

Desarrollo de seguros basados en índices climáticos

Alumno: Ubaldi Ignacio Patricio

Profesor Tutor: López Hugo Nelson

Año: 2020

Ciudad autónoma de Buenos Aires

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mi familia por el apoyo incondicional durante esta etapa donde siempre conté con su sostén para afrontar este hermoso desafío.

En segundo lugar, a mis amigos del Grupo San Cristobal quienes fueron parte de esta travesía del MBA y pieza clave en la decisión de anotarme y continuar estudiando.

En tercer lugar, a Leandro Diego Calabrese quien es además de un gran ingeniero agrónomo que me ayudo para el desarrollo de esta tesis, un amigo de fierro con el que uno siempre puede contar.

Y finalmente, quiero agradecer a mi tutor Hugo Nelson López quien siempre tuvo la mejor predisposición para ayudarme, guiarme y potenciarme en esta investigación.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad abordar el estudio de los seguros satelitales a través de índices climáticos con el propósito de democratizarlo hacia el mediano y pequeño productor. Donde el principal pilar del trabajo es comprender la falencia que acarrearán hoy en día los productos tradicionales que se ofrecen en el mercado y desarrollar una alternativa a través de los llamados seguros índices.

Existen varias aristas importantes a tener en cuenta a la hora de abordar este tipo de seguros como son la correlación entre el rendimiento y el índice elegido, la ventana de tiempo a cubrir por parte del seguro, el tipo de cultivo, el índice disparador y la suma asegurada.

Los objetivos y delimitaciones de los temas mencionados, donde puntualmente se realizará una prueba piloto en la zona de Balcarce cuyo evento a cubrir es la sequía para el cultivo del maíz con la intención de evaluar el desempeño de este tipo de seguros índices con el objeto de verificar si la prima pura obtenida es inferior a la hoy ofrecida para las aseguradoras tradicionales y así poder expandir el nicho asegurador hacia el mediano y pequeño productor, incluyéndolo dentro de un ecosistema que le permita desarrollarse y protegerse ante los eventuales cambios climáticos para no caer en la trampa de la pobreza.

Como conclusión se aborda que el seguro basado en índices climáticos a través de imágenes satelitales conduce hacia a una prima pura más económica en comparación de los productos tradicionales, permitiendo incorporar al pequeño y mediano productor en el negocio del seguro. También, al no necesitar de verificaciones en los campos su pago se produce en un menor plazo, garantizándole liquidez al productor para afrontar las deudas acarreadas para la siembra.



PALABRAS CLAVES

Seguros índices; productor agrícola; diversificación; sequia; imágenes satelitales

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 Objetivos de la investigación.....	6
1.2 Aplicaciones y beneficios	7
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1 Mercado Asegurador	11
2.1.1 Mercado de seguros agrícolas en la actualidad	11
2.1.2 Falencias del sistema actual.....	15
2.1.3 Riesgos vencidos vs. Riesgos a vencer	17
2.1.4 Minimizar el Riesgo base	18
2.1.5 Cooperación: Público-Privada	19
2.2 Modelos de valorización	20
2.2.1 Introducción	20
2.2.2 Definición teórica de los seguros índices a través de imágenes satelitales.	20
2.2.3 Burn analysis	22
2.2.4 Otros modelos de valuación	22
3. MARCO EMPÍRICO	24
CAPÍTULO I: Breve historia de los seguros índices.....	25
CAPÍTULO II: Propuestas.....	26
Capítulo II. 1 Principios de los seguros agrícolas basados en índices	26
Capítulo II. 2 Índices climáticos a través de imágenes satelital	28
CAPÍTULO III: Estudio prueba piloto en Balcarce	31
Capítulo III. 1 Metodología: Seguro basado en índices a través de imágenes satelitales	31
Capítulo III. 2 Diseño del seguro índice	33
Capítulo III. 3 Costo de la prima comercial: Burn analist.....	40
4. CONCLUSIONES.....	50
ANEXOS	52
Bibliografía	56

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos de la investigación

La forma de construir seguros está evolucionando acompañada de la tecnología. Hoy en día, para las aseguradoras es una ventaja competitividad tener una segmentación de sus clientes y poder ofrecer una diversidad de productos que se adapten a cada uno de sus clientes como por ejemplo son los seguros on-demand en el rubro de patrimoniales.

