIÓN SOJA - CAMPAÑA 2013/14 - www.bolsacer.org.ar

Una opción climática cuyo subyacente sea, por ejemplo, los milímetros de agua de lluvia acumulados caídos entre el 01/11/XX y el 31/03/XX, pagaría una determinada suma de dinero por cada milímetro por debajo del valor absoluto necesario para que

¹⁷⁹ Extraído de http://extranet.bcr.com.ar/extranet/CAC/wf_ReportView.aspx

el rendimiento del cultivo se encuentre dentro del promedio histórico provincial o del departamento, según se especifique previamente.

También podría considerarse un producto que prevea no sólo falta de agua, sino también exceso de la misma, es decir que la cantidad caída esté por encima de una banda de valores óptimos previamente definidos.

A modo de ejemplo presentamos los datos de lluvia acumulada para la campaña 2013 – 2014 para la provincia de Entre Ríos.

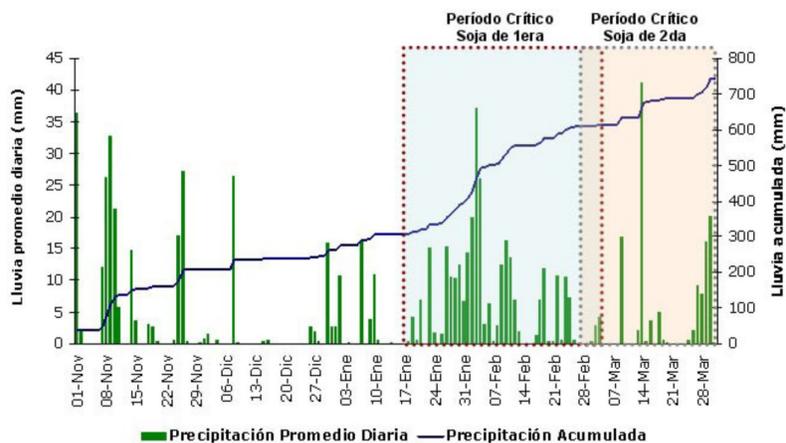


Figura 47: Precipitación promedio diaria y monto acumulado entre noviembre y marzo del 2014 en Entre Ríos

Fuente: Informes SIBER - INFORME PRODUCCIÓN SOJA - CAMPAÑA 2013/14 - www.bolsacer.org.ar

Otro dato interesante para dimensionar magnitudes de variación de los rindes por efecto de la escasez de agua es comparar el porcentaje de caída en la producción a nivel departamental entre la campaña 2007/08 vs. 2008/09.

Pérdidas productivas Campaña 2007/08 vs 2008/09	
Departamentos	Porcentaje
Concordia - Villaguay - Federal Federación - Feliciano - La Paz	- 80% a - 90%
Tala - Colón - Paraná - San Salvador	- 70% a - 80%
Nogoyá - Victoria	- 60% a - 70%
Diamante - Uruguay	- 50% a - 60%
Gualeguay	- 40% a - 50%
Gualeguaychú	- 10% a - 20%

Fig. 48: Pérdidas productivas por departamento de la provincia de Entre Ríos, campaña 2007/2008 vs. 2008/2009

Fuente: Informes SIBER - INFORME PRODUCCIÓN SOJA - CAMPAÑA 2008/2009 - www.bolsacer.org.ar

Ya sabemos que el primer paso en el *management* o gestión de riesgos climáticos es, a partir de diagnosticar el impacto del clima en el negocio, definir una estrategia de gestión en este sentido y proceder con la transferencia de riesgos propiamente dicha, ejecutando la estrategia elegida.

No veremos en detalle el impacto final en una explotación agropecuaria pues ello depende de diversos factores que en conjunto definen la exposición a riesgo de la empresa, pero aún así, ya tenemos elementos para comparar dos campañas casi extremas y las diferencias de rendimiento en las mismas. Para ello elaboramos el siguiente cuadro, donde están resaltadas en color verde las campañas del ejemplo.

CAMPAÑA	SUPERFICIE (HA)	SUPERFICIE PERDIDA (ha.)	SUP. COSECHADA	PRODUCCION (KG)	RENDIMIENTO S/SIEMBRA (KG./HA)	RENDIMIENTO S/cosecha (KG./HA)
1999/00	78500	5150	73350	124695	1588	1700
2000/01	103700	0	103700	264435	2550	2550
2001/02	130300	0	130300	323144	2480	2480
2002/03	153700	1200	152500	362950	2361	2380
2003/04	165300	700	164600	316032	1912	1920
2004/05	168600	0	168600	413070	2450	2450
2005/06	170000	0	170000	340000	2000	2000
2006/07	175000	0	175000	451500	2580	2580
2007/08	158000	470	157530	370196	2343	2350
2008/09	129816	17100	112716	92991	716	825
2009/10	167337	0	167337	463524	2770	2770
2010/11	161351	0	161351	325215	2016	2016
2011/12	153880	0	153880	308877	2007	2007
2012/13	157000	1100	155900	310530	1978	1992
2013/14	143400	0	143400	358500	2500	2500

Fig. 49: Producción de soja por campaña. Departamento Parana - Entre Ríos
Fuente: elaboración propia en base a datos de Bolsa de Cereales de Entre Ríos

El dato de superficie perdida, expresado en términos de kg./ha. y llevado al ejemplo de nuestro productor, tiene el efecto que se muestra en el siguiente cuadro:

CAMPAÑA	Perdida por cosecha	
	kg/ha.	sobre 1000 has.
1999/00	112	111529
2000/01	0	0
2001/02	0	0
2002/03	19	18582
2003/04	8	8131
2004/05	0	0
2005/06	0	0
2006/07	0	0
2007/08	7	6991
2008/09	109	108673
2009/10	0	0
2010/11	0	0
2011/12	0	0
2012/13	14	13956
2013/14	0	0

Fuente: elaboración propia en base a datos de Bolsa de Cereales de Entre Ríos

Fig. 50: Pérdidas por cosecha

En este punto es conveniente aclarar que:

- se considera un traslado del efecto de la merma en el rendimiento promedio del departamento, aplicado a cada hectárea de la totalidad de las 1.000 has. del ejemplo.
- por caso, en la campaña 2008 – 2009, los productores que están comprendidos en esas 17.100 has. sembradas y no cosechadas, no perdieron 109 kg./ha. sino que perdieron la totalidad de la cosecha que debería haber obtenido en cada una de dichas hectáreas.

Conforme ello, entonces, se visualiza el riesgo de base en el caso de cubrir estas diferencias con opciones sobre el clima.

Recordemos que además del riesgo de base entendido en su acepción habitual de tipo temporal, existe además el referido al hecho de que la medición se realiza en un lugar concreto aunque luego influya sobre toda un área o región mucho más amplia. Por ejemplo la información referida a “milímetros de lluvia caídos en la provincia de Entre Ríos” en base a la cual procuraremos construir sobre esta variable pluvial, proviene de tres Estaciones Agrometeorológicas del INTA ubicadas en las localidades de Oro Verde, de Concordia y de Concepción del Uruguay; sin embargo esos datos de lluvia locales serán el fundamento meteorológico de un instrumento financiero diseñado para ser empleado en un mayor ámbito regional comprensivo de toda la provincia.

Claramente los productores que perdieron estas 17.100 has. en el 2008/09 no tuvieron valores de lluvia dentro del promedio analizado.

El estudio y análisis del riesgo particular de cada explotación respecto del promedio de la zona y sus desvíos históricos, es el impacto final que ya aclaramos no veríamos pues consideramos excede el objeto de la presente tesis.

Inclusive es importante mencionar en este momento que ya existen en otros países, ofertas de productos financieros especialmente diseñados para cada inversor¹⁸⁰. Dichos productos de reciente diseño, permiten a los productores mitigar el riesgo de base típicamente asociado con las transacciones meteorológicas, para lo cual deben emplear un dispositivo o equipo de medición de tiempo específico en sus propias instalaciones, sean estas granjas, campos de golf, estaciones de esquí, centros comerciales, hospitales, etc.

¹⁸⁰Ver <http://cwbrokerage.com/> y su desarrollo de herramientas denominadas OST (*Onesite trading*)

El equipo utilizado que se muestra en las siguientes imágenes con un ejemplo comercial concreto, consiste en una estación meteorológica en pequeña escala y protegida contra intentos de violaciones a su dispositivo.



Figura 51: Instrumento que se instala en el predio del inversor que adquiere el producto *Onesite trading*.

Fuente: <http://cwbrokerage.com/on-site-trading-ost/>

Recordemos que través de la denominada Inteligencia de Riesgos Climáticos (***Weather Risk Intelligence***) se evalúa y cuantifica la sensibilidad del negocio - estados financieros y valoración- a las variables meteorológicas. El resultado se detalla en un informe de riesgo clima, el cuál se complementa con un minucioso análisis económico-financiero que permite tener una visión global de la exposición del negocio.

El informe de riesgos climáticos posibilita diseñar una estrategia de gestión de riesgos totalmente adaptada logrando que la sensibilidad del negocio a una variable de compleja predicción, como es el clima, pueda ser modificada y controlada en el futuro.

El simple hecho de conocer el impacto potencial del clima es de gran valor para la comprensión global de las variables que mueven el negocio e implica un claro avance en el campo de la inteligencia de negocio (***Business intelligence***).

De tal manera, entonces, el productor podrá optar entre diferentes alternativas que estarán comprendidas dentro de estos dos extremos o en los extremos mismos:

- No hacer nada para resguardarse del riesgo climático y sus consecuencias
- Hacer todo lo posible para resguardarse del riesgo climático y sus consecuencias según su exposición previamente analizada

Las consecuencias de su decisión en términos de kg./ha. cubiertos o perdidos se deducen de los gráficos antes presentados. Aquí advertimos y observamos en la práctica, el mencionado *trade off* entre riesgo y rentabilidad que un productor

agropecuario debe considerar siempre si desea reducir la vulnerabilidad de su negocio a las amenazas climáticas.

La beta (β) de estos instrumentos, ¿teoría o realidad?

Finalmente, cabe agregar que los instrumentos derivados relacionados al clima, no solo son buscados por productores coberturistas, sino también por inversores, tanto coberturistas como especuladores, a partir de que "...este es un mercado donde es posible encontrar activos con betas nulas."¹⁸¹

Recordando que la beta (β) es un indicador de la mayor o menor correlación que existe entre la evolución del precio-renta de un activo financiero y el rendimiento medio del mercado, es que podemos inferir lo interesante de la incorporación de este tipo de derivados a portfolios de inversión con el fin de disminuir el riesgo conjunto de la cartera considerada. ¿Por qué? Porque teóricamente, si incorporamos en una cartera con una beta determinada, un activo financiero con beta nula, claramente la correlación entre dicha cartera y el mercado disminuye. Esto, en materia financiera, indica una baja en el riesgo no sistemático o diversificable.

Ahora sí, consideramos que contamos con la información y los procedimientos necesarios para ser aplicados concretamente al ámbito regional de la provincia de Entre Ríos.