Si nos sumergimos en el mundo de los seguros agrícolas, nos encontraremos en un mercado más primitivo, en el cual priman los seguros tradicionales que tienen alcances limitados de coberturas donde en el 96% de las hectáreas aseguradas solo cubren riesgos contra granizo y solo el 4% representa seguro multi-riesgos, el cual solo está al alcance de los grandes productores por sus elevadas primas.

Es aquí, en el medio donde surge éste trabajo. Donde como hipótesis buscamos encontrar y dar respuestas al desarrollo de un seguro índice a través de imágenes satelitales que proveerá una prima pura más flexible y económica a la que hoy se encuentra en el mercado asegurador agrícola.

El objetivo principal de esta tesis es demostrar que es posible generar un ecosistema donde se incluya al pequeño y mediano productor en el acceso al mundo de los seguros ya que, en la actualidad, se encuentran postergados por los seguros tradicionales

Si bien los cálculos pueden extrapolarse a cualquier zona del país, se delimitará la investigación a una prueba piloto en Balcarce donde el fin es evaluar la performance del seguro basado en índices con imágenes satelitales. Otra delimitación será la de focalizarse en mitigar un riesgo como es la sequía que dado los cambios climáticos de los últimos años se encuentra cada vez más latente.



Por otro lado, si bien no es el alcance de la investigación, como objetivo secundario se permitirá visualizar la customización y flexibilidad con la que se puede trabajar con los seguros índices a través de imágenes satelitales permitiendo su adaptabilidad para otro tipo de riesgos como pueden ser el caso de inundaciones.

1.2 Aplicaciones y beneficios

Las aseguradoras que mejor aprovechen el avance tecnológico con contenido relevante que llame la atención, que impacte y que sea compartido, serán las más exitosas.

Más importante aún es la vinculación, entre la aseguradora y el pequeño y mediano productor. ¿Cuáles son sus aplicaciones? ¿Cuál es su beneficio? ¿En qué se diferencia de lo que ya ofrece el mercado?

En el presente trabajo se analizará como en la actualidad está compuesto el mercado de seguros agrícolas y a que riesgos se encuentran expuestos la mayor cantidad de productores y cuáles son sus implicancias.

Podemos determinar dos principales aplicaciones del seguro basado en índices por imágenes satelitales el cual puede ser utilizado como una herramienta tanto de ayuda en casos de desastres y como así también para el desarrollo. Vale destacar que estas dos funciones no son independientes, sino que el objetivo de los productos será diferente y, por tanto, el diseño, los canales de distribución y los clientes de estos productos serán también diferentes.

Los seguros basados en índices satélites para la ayuda en caso de desastres protegerían a las personas –su vida, su salud y sus activos– contra pérdidas catastróficas. Podrían ayudar a salvar vidas a través de respuestas más rápidas a los desastres y con una mejor relación costo-eficacia.

Por otro lado, y no siendo de menor importancia el propósito es brindar asistencia rápida y temprana para ayudar a los productores que han sido afectados y así estos poder enfrentar y recuperarse de los desastres naturales. Esta respuesta de rápida



acción es antagónica a la Ley de Emergencias que hoy en día se aplica en nuestro país y que en la cosecha 2008/2009 tuvo grandes falencias.

El seguro debe cubrir eventualidades climáticas altamente correlacionadas con la pérdida de medios de subsistencia, de vidas, y de otros grandes activos, para lo que a menudo se brinda asistencia pública.

Los estudios han demostrado que cuanto más temprano llega la asistencia después de un desequilibrio, mayores su efectividad en mitigar los impactos adversos, es decir se logra evitar la trampa de pobreza mencionada al principio de este trabajo ya que los productores al recibir su indemnización de forma inmediata evaden la penosa labor de la venta de activos, acelerando su recuperación.

Mientras que en el caso de los seguros basados en índices satelitales para el desarrollo ayudan a los agricultores a proteger sus inversiones y tienen como objetivo primordial abrir puertas para encontrar nuevas formas de generar ingresos (por ejemplo, contratos rurales, acceso al crédito), y además pueden ser parte de un ecosistema para ayudar a los agricultores a escapar de la pobreza.

Los seguros basados en índices satelitales para el desarrollo agrícola son los que más potenciales presentan para darle ayuda a aquellas familias más vulnerables cuando el fin es cubrir un riesgo específico. Los productores manejan riesgos de covarianza de frecuencia baja a media, como son el caso de las sequías, pestes y precipitaciones de lluvia en exceso. Donde los riesgos recientemente mencionados pueden afectar etapas esenciales para el desarrollo del cultivo, como por ejemplo ocurre con el maíz, donde la etapa de floración es crucial que llueva para que el cultivo se desarrolle en forma saludable. Para que el índice sea referente y tenga credibilidad tiene que ser formulado contra eventos donde haya una fuerte correlación entre la producción agrícola o ya sea contra la pérdida de activos .

Dichos seguros basados en índices habilitan a los pequeños productores a jugar un papel importante en la protección de sus activos productivos y en el consumo, colocándose a sí mismas en una posición para seguir estrategias más riesgosas, y sobre todo con mayor potencial para generar utilidades. Sin embargo, estas ventajas pueden verse acotadas o ser muy modestas por sí mismas para justificar el pago anual de una prima de seguro no subsidiada o tradicional.



El valor real del desarrollo de seguros basados en índices satelitales se genera porque desbloquea el acceso a mercados de alto valor, a las tecnologías e insumos modernos, a la información sobre agricultura a través de imágenes satelitales que permiten hacer una evaluación del campo casi en tiempo real, al crédito y otros servicios financieros. Por ejemplo, los proveedores de servicios financieros y los distribuidores de insumos pueden tener mayor predisposición a otorgar crédito a los productores que aseguren sus préstamos con productos de seguros.

El seguro basado en índices climáticos a través de imágenes satelitales para desarrollo debe observarse como una herramienta para el pequeño productor que le permite acceder un abanico enorme de posibilidades, insertándolo en el mercado, principalmente el mercado crediticio el cual en nuestro país es sumamente reacio a otorgar préstamos y sobre todo a los productores pequeños debido alta probabilidad de default que se les asigna.

Una aspiración sería poder generar un vínculo formal entre la aseguradora y la entidad de servicios financieros, de manera que al prestamista se le garantice tener acceso a una parte o al total de la indemnización del seguro, en el caso que ocurra un eventual incumplimiento del préstamo causado por un riesgo que ha sido asegurado. El seguro basado en desarrollo puede formar parte del crédito, es decir una especie de garantía, permitiendo al banco cobrar directamente de la aseguradora.

Tal paquete de medidas para el desarrollo agropecuario con lleva a nuevos cambios en el juego siempre volátil de la productividad e ingresos relacionados con la actividad de los agricultores.

Una pregunta importante y difícil de contestar es si el seguro basado en índices climáticos satelital, dirigido al desarrollo, permite lograr la reducción de la pobreza. La bibliografía y los estudios pilotos respecto a la pobreza avalan que el seguro es de suma utilidad para que el productor de menor envergadura llegue a alcanzar un crecimiento necesario para su subsistencia y así no caer nuevamente o incluso con mayor profundidad en un estado de pobreza en los años malos. Sin embargo, es posible que sea clave en las fases iniciales subsidiar el seguro basado en índices dirigido a este sector vulnerable, hasta que los hogares asegurados logren el



suficiente crecimiento de sus ingresos como para pagarse las primas y además hayan obtenido la confianza suficiente del instrumento en cuestión. Por supuesto, los subsidios no deberían ser por plazos prolongados ya que crean inconvenientes en cuanto a los incentivos. De todas maneras, la utilización de estos instrumentos puede tener una mejor relación costo-eficacia creando menor distorsión que otros tipos de programas de redes de seguridad.

En promedio, los riesgos climáticos producen hasta el 39% de las pérdidas en el rinde y son las sequías y las inundaciones las que explican la mayor parte de las pérdidas, aproximadamente el 80% de las veces.

El beneficio radica que al ser el productor consciente que unos de estos eventos nombrados pueden sacarlo del negocio, si la prima es accesible no dudará en adquirirla.

Otro beneficio secundario es que permite estabilizar su flujo de caja del negocio ante un evento como la sequía, en forma eficiente, objetiva, transparente y simple. Donde el pago no precisa de la presencia de peritos a los campos, dado que se basa cien por ciento en tecnología digital.