En el siguiente apartado, entonces, combinaremos todos los datos existentes sobre precipitaciones pluviales en las antes mencionadas tres estaciones meteorológicas de la provincia de Entre Ríos, entre el mes de enero de 1954 y el de diciembre de 2012, con los datos relacionados a la producción de soja en la misma región. A partir de allí intentaremos hallar vínculos entre las variables y la fuerza de esa relación entre las mismas, empleando cálculos estadísticos, para posteriormente hacerlo mediante cálculos financieros, procurando obtener conclusiones que nos permitan validar o refutar nuestra hipótesis original.

¹⁸¹Pons Ferrer, V. (2003). *Derivados sobre subyacente no negociable: valoración de una opción sobre meteorología*. Madrid: Universidad Complutense: julio de 2003.

Las precipitaciones en la provincia de Entre Ríos y sus consecuencias para la producción de soja

Cuando analizamos el Gerenciamiento de Riesgos Climáticos como negocio, establecimos que “gerenciar clima” implicaba dos facetas sobre las cuales es posible posicionarse en forma simultánea sobre ambas o en cada una en forma separada. Se trata del *management* de riesgos y/o la comercialización de riesgos.

También establecimos que el primer paso en este *management* o gestión de riesgos se denomina: Inteligencia de Riesgos climáticos. Como resultado de esta instancia de análisis, deberíamos contar con un informe sobre la sensibilidad de nuestro negocio a las amenazas climáticas. Ese reporte debe constar de dos secciones bien diferenciadas. Por un lado abarca el análisis estadístico de las variables climáticas consideradas en el estudio a través de diferentes herramientas que nos permitan describirlas de manera entendible pues de ello dependen nuestras decisiones de negocio y por el otro lado, comprende el análisis del negocio, visto a la luz del impacto de dichas variables en los estados contables, en la rentabilidad del negocio, en nuestro perfil de riesgo como inversores y en definitiva, en nuestra realidad financiera y económica.

Con ambos aspectos cubiertos y analizados, inclusive ante diferentes escenarios, estamos en condiciones de tomar decisiones tendientes a bajar nuestra exposición o, como dijimos en la definición de riesgo adoptada para este trabajo, decisiones encaminadas a reducir al mínimo económicamente factible, nuestra vulnerabilidad a las amenazas climáticas.

Inteligencia de Riesgos climáticos en Entre Ríos

Con el fin de facilitar y asimilar el desarrollo teórico, consideramos oportuno analizar el ejemplo ficticio de un productor agropecuario entrerriano, con las siguientes aclaraciones:

- Aplicaremos en él todos los pasos de la Inteligencia de Riesgos climáticos y la posterior construcción de un producto financiero para su cobertura parcial.
- Para situarnos, se trata de un productor agropecuario que posee 1.000 hectáreas dedicadas a la producción agrícola.
- Analizaremos el cultivo de soja que el realiza, en cercanías de la ciudad de Oro Verde; localidad ubicada en el distrito Sauce, departamento Paraná, 10 km al sur de la ciudad capital entrerriana.

- Este productor tiene otras actividades rurales relacionadas que le permiten diversificar sus ingresos, dentro del mismo rubro general, el agropecuario.

Siguiendo el orden detallado con anterioridad a fin de diseñar o estructurar soluciones para el clima, observaremos los seis pasos prescritos Inteligencia de Riesgos climáticos, a saber:

1. Identificar la/las variable/s del tiempo críticas para nuestro negocio
2. Identificar una fuente confiable y neutral de datos históricos e información actual de las variables meteorológicas.
3. Identificar el período o la/las fechas en las que la influencia de las variables meteorológicas es determinante para el caso bajo estudio
4. Identificar el impacto de las variables meteorológicas en los ingresos, márgenes, beneficios y / o costos.
5. Cuantificar la relación entre los cambios en las variables climáticas y los cambios en los parámetros financieros afectados por dicha variable.
6. Establecer la sensibilidad a los cambios en los parámetros financieros y traducir la sensibilidad en términos de la variable tiempo.
7. Diseñar el producto financiero aplicable o utilizar alguno de los existentes en el mercado, según el sistema o programa contra los riesgos climáticos seleccionado.

Los pasos 1 a 6 forman parte de la denominada Inteligencia de Riesgos Climáticos (***Weather Risk Intelligence***), el restante conforma el llamado Diseño de soluciones para el clima (***Weather Structured Solutions***).

Comenzaremos entonces a desarrollar cada paso.

- 1- El primero es identificar la/s variables del tiempo críticas para nuestro negocio.

Ya dijimos que la planta es un verdadero sensor meteorológico complejo, pues no registra las variaciones de un solo elemento aislado, sino de todos los componentes climáticos que tienen influencia sobre su ciclo biológico.

En este caso apuntamos específicamente al análisis de las precipitaciones pluviales como uno de los principales factores de influencia en el rendimiento final del cultivo de soja.

Sabemos que en la región pampeana la ocurrencia de sequías o ausencia de precipitaciones de diferente magnitud e intensidad constituye la principal causa de

variabilidad interanual de los rendimientos. Estas sequías se presentan en diferentes momentos dentro del ciclo de crecimiento del cultivo, según los años.

Por otro lado, también vimos que es común que el cultivo esté sometido a distintos grados de estrés hídrico, en una o más etapas de su desarrollo, a pesar que las lluvias a lo largo de su ciclo superen las necesidades de agua del cultivo. La falta de una adecuada distribución de las precipitaciones es la causa de los déficits hídricos temporarios que se producen en distintos momentos del ciclo.

El momento de ocurrencia de una deficiencia hídrica es importante, porque con una misma intensidad de deficiencia el efecto sobre el rendimiento en semilla será distinto según el estadio del cultivo.

En definitiva vemos que es importante no sólo la cantidad de agua o milímetros caídos u obtenidos con riego, sino también el momento en que ello ocurre, es decir, su distribución en el tiempo.

En el otro extremo, los excesos de agua pueden generar desde la llamada falta de piso, a partir de lo cual se hace imposible el ingreso de maquinaria a los campos al momento óptimo para cosecha, pasando por el anegamiento y/o planchado del cultivo en sus etapas iniciales y hasta la muerte de las plantas por putrefacción debido a la cantidad de agua caída y estacionada.

Ahora abordaremos el siguiente paso.

- 2-** Identificar una fuente neutral y confiable de datos históricos e información actual de las variables meteorológicas.

Como ya dijimos, recurrimos a trabajar con datos aportados por las Estaciones Agrometeorológicas del INTA.

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria cuenta con el Centro Regional Entre Ríos (CRER), situado en Ruta Nacional 11 Km 12,5, Oro Verde, el cual nuclea tres dependencias ubicadas cada una en las localidades de: Oro Verde (en el mismo edificio del CRER), Concepción del Uruguay y Concordia. Las acciones sustantivas del CRER se basan en una estructura conformada por estas tres Estaciones Experimentales Agropecuarias, diecisiete Agencias de Extensión y seis oficinas técnicas. Los recursos humanos involucrados en la tarea suman alrededor de cuatrocientas treinta personas.

El siguiente cuadro resume las ubicaciones de este grupo de estaciones meteorológicas:

Estación Meteorológica	Dirección
EEA Paraná	Ruta 11 Km. 12,5, Oro Verde
EEA Concepción de Uruguay	Ruta Provincial 39 Km 143,5, Concepción del Uruguay
EEA Concordia	Estación Yuquerí, Ruta Provincial 22 y vías del Ferrocarril, Concordia

Las tres Estaciones Experimentales Agropecuarias que dependen del CRER cuentan con instrumentos para la medición de precipitaciones pluviales. Inclusive la EEA Paraná (ubicada en Oro Verde) tiene un Radar Meteorológico, cuyas características y beneficios ya describimos en el apartado Medición de las precipitaciones.

En este punto es importante hacer dos consideraciones relevantes a nuestro entender:

- a- A nuestro productor agropecuario, para su explotación en particular, le interesan los datos aportados exclusivamente por la EEA Paraná, ubicada precisamente en Oro Verde.

Si el producto financiero se estructurara solamente con los datos de esta estación, el riesgo de base sería prácticamente nulo, y quizás inexistente, pues ya lo expresamos antes, el riesgo de base en derivados del clima surge por la posible divergencia de tiempo atmosférico entre el lugar donde se realiza la medición y el área cubierta por el derivado. Es un riesgo de base de tipo espacial.

- b- Así como sería de beneficioso para este productor individual, de la misma manera lo sería de perjudicial para lograr un producto de comercialización masiva, el hecho de trabajar con una sola estación meteorológica. Si hiciéramos esto, correríamos importantes riesgos de no lograr volúmenes considerables en su negociación pues el área de cobertura sería muy pequeña, perjudicando otra variable relevante como lo es el precio.

Cuando vimos aspectos particulares de esta clase de derivados, se explicaba que la valoración riesgo neutral de estos activos pasa justamente por lograr volúmenes negociados importantes, lo que nos daría mayores certezas sobre la valoración realizada por el propio mercado e iría disminuyendo las

posibilidades de precios muy dispares para un mismo instrumento y riesgo cubierto.

Corresponde ahora continuar con el siguiente paso.

- 3-** Identificar el período o la/las fechas en las que la influencia de las variables meteorológicas es determinante para el caso bajo estudio.

Al describir los estados de desarrollo de los cultivos en general, vegetativo y reproductivo, pudimos apreciar que el período crítico para la determinación del rendimiento final, en el caso de la soja, comienza en R3-R4 y se extiende hasta R6. Cualquier deficiencia en humedad desuelo, nutrientes, luz, defoliación por orugas, enfermedades foliares, ataque de chinches, entre otras que se extienda desde aquí y hasta R6, repercutirá en el rendimiento.

El período R4,5 a R5,5 es especialmente crítico pues la floración se completa y las vainas y semillas pequeñas pueden abortar bajo condiciones ambientales no adecuadas.

La reducción del rendimiento se debe principalmente a la caída en el número de vainas por planta. Si bien bajo condiciones favorables para el cultivo luego de R5,5, el peso de los granos puede compensar en parte la caída del rendimiento ocurrida durante el período crítico, de todos modos esta compensación está limitada genéticamente.

Cabe preguntarse: ¿Cuándo sucede esto en la provincia de Entre Ríos? De acuerdo a datos aportados por la Bolsa de Cereales de la Provincia de Entre Ríos, ya vimos en el apartado Decisiones arriesgadas, que el período crítico para la soja es el trimestre enero – marzo. En el caso de la soja de primera concretamente, abarca desde mediados de enero a los primeros días de marzo y para la soja de segunda, abarca desde fines de febrero a fines de marzo.

En adelante, los siguientes cuatro pasos son tratados en conjunto pues entendemos que ello facilita la comprensión dado que existe una clara interrelación entre los mismos. Veamos:

- 4-** Identificar el impacto de las variables meteorológicas en los ingresos, márgenes, beneficios y/o costos.
- 5-** Cuantificar la relación entre los cambios en las variables climáticas y los cambios en los parámetros financieros afectados por dicha variable.
- 6-** Establecer la sensibilidad a los cambios en los parámetros financieros y traducir la sensibilidad en términos de la variable tiempo.