En la actualidad, los altos costos de los seguros agropecuarios tradicionales se encuentran asociados a que las aseguradoras padecen de problemas de información asimétrica, de lo cual nos explayaremos con más detalle en dicho trabajo y es donde a través de los seguros índices podremos combatirla.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Mercado Asegurador

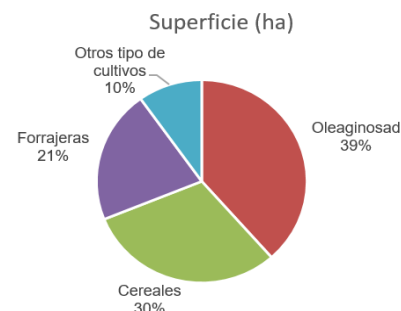
2.1.1 Mercado de seguros agrícolas en la actualidad

El seguro agropecuario ha ido creciendo a lo largo del tiempo en nuestro país, esto equivale a una mayor concientización de los productores sobre los riesgos que corren y un mayor conocimiento de cómo paliarlos.

Para abordar esta situación es importante comprender la magnitud total de superficie implantada en la Argentina. Según las estimaciones oficiales del último censo nacional agropecuario entre julio del 2017 y junio del 2018 el total de superficie implantada equivalen a un total de 37.411.993 hectáreas teniendo en cuenta cultivos de 1° y 2° ocupación. Analizando las cifras presentadas y buscando realizar una granularidad se estima que el área destinada a uso agrícola a nivel nacional en Argentina, asciende 33.182.639 hectáreas, donde cabe destacar que, de ellas, 4.229.353 hectáreas se destinaron al doble cultivo, que nos da como resultado total las 37.411.993 hectáreas durante el periodo 2017/2018.

Tabla 1. Hectáreas sembradas en Argentina por cultivo (Censo 2018):

Tipo de cultivo	Superficie (ha)	Participación (%)
Oleaginosad	14,391,625	38.5%
Cereales	11,387,352	30.4%
Forrajeras	7,938,960	21.2%
Bosques y montes implantado	1,230,246	3.3%
Cultivo industriales	893,697	2.4%
Frutales	514,701	1.4%
Legumbres	363,441	1.0%
Hortalizas	134,993	0.4%
Aromaticas y medicinales	7,068	0.0%
Viveros	2,372	0.0%
Flores de corte	815	0.0%
Sin discriminar	546,724	1.5%
Total implantado	37,411,994	100%



Fuente: cuadro de elaboración propia con información de la Superintendencia de Seguros de la Nación.

Al observar el gráfico de torta, podemos observar que son las oleaginosas aquellos cultivos que se destacan con una mayor superficie de ocupación representando el 38,5% (14.391.625 ha) del área. Donde se sobresalen los cultivos de soja y girasol.

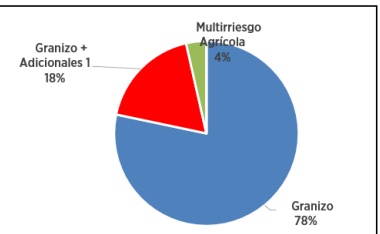
Por su parte los cereales alcanzaron el 30,4% (11.387.352 hectáreas) del total. En la actualidad los cereales más populares para cultivarse son el trigo, maíz, sorgo, cebada, arroz, y centeno. Donde la zona núcleo por excelencia para cultivar es la famosa pampa húmeda, cuya superficie total abarca los 210.000 km² y agrupa el 80% de la producción de cereales.

Con respecto a los cultivos de forrajeras, se llevan la medalla de bronce al ocupar el tercer lugar en superficie total a nivel nacional, el cual representa 21,2% del total, es decir 7.938.960 hectáreas sembradas.

Los seguros agropecuarios cuentan en la Argentina con un gran potencial para desarrollarse si evaluamos que del total de 37 millones de hectáreas solo hay aproximadamente 16 millones aseguradas según los últimos datos de la Superintendencia de Seguros de la Nación (SSN). El problema radica en que la Argentina actualmente solo tiene desarrollado seguros tradicionales ofrecidos para contratar como son el seguro contra granizo y el seguro multi-riesgo que según los datos de la SSN muestran que de un total de 16 millones de hectáreas aseguradas, el 78% representan cobertura de granizo, el 18% cobertura de granizo más adicionales y tan solo un 4% es representado por el seguro multi-riesgo los cuales contemplan distintas falencias para el mediano y pequeño productor.