- 7- Diseñar el producto financiero aplicable o utilización de alguno de los existentes en el mercado, según el sistema o programa contra los riesgos climáticos seleccionado.

Para poder cumplir con lo prescrito en los ítems anteriores, debemos recurrir al análisis estadístico de las precipitaciones, como variable independiente y exclusiva de un posible producto financiero, además de estudiar la fenología de este cultivo, su ciclo ontogénico, las fitofases y los riesgos involucrados en cada una, así como las exigencias y tolerancias meteorológicas conjuntas.

Todos estos temas, excepto los datos estadísticos reales de precipitaciones, ya fueron tratados a lo largo de este trabajo.

Es el turno del análisis de la lluvia a lo largo de los años en la provincia de Entre Ríos, tomando como base teórica el apartado que denominamos Tratamiento estadístico de las precipitaciones.

Contamos con una base de datos que incluye las precipitaciones diarias del período enero de 1954 a diciembre 2012 en los departamentos Paraná, Concordia y Concepción del Uruguay, provista por las tres EEA del INTA.

Trabajamos con precipitaciones mensuales acumuladas, pues el uso casi exclusivo a nivel mundial de estos productos financieros se da a través de mediciones acumuladas (mensuales o de períodos irregulares) y no diarias. En ese sentido, se presenta la situación de discontinuidad del fenómeno, pues obviamente no llueve todos los días del año. Por este motivo también, como ya explicamos, no es posible adjudicar a los valores medios de precipitaciones el mismo significado que a otros elementos del clima, continuos y regulares. Estos valores, en Entre Ríos, muestran que:

- La localidad de Concordia, con 1.305 mm. anuales en promedio, recibe 200 mm. más de lluvia que el resto de las ubicaciones observadas.
- También Concordia es la que tuvo con 2.193 mm. de lluvia en el 2002, el año más lluvioso dentro de las tres estaciones experimentales.
- La localidad de Paraná, con 531 mm. de lluvia acumulada en un año, presenta al año 1962 como el menos lluvioso de las tres estaciones experimentales.
- La precipitación en un año lluvioso, respecto de uno seco es más abundante: 2.96 veces en Concepción del Uruguay, 3.12 veces en Concordia y 3.42

veces en Paraná. Estos datos aportan una aproximación a la idea de dispersión por espacio geográfico, variabilidad respecto de la media o más específicamente lo que conocemos como desviación estándar. Sabemos que la desviación estándar mide la variación entre puntajes, es decir que crece a medida que aumenta la dispersión de datos y conforme lo verificado, vemos que en Paraná sucede en mayor medida. En términos de producción agropecuaria, en dicho departamento es probable que observemos mayor variabilidad de las cantidades de lluvia y posiblemente también distribución en el tiempo; ambos aspectos con efectos ya descritos sobre el rendimiento final. El paso siguiente consistió en ordenar los datos de lluvias de las tres estaciones experimentales con dos criterios: por una lado acumular las precipitaciones de los meses de noviembre del año 1 a marzo del año 2, a los efectos de agrupar los cinco meses de cada campaña sojera. Por otro lado, analizamos estadísticamente las precipitaciones de los meses de enero a marzo de cada año en forma acumulada, previamente definidos como críticos para este cultivo, ya sea para soja de primera como de segunda.

Partiendo de la premisa de que el uso de la estadística descriptiva sirve para interpretar mejor un conjunto de datos conociendo sus características, apoyamos la afirmación que establece que existen tres características extremadamente importantes y que pueden aumentar considerablemente nuestro entendimiento sobre los datos a analizar, a saber: un valor representativo, la naturaleza o forma de distribución de los datos, y una medida de dispersión o variación de los mismos.¹⁸²

También incluimos aquí el dato de rendimiento del cultivo (kg./Ha) por departamento de nuestra provincia, para el mismo período de lluvias considerado, extraído de la página web del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de nuestro país. En Entre Ríos existen datos de producción y rendimiento del cultivo de soja desde la campaña 1973/74, con lo cual ajustamos desde esa fecha el análisis de lluvia, logrando así uniformar la investigación. Es decir que cuando estudiemos relaciones entre lluvia y rendimiento del cultivo de soja abarcaremos sólo estos 39 años que median entre el año 1973 y el año 2012.

Cabe aclarar que el período de 1973 a 1990 por un lado y el de 1991 a 2012 por el otro, muestran claras diferencias estadísticas en cuanto a productividad de los factores agrícolas. Veremos esto con mayor detalle más adelante, pero lo

¹⁸²Triola, M. F. (2000). *Estadística elemental*. (7ª ed.). México: Addison W. Longman.

adelantamos para entender por qué incluimos datos de toda la serie y otros con la aclaración “desde 1991 en adelante”.

La siguiente tabla resume medidas de tendencia central de las tres estaciones, como valores representativos de la variable precipitaciones acumuladas y expresada en milímetros acumulados por unidad de tiempo:

	Todas	Paraná	C. del Uruguay	Concordia	Datos promedio
Media en 5 meses	644,94	646,28	589,48	707,78	637,85
Media en 3 meses	394,82	391,34	363,88	433,11	390,10
Media en 5 m. desde 1991	651,37	653,74	588,20	705,13	644,46
Media en 3 m. desde 1991	391,27	383,04	358,70	438,23	382,43
Moda en 5 meses	638,9	No hay moda	902,5	638,9	No hay moda
Moda en 3 meses	266,7	No hay moda	No hay moda	203,8	No hay moda
Moda en 5 meses desde 1991	691,4	No hay moda	902,5	586,7	No hay moda
Moda en 3 meses desde 1991	536,2	No hay moda	No hay moda	399,4	No hay moda
Mediana en 5 meses	583,7	591,25	538,05	594,00	593,1
Mediana en 3 meses	367,5	361,75	321,60	396,95	365,4
Mediana en 5 meses desde 1991	585,2	581,55	552,10	594,00	593,1
Mediana en 3 meses desde 1991	373,9	399,40	321,60	399,40	365,4

Fig. 52: Medidas de tendencia central para lluvias en EEA INTA Entre Ríos

Fuente: elaboración propia con datos del INTA

Se puede observar como la mediana equipara y casi homogeniza valores entre las tres estaciones, pese a que la media nos muestra otra información muy distinta. Esto nos brinda indicios de que deben existir valores extremos e inusuales que están distorsionando la obtención de conclusiones sobre regularidad de lluvias.

Las observaciones *outliers* son aquellas que están situadas de la media, a una distancia mayor que tres desviaciones estándar, es decir o mucho mayores o mucho menores que la media, distorsionándola. Identificadas las mismas, fueron eliminadas para los siguientes análisis.

Igual criterio aplicamos para la base de datos de los rendimientos de la campaña por departamento. Así fue que eliminamos todos los registros sin datos y las campañas 2008/09 en Paraná, 1984/85 en Concepción del Uruguay y en Concordia.

Constituye un dato adicional, para el período crítico de enero a marzo de 1991 al 2012 y considerando en conjunto a las tres estaciones experimentales, la amplitud de la diferencia entre el máximo de lluvias acumulada y el mínimo se amplía a 9.12

veces. Es decir que un año lluvioso, es tal, 9.12 veces más que uno seco. Mayor amplitud, mayor dispersión, ¿mayor riesgo para el producto?, ya lo veremos.

Para analizar la forma de distribución de los datos y derivar conclusiones por ese lado, elaboramos histogramas y polígonos de frecuencia, tanto para la lluvia a cinco meses como para la acumulada en tres.

Histograma y polígono de frecuencias absolutas - Campañas sojeras 1973/74 al 2011/2012

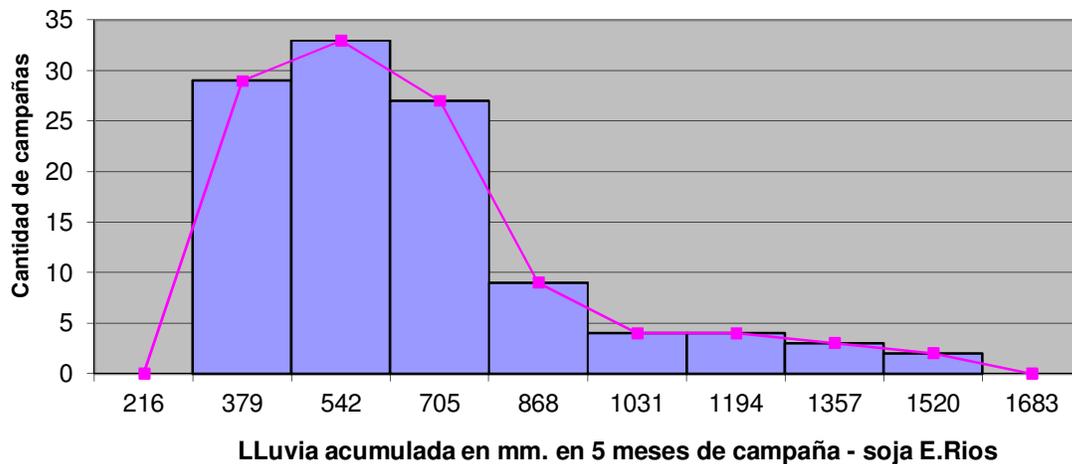


Fig. 53: Histograma y polígono de frecuencia. Lluvia en 5 meses de campaña sojera en Entre Ríos
Fuente: elaboración propia con datos del INTA

Histograma y polígono de frecuencias absolutas - Campañas sojeras 1973/74 al 2011/2012

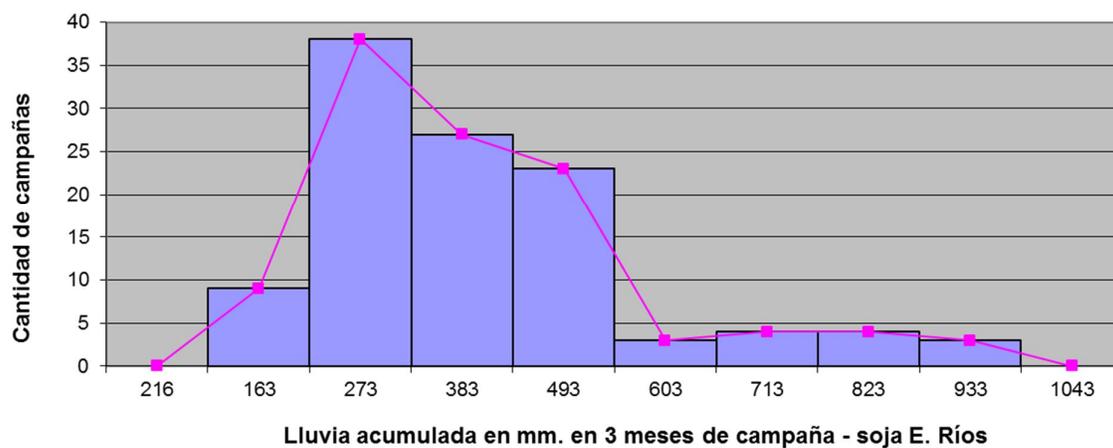


Fig. 54: Histograma y polígono de frecuencia. Lluvia en 3 meses de campaña sojera en Entre Ríos
Fuente: elaboración propia con datos del INTA

A simple vista podemos observar que los datos, en ambos casos, no están simétricamente distribuidos. La distribución es asimétrica, sesgada o con cola a la derecha.

Finalmente, los valores de las medidas de variación medidos en milímetros acumulados por período de tiempo son:

	Todas	Paraná	C. del Uruguay	Concordia	Datos promedio
Intervalo en 5 meses		993,40	711,10	1302,00	847,17
Intervalo en 3 meses		794,50	748,40	780,30	562,97
Intervalo en 5 meses desde 1991		965,90	711,10	1302,00	840,53
Intervalo en 3 meses desde 1991		616,10	538,70	780,30	562,97
Desvío estándar en 5 meses	267,3766				
Desvío estándar en 3 meses	182,6522				
Desvío estándar en 5 meses desde 1991	274,8100				
Desvío estándar en 3 meses desde 1991	173,9236				

Fig. 55: Medidas de variación para lluvias en EEA INTA Entre Ríos

Fuente: elaboración propia con datos del INTA

Estas medidas terminan de ratificar las afirmaciones anteriores en cuanto a la variación que presentan los registros, aspecto a considerar y evaluar al momento de definir, por ejemplo, cuál sería el *strike* (precio de ejercicio) de un producto de estas características. Como ya sabemos, no será el precio de ningún activo financiero, sino una medida acumulada de milímetros de lluvia caídos.

Analizada la variable independiente, la pregunta que surge es: ¿influye esta variable en el rendimiento de la soja? Y si fuera el caso ¿en cuánto?

Para ello debemos trabajar la correlación entre ambos pares de datos, precipitaciones y rendimientos, a lo largo de los años. Aquí, tal como adelantamos, nos circunscribimos en primera instancia a 39 años de análisis: del año 1973 al año 2012.

Como mencionamos en el punto 2, a nuestro productor en particular le interesa analizar sólo los datos de Paraná, pero como nosotros procuramos lograr un producto financiero de cobertura amplio, decidimos trabajar con la canasta de datos que agrega a las tres estaciones experimentales. De esta forma, reiteramos, se torna viable la eventual comercialización del activo financiero diseñado.

En una primera instancia veremos la regresión lineal que vincula lluvias y rendimiento del cultivo de soja y exponiendo gráficos para el período 1991 en adelante, el cual se ajustó mejor a las premisas de trabajo desde lo estadístico. Todos estos análisis se hicieron utilizando Microsoft Excel ®. Los gráficos de correlación entre rendimiento por departamentos y precipitaciones acumuladas en cinco meses de campaña sojera muestran visualmente este diferente comportamiento, de forma clara desde 1991 en adelante.

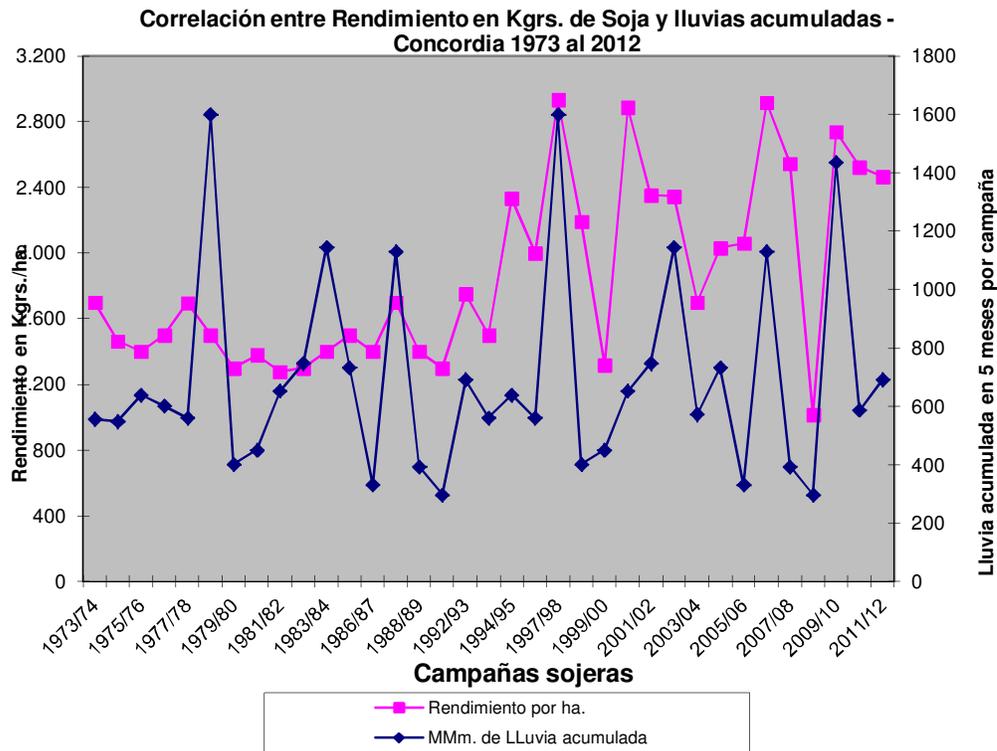


Fig. 56: Correlación Soja – Lluvias en Concordia

Fuente: elaboración propia

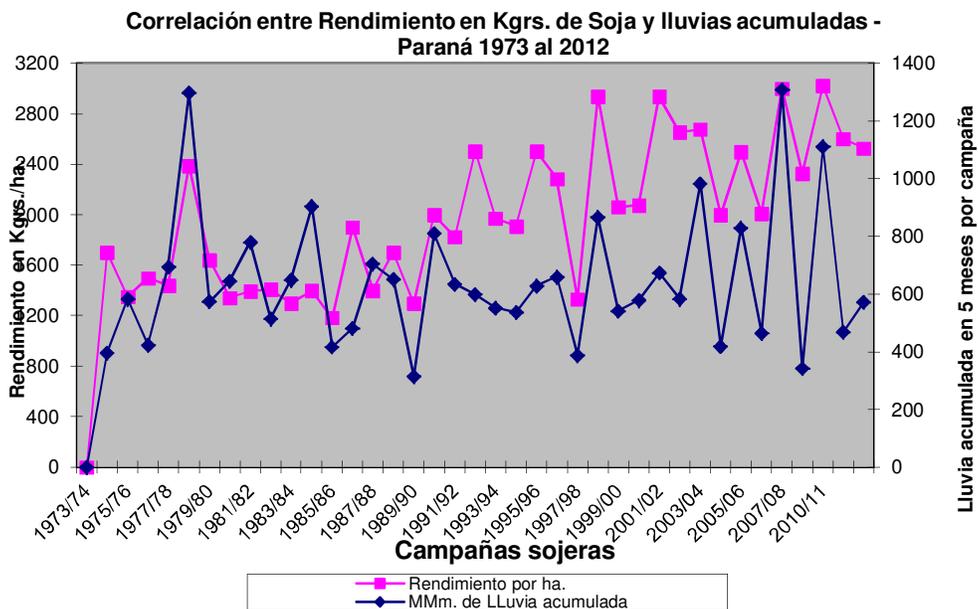


Fig. 57: Correlación Soja – llluvias en Paraná

Fuente: elaboración propia

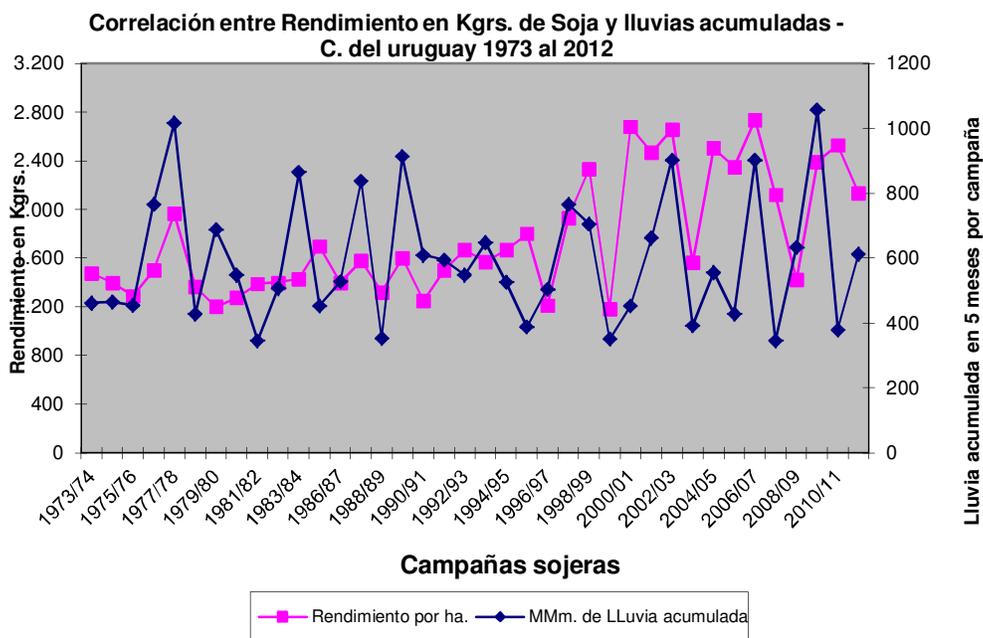


Fig. 58: Correlación Soja – llluvias en Concepción de Uruguay

Fuente: elaboración propia

En definitiva, la siguiente línea de regresión que considera los datos desde el año 1991 al 2012, de las tres estaciones en conjunto, fue la que mejor se ajustó a los puntos de muestra, entre otros motivos, por la normalidad de sus residuos.

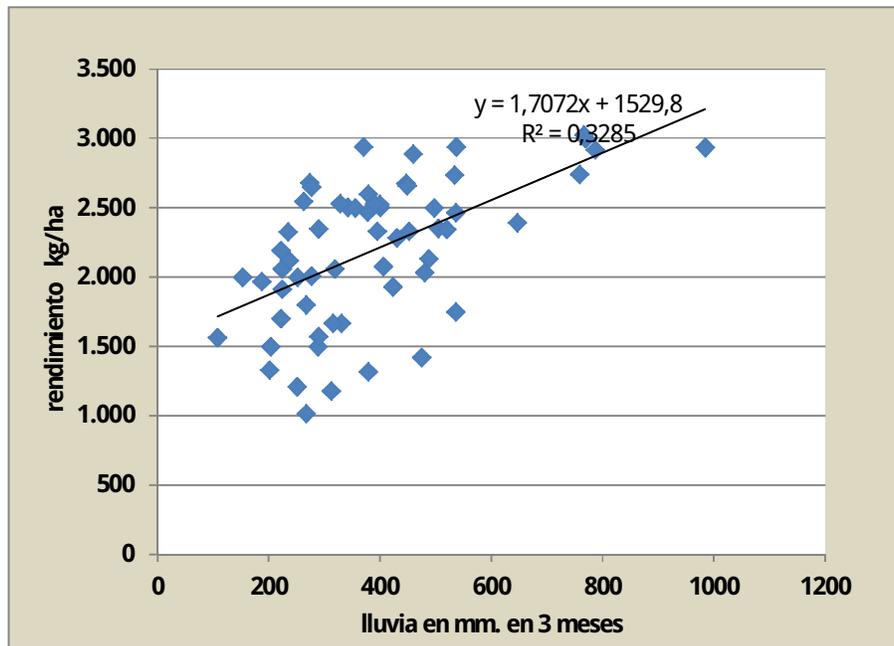


Fig. 59: Recta de regresión lluvia – rendimiento de soja para el trimestre crítico del cultivo
 Fuente: elaboración propia

La correlación entre ambas variables muestra un coeficiente R^2 de 0.3285. Sabemos que correlación no implica causalidad, sino fuerza de la relación entre ambas variables.

Precisamente 32.85 % de la variación en el rendimiento de la soja en estos tres departamentos es explicado por los cambios en las precipitaciones.

Esta regresión nos muestra la distribución histórica de los datos y la recta de color negro confirma la relación lineal entre rendimiento de la soja y precipitaciones:

$$\text{Kg/ha} = 1.7072 x + 1530$$

Siendo $x = \text{Kgrs. / ha.}$

Un milímetro de lluvia menos/mas, acumulado en el trimestre enero a marzo de cada campaña, resulta en una disminución/aumento de 1.7072kg. / ha.en el rendimiento. Este es el cambio marginal en el rendimiento por milímetro de lluvia, o sea la llamada sensibilidad en el rendimiento y que, como sabemos, es la pendiente de la recta de regresión lineal de una variable.

La recta de regresión y el coeficiente de correlación para el período noviembre a marzo de cada año son los siguientes:

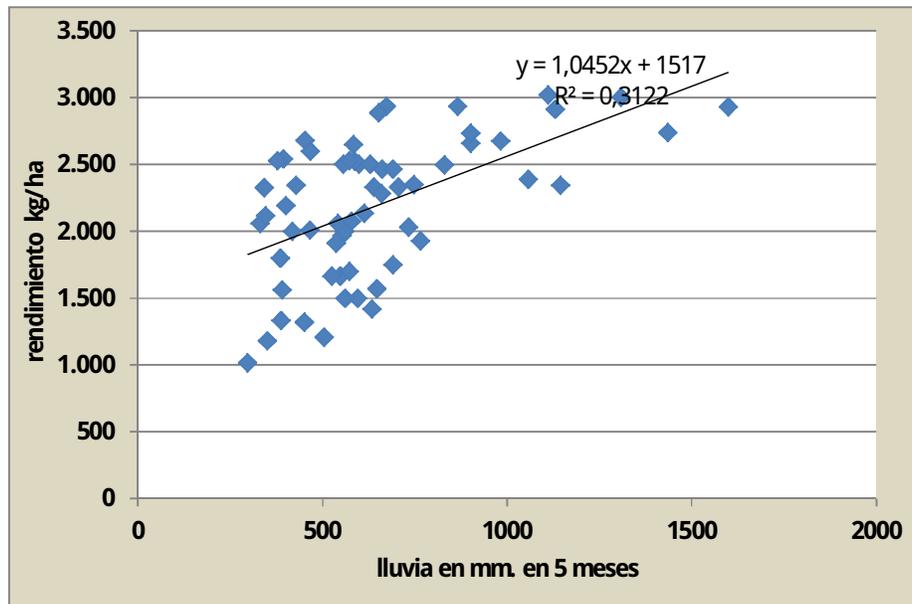


Fig. 60: Recta de regresión lluvia – rendimiento de soja para cinco meses de campaña

Fuente: elaboración propia

$$\text{Kg/ha} = 1.0452 x + 1517$$

Siendo $x = \text{Kgrs. / ha}$.

Definimos continuar la exposición con el análisis de la relación entre lluvia y rendimiento en el período crítico de tres meses exclusivamente, por motivos que explicaremos más adelante.

¿Qué obtenemos si además analizamos una regresión múltiple, donde el rendimiento (y) dependa de los milímetros caídos (x_1) y también de los tres departamentos (x_2) considerados de la provincia? Luego, de este modo, podríamos ajustar una sola ecuación para todas las zonas. Por otro lado, si las miramos por separado a cada una de las rectas obtenidas, las tres tendrían la misma ordenada al origen aunque diferente pendiente.

Para ello ya no podemos utilizar Microsoft Excel®, sino que debemos recurrir a programas específicos para análisis de datos estadísticos. En nuestro caso pasamos a utilizar el Sistema SAS ('Local', XP_PRO)®. En relación al método utilizado para analizar la serie de datos, el detalle es el siguiente:

- Modelo lineal generalizado
- Máxima verosimilitud (no MCO)
- Distribución supuesta para Rendimientos: Gamma.
- Link identidad (Modelo aditivo)

Se prepararon dos sets, uno para cada definición de período de lluvia (5 meses vs 3 meses). Concluimos que nos mostraba mejores resultados a tres meses, básicamente por el hecho que los residuos se presentan distribuidos de forma normal en este período y no así considerando cinco meses. Sabemos que ésta característica es esencial para definir qué serie de datos tienen mejor ajuste o son más confiables.

Entonces, según “3meses Output” tenemos la siguiente ecuación:

$$\text{Kg/ha} = 1.370 + 329 (\text{Paraná}) + 34 (\text{Concordia}) + 1,80 x$$

De esta manera, cada zona tiene una recta de regresión con cambios de ordenada, pero la misma pendiente, 1,80 x. Es decir:

Paraná	Kg / Ha. = (1370+329) + 1,80 x
Concordia	Kg / Ha. = (1370+34) + 1,80 x
C. del Uruguay	Kg / Ha. = 1370 + 1,80 x

Observando esta regresión múltiple, se observa que para la misma cantidad de precipitaciones se obtuvieron mayores rendimientos finales en Paraná que en Concepción del Uruguay. Las diferentes ordenadas de cada recta nos indican ello, si bien todas comparten la misma pendiente. Aunque la sensibilidad, el cambio marginal, se uniformó; igual puede apreciarse el impacto del diferente rendimiento a lo largo de los años.

En esto no sólo influye la cantidad de precipitaciones registradas, sino toda una serie de factores naturales y también humanos que en estas rectas no se reflejan, ya que el modelo mismo con el que fueron construidas no las incorporó. Es decir, puede haber diferentes tecnologías utilizadas por zona, calificación de mano de obra o algún otro factor diferencial que impactan en el rendimiento final, pero que no son desglosados como variable independiente en el modelo.

Todo el resultado del trabajo con regresiones múltiples se encuentra en el Anexo N° 1.

Cobertura de rendimientos de soja utilizando derivados del clima

Hemos visto la correlación entre precipitaciones acumuladas como variable independiente y rendimientos de soja como variable dependiente. Sabiendo que es imposible lograr una cobertura plena del rendimiento del cultivo, por costos y por inexistencia de herramientas apropiadas, una cobertura *proxy* basada en

precipitaciones acumuladas en el período crítico podría ser usada para asegurar un umbral de rendimientos mínimo.

Volvemos a la regresión lineal y nos apartamos aquí de la regresión múltiple porque consideramos que la primera cumple con uno de los requisitos mencionados anteriormente, en cuanto que estos productos deben ser fácilmente explicables para que tengan aceptación y, a partir de allí, se comercialicen en volúmenes considerables.

Por eso, en adelante emplearemos las ecuaciones obtenidas para responder preguntas aplicadas al ejemplo de nuestro productor agropecuario.

Recordemos que los derivados del clima son una herramienta para gerenciar riesgos climáticos que permiten mitigar o reducir el riesgo de pérdidas financieras debido a adversidades climáticas.

Si se tratara de un producto para una temporada de sequía o *dry season certificate*, los parámetros más importantes a reconocer son:

- Estación/nes que medirán la variable
- Período
- *Strike* en mm.
- *Payout* por mm.
- Máximo *Payout*
- Prima

Siguiendo el ejemplo de definición establecido en el documento “*Weather Dependency of Wheat Yields in NSW, Australia*” elaborado por *Celsius Pro®*, *january 2010*:

Certificado para temporada de sequía

Objetivo: Payout cuando la lluvia acumulada promedio durante el período sea menor al strike definido

Definición: Bajo este certificado, el cliente recibirá la suma de (*Payout per mm.*) por cada mm. de lluvia acumulada por debajo de (*strike*) hasta el máximo de (máximo *Payout*) durante el período que va desde el 1 de enero de (año) y hasta el 31 de marzo de (año). La lluvia acumulada diaria, mensual y trimestral es definida como las precipitaciones informadas por las tres Estaciones Agrometeorológicas del INTA en la provincia de Entre Ríos, Argentina.

El análisis de regresión nos mostró que el rendimiento cambia a razón de 1.7072 kg./mm. Esto puede ser convertido a nuestro ejemplo, considerando los precios del grano en 2014 de la siguiente manera:

Rendimiento (kg./ha.) * Área sembrada (ha.) = toneladas

Precio promedio por tonelada del 01/01/2014 al 31/03 * toneladas= Ingresos

Luego, asumiendo el área sembrada de 1.000 ha. y un precio promedio, a modo de ejemplo, para el período, informado por la Cámara Arbitral de la Bolsa de Comercio de Rosario, de \$ 2639,49/tn.

La variación de los ingresos por mm. de lluvia caída por debajo del umbral del strike sería de:

1.7072 kg./mm. * \$ 2,63949 por kg. = \$ 4,50613 por kilogramo de soja o de \$ 4.506,13 por tonelada

Lógicamente que si la tonelada de soja cotiza a \$ 2639.49, el producto no debería pagar \$ 4506.13/tn. por milímetro de lluvia caída en menos respecto del strike, pues sería un Payout antieconómico. La definición del Payout máximo requiere de un análisis que incluye la consideración de precios actuales y medias históricas que exceden el objetivo del presente trabajo.

Respecto del *strike* nos inclinamos por establecer un valor en milímetros que surge de considerar, para el período de los años 1991 – 2012, la media de lluvias de 391.27mm. y restarle el valor mínimo de 107.9 mm., sin considerar los valores establecidos como *outliers*. Este es un criterio para fijar el *strike*, utilizado por *CelsiusPro* en su ejemplo de producto financiero; redondeando llegamos a 283 mm. Con este set de datos podemos responder las siguientes preguntas, según realicemos análisis en términos reales o nominales, respectivamente:

1. ¿Cuál sería el Payout de un certificado para temporada de sequía en Kgrs./ha. por milímetro de lluvia acumulada menor al mínimo establecido (*strike*) según el activo financiero construido?
2. ¿Cuál sería el Payout de un certificado para temporada de sequía en pesos/ha. por milímetro de lluvia acumulada menor al mínimo establecido (*strike*) según el activo financiero construido?

Los siguientes gráficos nos responden visualmente ambos interrogantes:

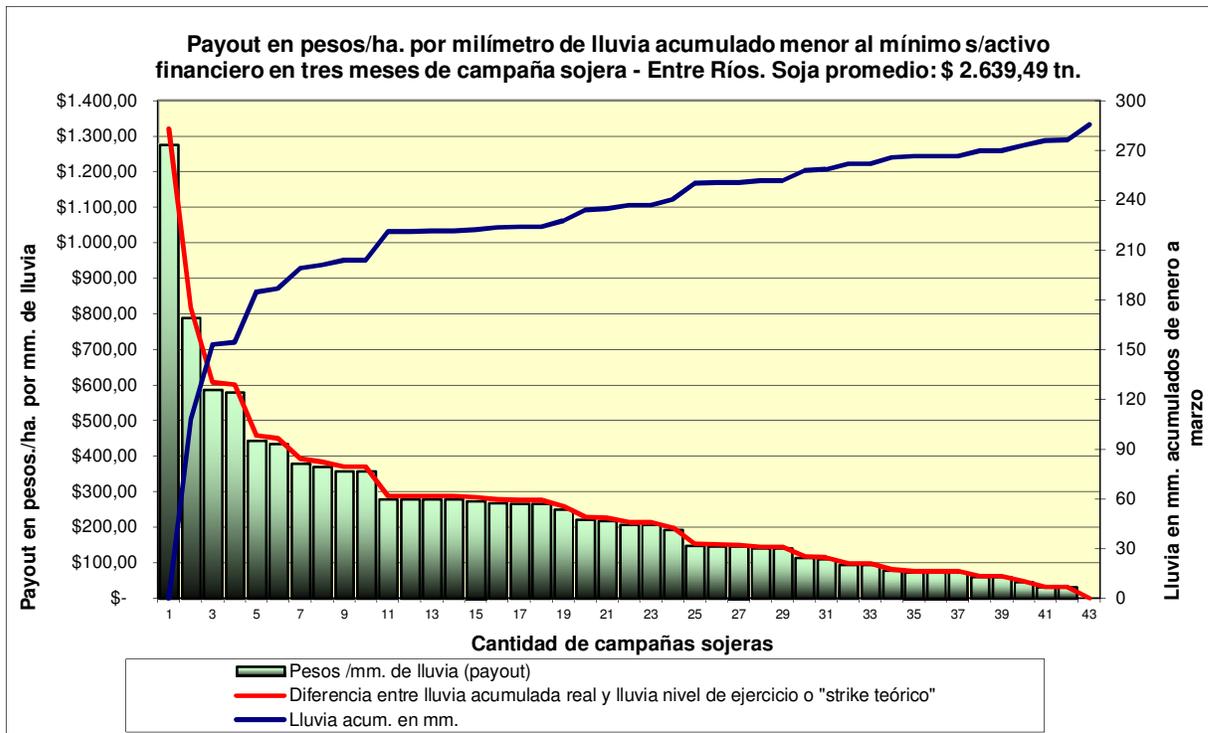
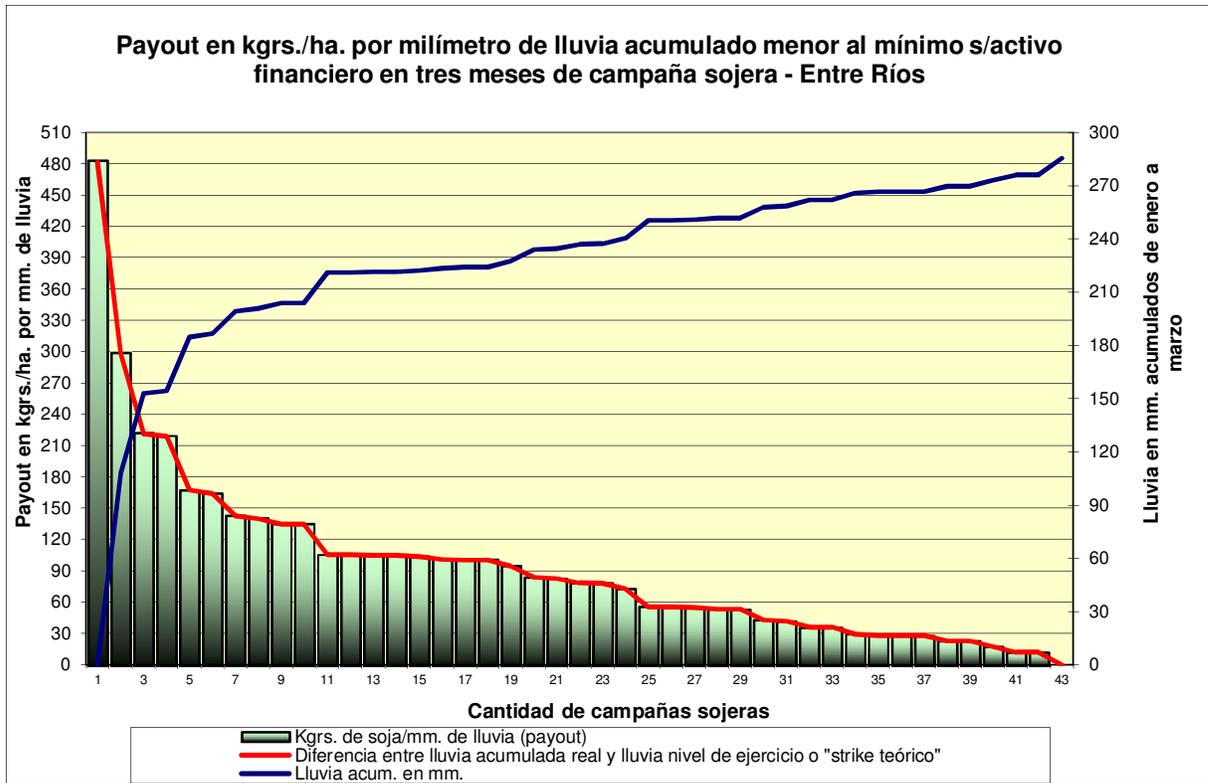


Fig. 61: Payout real y nominal del Certificado para temporada de sequía

Fuente: elaboración propia

Y ahora apreciaremos a través de las barras de color verde del siguiente gráfico, como se vería compensado en términos reales un productor que hubiera obtenido el rendimiento promedio del departamento Paraná desde el año 1991 al año 2012, por milímetro de lluvia debajo del *strike*, indicada con una recta de color azul.

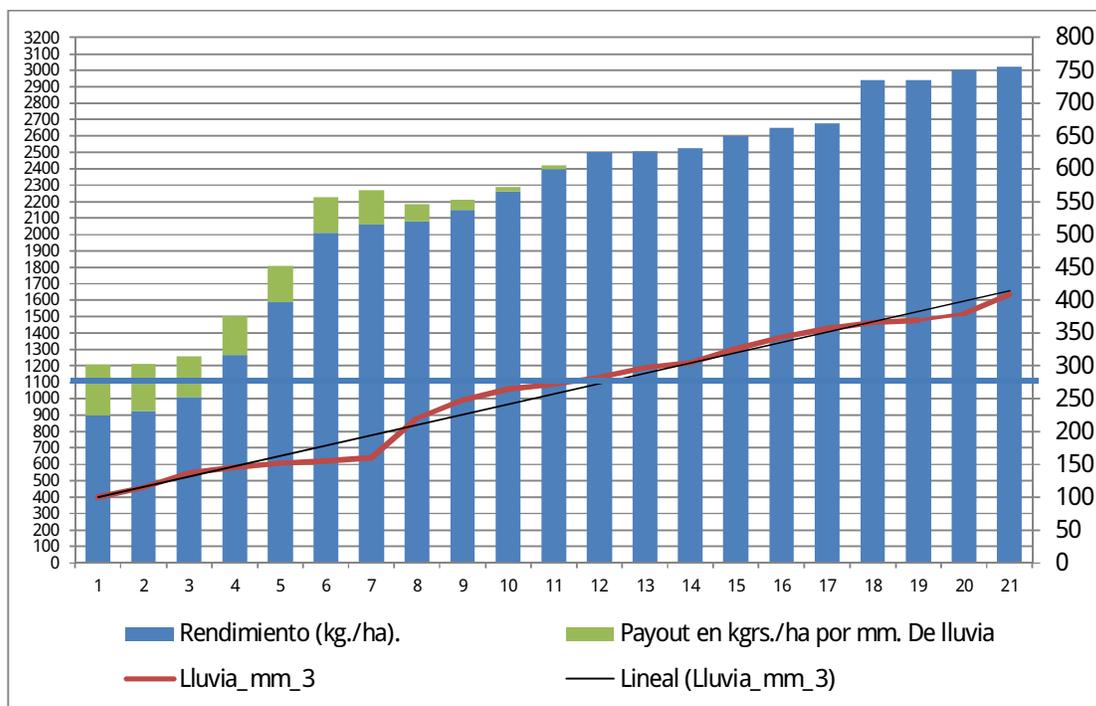


Fig. 62: Ingresos reales con protección de un derivado climático

Fuente: elaboración propia

Considerando el promedio de lluvias de las tres estaciones del INTA, el productor recibió 831 kgrs./ha. en el período 1991 – 2012. Si se realiza el mismo cálculo considerando solamente las lluvias de la EEA Paraná, el número asciende a 1131.02 kgrs./ha. en el período, confirmando la mayor dispersión de lluvias que se presenta en esta zona.

Para finalizar graficaremos la opción financiera asimilable a este certificado *dry season* o para temporada de sequía, pero no indicaremos precio de dicha opción pues su definición y alternativas de cálculo exceden los objetivos de este trabajo de tesis.

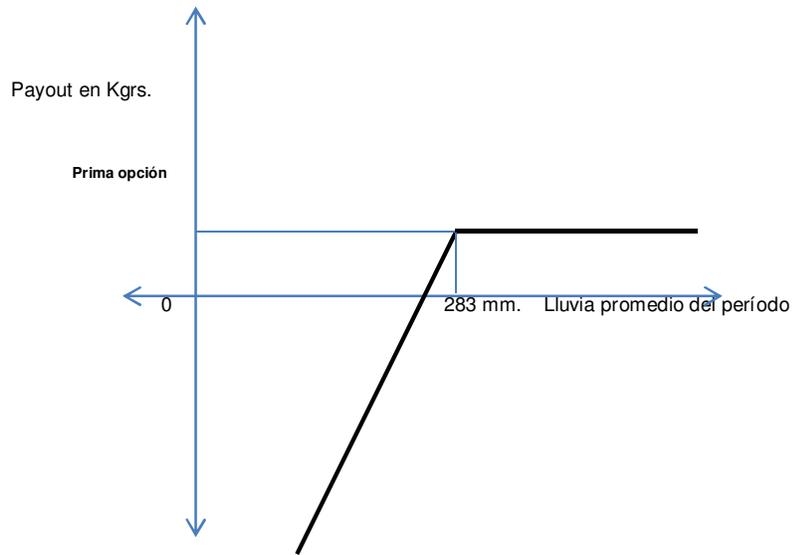
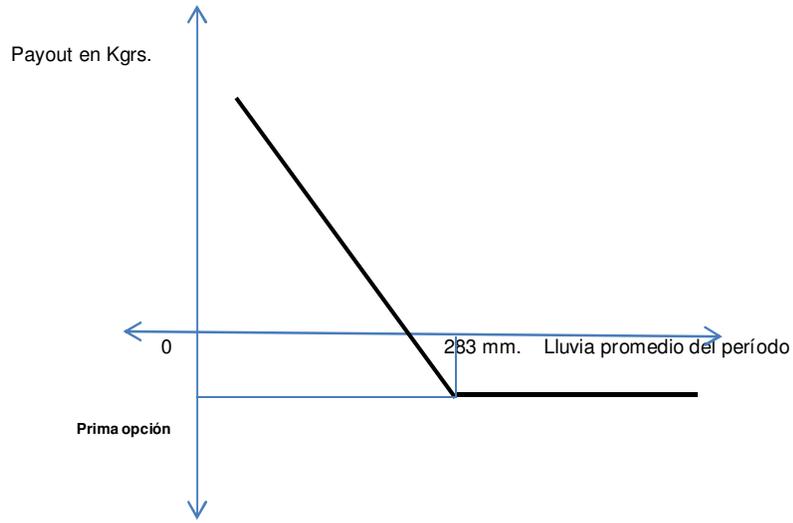


Fig. 63 Opción financiera para período de sequía

Fuente: elaboración propia

Conclusiones

A lo largo de la presente tesis hemos realizado una descripción de la agricultura como motor de desarrollo económico, sus modalidades, alcances y desafíos presentes. Con foco en Argentina y en Entre Ríos en particular, describimos las actividades económicas que conforman su base de desarrollo, para llegar a nuestro objetivo que es el análisis del cultivo de soja en particular y de su cobertura mediante un derivado financiero.

Así analizamos las características, fortalezas y debilidades del cultivo de dicha gramínea y definimos que el estadio R3.4 – R5.6 es el período más crítico en cuanto a un eventual estrés hídrico. Este estrés produce la reducción simultánea del número de vainas, de semillas por vaina y del peso de las semillas. En ese sentido, en Entre Ríos, el período crítico del cultivo se produce entre los meses de enero y marzo, pero la lluvia como tal es vital en un período más amplio de que va de noviembre a marzo de cada año.

Además, siempre en pos de nuestro objetivo, realizamos un recorrido por las diferentes alternativas conocidas y de mayor uso para valorar opciones financieras en mercados completos: los modelos Binomial y el de Black, Scholes y Merton.

También detallamos alternativas de valuación para mercados incompletos, como es el caso de las opciones climáticas en particular, pues para ellas concluimos en que el modelo de Black – Scholes - Merton para valorar opciones no puede ser aplicado ya que en tal caso no se cumple con uno de los supuestos básicos del mismo: la existencia de un activo subyacente negociable, en forma continua, a partir del cual se valúa la opción.

Luego nos concentramos en analizar las precipitaciones pluviales en general y para Entre Ríos en particular, relacionándolas finalmente con su impacto y particularidades al ser utilizadas como el subyacente de un producto derivado.

Posteriormente mostramos ejemplos de explotaciones agrícolas locales con uso de cobertura para volúmen, mediante instrumentos derivados y su situación hipotética sin uso de tales instrumentos, preparando así una futura concientización del productor sobre la importancia de los mismos para estabilizar ingresos en el tiempo, aportando certeza financiera a la planificación y mayor eficiencia a la gestión de riesgos asociados a su negocio.

Completando el recorrido, finalmente nos abocamos al desarrollo de los pasos para la construcción de un instrumento derivado, aplicado a la zona de la Estación

Experimental Oro Verde del INTA, que tomamos como referencia entre las tres Estaciones Experimentales INTA en la provincia de Entre Ríos.

Así fue que pudimos construir una opción financiera sobre precipitaciones pluviales para cobertura de este riesgo climático en la producción de soja, en un ámbito regional reducido a modo de ejemplo, pero factible de ser ampliado con los eventuales riesgos de base que expusimos. Nos concentramos en un producto para cubrir eventuales sequías, por considerar un ejemplo en particular y acotar análisis.

Finalmente y como producto también de nuestro trabajo, queremos destacar que pueden constituir interesantes temas de futuras investigaciones y para los cuales, además, esta tesis sería un buen punto de partida, los siguientes:

- determinación de los valores de primas asociados a las opciones desarrolladas,
- ampliación de estudios de campo a toda la zona núcleo productora de granos en nuestro país,
- profundizar el análisis estadístico del impacto del cambio climático en cuanto a fenómenos extremos (lluvias y sequías) en la producción agrícola de Entre Ríos y la zona,
- aplicar diferentes supuestos y construir escenarios con base en distintos precios de ejercicio de la opción, que permitan apreciar beneficios y costos asociados a dichas elecciones por parte del productor agropecuario
- analizar la efectividad de instrumentos financieros en la protección de ganancias durante períodos de varios años
- la β de activos financieros relacionados a commodities y su impacto en carteras de inversión con y sin ellos.

Anexo N° 1

En este anexo recopilamos toda la información obtenida a través del uso del Sistema SAS ('Local', XP_PRO) ®. En relación al método utilizado para analizar la serie de datos, el detalle es el siguiente:

- Modelo lineal generalizado
- Máxima verosimilitud (no MCO)
- Distribución supuesta para Rendimientos: Gamma.
- Link identidad (Modelo aditivo)

Primero se presentan los datos con cinco meses de análisis, toda la duración de la campaña sojera y luego haremos foco en los tres meses críticos de la misma.

Índice de figuras

Fig.1: Uso estimado del agua en el mundo	13
Fig.2: Producción de cereales con/sin riego	14
Fig. 3: Mapa Global de Áreas con Irrigación como porcentajes de la superficie de cada país	14
Fig. 4: Evolución superficie implantada de cereales en la Argentina	17
Fig. 5: Evolución superficie implantada de oleaginosas en la Argentina	18
Fig. 6: Regiones agroecológicas de la Argentina	18
Fig. 7: Provincia de Entre Ríos, Argentina	22
Fig. 8: Climas de Argentina	23
Fig. 9: Tabla y gráfico: Producto Bruto Provincial, Entre Ríos	24
Fig. 10: Stock de ganado vacuno, Entre Ríos	25
Fig. 11: Evolución de las entregas de yemas por especie (2007-12) (en unidades)	28
Fig. 12: Evolución de la producción de soja en Entre Ríos	29
Fig.13: El ciclo del agua	36
Fig. 14: Distribución del número de plantas en las fases fenológicas	43
Fig. 15: Partes de una semilla.	48
Fig. 16: Plántula en estado VC	48
Fig.17: Planta de soja en estado R4	49
Fig. 18: Componentes del rendimiento determinados en cada estado fenológico de la soja junto a los factores climáticos de mayor influencia.	50
Fig. 19: Porcentaje de rendimiento de un cultivo en distintos períodos de crecimiento sometido a dos niveles de deficiencia hídrica (40-50% y 20-40% A.U.), respecto de un cultivo sin déficit	56
Fig. 20 Estaciones con precipitaciones anuales superiores a 800 mm./año	67
Fig. 21: Fluctuaciones de precios de productos alimenticios básicos esenciales	69
Fig. 22: Precios de los productos alimenticios en Índices, según FAO	70
Fig. 23: Precios de los productos alimenticios en Índices, Nominal Vs. Real, según FAO	70
Fig. 24: Alternativas del productor agrícola para estabilizar ingresos en el tiempo	82
Figura 25: compra y venta de un contrato de opción de venta	99

Figura 26: compra y venta de un contrato de opción de compra	100
Fig.27: Riesgo sistemático y no sistemático	106
Fig. 28: Riesgos de instrumentos financieros derivados	108
Figura 29: Factores que influyen en precio de las opciones	111
Fig. 30: Probabilidad de valores de X y S distribuidas en el tiempo	120
Fig. 31: TELMEX, medias móviles de cotizaciones spot	123
Fig. 32: Volatilidad implícita teórica	125
Fig.33: Volatilidad smile	125
Fig.34: Evolución de la base del contrato de futuros sobre el Ibex – 35 entre el 15 de marzo de 1993 y la fecha de vencimiento del mismo el 16 de abril de 1993	128
Fig. 35: Soluciones para la transferencia de riesgos, Estrategias de gerenciamiento de riesgo climático e Inteligencia de riesgos climáticos	133
Fig. 36: Informe de riesgos climáticos	134
Fig. 37: Inteligencia de Riesgos Climáticos, Estrategia de gestión de riesgos climáticos, Cobertura Climática	134
Fig. 38: Proceso de creación de coberturas financieras climáticas	135
Figura 39: Cobertura cruzada para productos sensibles al clima	143
Fig. 40 El ciclo del agua	148
Fig. 41: Recorridos alternativos del agua de lluvia	151
Fig. 42: Instrumentos utilizados para la determinación de la densidad de volúmen	156
Fig. 43: Isohietas de Entre Ríos	163
Figura 44: Rating de fuentes de riesgo	174
Fig. 45: Círculo de la siembra	175
Figura 46: Situación del Pacífico Ecuatorial y rendimientos promedio de la soja en Entre Ríos	181
Figura 47: Precipitación promedio diaria y monto acumulado entre noviembre y marzo del 2014 en Entre Ríos	182
Fig. 48: Pérdidas productivas por departamento de la provincia de Entre Ríos, campaña 2007/2008 vs. 2008/2009	182
Fig. 49: Producción de soja por campaña. Departamento Paraná - Entre Ríos	183
Fig. 50: Pérdidas por cosecha	183
Figura 51: Instrumento que se instala en el predio del inversor que adquiere el producto Onsite trading	185

Fig. 52: Medidas de tendencia central para lluvias en EEA INTA Entre Ríos	194
Fig. 53: Histograma y polígono de frecuencia. Lluvia en 5 meses de campaña sojera en Entre Ríos	195
Fig. 54: Histograma y polígono de frecuencia. Lluvia en 3 meses de campaña sojera en Entre Ríos	195
Fig. 55: Medidas de variación para lluvias en EEA INTA Entre Ríos	196
Fig. 56 Correlación Soja – Lluvias en Concordia	197
Fig. 57 Correlación Soja – Lluvias en Paraná	198
Fig. 58 Correlación Soja – Lluvias en Concepción del Uruguay	198
Fig. 59 Recta de regresión lluvia – rendimiento de soja para el trimestre crítico del cultivo	199
Fig. 60: Recta de regresión lluvia – rendimiento de soja para cinco meses de campaña	200
Fig. 61: Payout real y nominal del Certificado para temporada de sequía	204
Fig. 62: Ingresos reales con protección de un derivado climático	205
Fig. 63 Opción financiera para período de sequía	206

Bibliografía

Andriani, J. (2001) Consumo de agua de los cultivos en el sur de Santa Fe. En Para mejorar la producción, n.18, Campaña 2000-2001: soja. (pp. 31-33). INTA Oliveros.

Andriani, J. (1998) Estrés Hídrico en Soja. En El cultivo de soja en la Argentina. Marcos Juárez-INTA: Editar INTA Oliveros.

Azkues, M. de. La Fenología como herramienta en la Agroclimatología. INIA, Venezuela (INIA-CENIAP-IIRA-Agroclimatología). Recuperado de <http://www.infoagro.com/frutas/fenologia.htm>

Bastourre, D. Inversores Financieros en los Mercados de Commodities: Un Modelo con Dinámica de Ajuste no Lineal al Equilibrio. Documento de Trabajo Nro. 72, mayo 2008.

Bastourre, D. (2008). Inversores Financieros en los Mercados de Commodities: Un Modelo con Dinámica de Ajuste no Lineal al Equilibrio. Documento de Trabajo Nro. 72, mayo 2008. FCE Universidad Nacional de La Plata. Extraído de <http://www.depeco.econo.unlp.edu.ar/doctrab/doc72.pdf>

Bolsa de comercio de Rosario. <https://www.bcr.com.ar/pages/gea/estimaProd.aspx>

Brooks, D.E., Fichtenbaum, M.A. y Herz, R.H. (1993). Guía de Instrumentos financieros. Coopers&Lybrand / Harteneck, Lopez y Cía. Argentina.

Careaga, R.A. (2010). El efecto del tipo de cambio sobre los precios de las materias primas (commodities). Diario ABC Color, Paraguay, 5 de mayo de 2010.

Cátedra de Climatología Agrícola, Universidad Nacional de Entre Ríos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Apuntes 2010. Meteorología. Recuperado de <http://www.cicytpp.org.ar/climatologiafca/docencia/apuntes/tema1.pdf>

Cátedra de Climatología Agrícola, Universidad Nacional de Entre Ríos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Apuntes 2010. Ciclo hidrológico. Recuperado de <http://www.cicytpp.org.ar/climatologiafca/docencia/apuntes/tema7.pdf>

Cátedra de Climatología Agrícola, Universidad Nacional de Entre Ríos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Apuntes 2010. Precipitación. Extraído de

Coopers&Lybrand / Harteneck, López y Cía – Centro de Capacitación Interna. Instrumentos Financieros Derivados. Materiales de la Reunión Técnica dictada por Harteneck, Lopez y Cía.: 1996.

Deutsche DankResearch. (2006). China's commodity hunger, implications for Africa and Latin America. Junio de 2006.

Domínguez, A.N. y Orsini, G. (2009). Impactos en la estructura agraria por la ampliación de la frontera agrícola en base a la expansión del cultivo de soja en la región pampeana: la historia reciente de Entre Ríos (1era. ed.). Buenos Aires: Ediciones Cooperativas.

Domínguez, N. A y Orsini, G. (2009). Impactos en la estructura agraria por la ampliación de la frontera agrícola en base a la expansión del cultivo de soja en la región pampeana: la historia reciente de Entre Ríos. (1ª ed.). Buenos Aires: Ediciones Cooperativas.

Dornbusch, R. (1985). Policy and Performance Links Between LDC Debtors and Industrial Nations. Brookings Paper on Economic Activity, (vol. 1985, 303-368).

Dornbusch, R. (1985). Policy and Performance Links Between LDC Debtors and Industrial Nations. Brookings Paper on Economic Activity (vol. 1985, 303-368).

Elbaum, M.A. (2004). Administración de carteras de inversión. (1a ed.). Buenos Aires: Macchi.

Fahrenheit Risk International. www.fahrenheitrisk.com

- FAO. (1995). Perspectivas a largo plazo. Worldagriculture: towards 2015/2030.
- FAO. (1995). Perspectivas a largo plazo. Worldagriculture: towards 2015/2030.
- FAO. (2011). Informe: El estado de la seguridad alimentaria en el mundo.
- FXTO comunidad forex (2009/2015). Apalancamiento. Recuperado de <http://www.efxto.com/diccionario/a/3924-apalancamiento#ixzz3145Z1bA3>
- Gilbert, C. (1989). The Impact of Exchange Rates and Developing Country Debt on Commodity Prices. *The Economic Journal* (vol. 99, 773-784).
- Gilbert, C. (1989). The Impact of Exchange Rates and Developing Country Debt on Commodity Prices. *The Economic Journal*, (Vol. 99, 773-784).
- Gilbert, S. F. (2006) *Biología del Desarrollo*, (7° ed.). Buenos Aires: Media Panamericana.
- Gómez Zambrano, J. "Agricultura Hidrológica: Una respuesta creativa ante el cambio climático", Marzo de 2012. Recuperado de <http://agriculturahidrologica.jairogomez.blogspot.com.ar/2012/03/agricultura-hidrologica.html> González U.J., Francisco G.E. y Foster B.W. Selección de portfolios de rotaciones culturales económicamente óptimos para la Precordillera Andina de la VIII región. Chile. En *Agricultura Técnica*, Vol. 62, No. 4, Chillan, Oct. 2002, (pp. 583-595).
- Gravelle, H. y Rees, R. (2006). *Microeconomía*. Editorial Pearson. Editorial Prentice Hall.
- Hardaker, J.B.; Huirne, R.M.B.; J.R. Anderson & G. Lien (2004). *Coping with risk in agriculture*, (2a ed.). Cambridge MA, USA: CABI Publishing.
- Harwood J., Heifner R., Coble K., Perry J. & Somwaru A. (1999). *Managing Risk in Farming: Concepts, Research, and Analysis*. Economic Research Service, USDA, marzo 1999, <http://www.cicyt.org.ar/climatologia/fca/docencia/apuntes/tema6.pdf>
- Hull, J. (1997). *Options, Futures, and other Derivatives*. (5a ed.). N. Jersey: Prentice Hall, 2003.
- Kaan, D. (1999). *Defining Risk and a Framework for Moving. Towards Resilience in Agriculture*: Colorado State University.
- Knight, F.H. (1921). *Risk, uncertainty and profit*. New York: Kelley.
- Lapan, H. & Moschini, G. (1994). *Futures Hedging Under Price, Basis, and Production Risk*. *American Journal of Agricultural Economics*, (n.76, August 1994: 465-477).
- Lobos, G. (2000) *Instrumentos públicos para la gestión de los riesgos*. Universidad de Talca, Chile.
- Magrin, G. (2014). Cambio climático: impacto, vulnerabilidad y medidas de adaptación en el sector agropecuario. *Revista Institucional* N° 1521. Bolsa de Comercio de Rosario, enero 2014.
- Marcus, J.J. (ed.) *Informe Derivados Financieros*. Informe n. 36, julio 2011, Rosario: ROFEX.
- Mascareñas, J. (2012). *Mercado de derivados financieros: futuros y opciones*. Madrid: Universidad Complutense. Mercado Abierto Electrónico S.A. http://www.mae.com.ar/institucional/acerca_de_mae.aspx.
- Meuwissen, M.P.M.; Huirne, R.B.M. & J.B. Hardaker, (1999). *Income insurance in European agriculture*. In: *European Economy*, European Commission, Directorate-general for economic and financial affairs, Reports and Studies, n°2, Luxembourg.
- Müller, A.; Grandi, M. (2000). *Weather derivatives for protection against weather risks*. Munich Re ART Solutions: Munich Re Group.

Newbery, D.M. & J.E. Stiglitz. (1981). The theory of commodity pricestabilization: a study in the economics of risk. New York, Oxford University Press.

Occhiuzzi, Mercuri A. (2011). Herramientas para la evaluación y gestión del riesgo climático en el sector agropecuario – Argentina. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina.

Pascale, R. (2009). Decisiones Financieras. (6a ed.). Buenos Aires: Prentice Hall. Pearson Education.

Pequeño Larousse ilustrado (13ª ed.). México: Larousse, 2008.

Pindyck Robert S., Rubinfeld Daniel L. (2003). Microeconomía (1ª ed.), Madrid: Pearson Education.

Planchuela Ravelo, A., Ravelo, A. C. y Pascale, A. J. (1987). Seminario en Fenología Agrícola, Apuntes. Quito, Ecuador.

Plato, G.E. (1988). Effectiveness of Futures and Options in Reducing Farmer Revenue Risk. Options, Futures, and Agricultural Commodity Programs: Symposium Proceedings. Bruce Wright ed. Staff Report No. AGES870911. U.S. Dept. Agr., Econ. Res. Serv., February 1988, pp. 84-93.

Pons Ferrer V. (2003). Derivados sobre un subyacente no negociable: valoración de una opción sobre meteorología. Madrid: Universidad Complutense.

Pons Ferrer, V. (2003). Derivados sobre subyacente no negociable: valoración de una opción sobre meteorología. Madrid: Universidad Complutense: julio de 2003.

Pons Ferrer, V. (2003). Derivados sobre un subyacente no negociable: valoración de una opción sobre meteorología. Madrid: Universidad Complutense.

Presidencia de la Nación Argentina.

<http://www.argentina.ar/advf/documentos/48b312c09862f8.56445514.pdf>

Provincia de Entre Ríos. Dirección de Estadística y Censos, UADER y Consejo Empresario de Entre Ríos.

Provincia de Entre Ríos. Ministerio de Agricultura y Ganadería (2012) Situación Ganadera de la Provincia de Entre Ríos.

Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario - Argentina, Año CI – 1516, abril de 2012.

Ridler, D. & C. Yandle. (1972). A Simplified Method of Analyzing the Effects of Exchange Rates on Exports of a Primary Commodity. IMF Staff Papers, Vol. 19, 559-578.

Rodríguez Tablado, L.Á. (2012) Derivados Climáticos. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de León, España.

Ruggiero, R.A. (1967). Fenología Vegetal y Animal. Instituto de suelos y Agrotecnia, Tirada Interna N°4. INTA.

Semanario Infocampo, publicado junto a edición impresa de “El Diario de Paraná”, Entre Ríos, Argentina, semana del 11 al 17 de mayo de 2011.

Semanario Infocampo, publicado junto a edición impresa de “El Diario de Paraná”, Entre Ríos, Argentina, semana del 10 al 16 de enero de 2014.

Siems, T.F. (2000). Mitos sobre los Instrumentos Financieros derivados. Argentine Derivatives Association (ADA), Reporte Año II, n. 7: 2000.

Skees, J.R. & B.J. Barnett. (1999). Conceptual and practical consideration for sharing catastrophic/systemic risks. Review of Agricultural Economics (vol. 21,

pp. 424-441). Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, n.38, pp. 55-94.

Triola, M. F. (2000). *Estadística elemental*. (7a ed.). México: Addison W. Longman.
United States Department of Agriculture (1999). <http://www.usda.gov>,

University of Illinois. Clouds and Precipitations. Extraído de
[http://www2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/cld/home.rxml](http://www2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/cld/home.rxml).