Tabla 2. Características del seguro agropecuario por tipo de cobertura (Ejercicio económico 2018):

Coberturas	Primas emitidas		Sinistros pagados denunciado		Hectáreas aseguradas miles ha	Capital asegurado miles \$	Pólizas emitidas cant.
	miles \$	monto miles \$	pagados cant.	denunciado cant.			
Seguros Agropecuarios	4,642,065	3,217,790	23,580	31,593	16,537	172,857,277	135,201
Seguros Agrícolas	4,639,100	3,217,039	23,563	31,578	16,537	172,785,394	135,116
Granizo	3,706,322	2,556,540	17,389	20,951	12,947	142,476,991	117,818
Granizo + Adicionales ¹	892,054	628,631	5,865	10,415	3,004	29,236,233	17,281
Multirriesgo Agrícola	37,359	28,989	10	11	587	1,039,901	16
Otras Coberturas Agrícolas ²	3,364	2,878	299	201	0	32,270	1
Seguros Pecuarios: Ganado	2,966	751	17	15	///	71,883	85



Fuente: cuadro de elaboración propia con información de la Superintendencia de Seguros de la Nación.

Por un lado, el seguro contra granizo, no contempla el rendimiento y a su vez expone al productor a los otros tipos de riesgos como la sequía, inundaciones, fuertes vientos, etc. Siendo éste el más conocido dentro del universo de productores

argentinos amparado en que es un producto económico lo cual permite la accesibilidad de los pequeños productores y mitiga un riesgo de alta intensidad.

Mientras que, por otro lado, el mercado asegurador desarrollo una opción más completa dentro de los seguros tradicionales, el multi-riesgo, cuya cobertura se basa en el rendimiento por hectárea, pero ocurre que es inaccesible económicamente para los productores de pequeña y mediana escala ya que sus costos son sumamente elevados.

Por lo tanto, existiendo un total de 16 millones de hectáreas aseguradas en todo el país (a continuación, la siguiente tabla 3 representa como se distribuyen el 82 % de las primas emitidas entre las principales provincias del país), podemos decir que el pequeño y mediano productor continúa estando expuesto a los distintos riesgos climáticos.

Tabla 3. Características del seguro agrícola por jurisdicción (ejercicio 2018):

Jurisdicciones (según volumen de primas)	Primas emitidas miles \$	%Prima emitidas	Siniestros pagados miles \$	%Siniestros pagados	Hectáreas aseguradas miles ha	%Hectáreas aseguradas	Capital asegurado miles \$	%Capital asegurado
Seguros Agrícolas	4,639,100	100%	3,217,039	100%	16,537	100%	172,785,394	100%
Córdoba	1,726,330	37%	1,241,875	39%	4,230	26%	45,576,764	26%
Buenos Aires	1,125,040	24%	960,286	30%	5,817	35%	51,814,381	30%
Santa Fe	964,440	21%	409,020	13%	3,462	21%	47,303,504	27%
Resto	823,289	18%	605,857	19%	3,028	18%	28,090,745	16%

Fuente: cuadro de elaboración propia con información de la Superintendencia de Seguros de la Nación.

Si decidimos poner la lupa en las tres principales provincias que se llevan la mayor proporción de las primas emitidas con el objetivo de lograr una descomposición por producto, la tabla 4 nos indica lo siguiente.

Tabla 4. Características del seguro agropecuario de las principales jurisdicciones apertura por cobertura (Ejercicio económico 2018):

Jurisdicciones (según volumen de primas)	Primas emitidas	Siniestros pagados	Hectáreas aseguradas	Capital asegurado
Coberturas	%	%	%	%
Córdoba	100.0	100.0	100.0	100.0
Granizo	87.0	85.0	85.0	89.9
Granizo + Adicionales	12.9	14.9	14.7	10.0
Multirriesgo Agrícola	0.1	-	0.3	0.2
Ganado	0.0	0.0	-	0.0
Buenos Aires	100.0	100.0	100.0	100.0
Granizo	73.6	68.4	70.6	78.4
Granizo + Adicionales	25.0	31.6	20.7	20.8
Multirriesgo Agrícola	1.2	0.0	8.7	0.7
Ganado	0.1	-	-	0.1
Santa Fe	100.0	100.0	100.0	100.0
Granizo	86.7	86.3	86.7	85.9
Granizo + Adicionales	13.2	13.7	13.2	14.0
Ganado	0.0	0.1	-	0.0
Multirriesgo Agrícola	0.0	-	0.1	0.1
Otras Coberturas Agrícolas	0.0	0.0	0.0	0.0

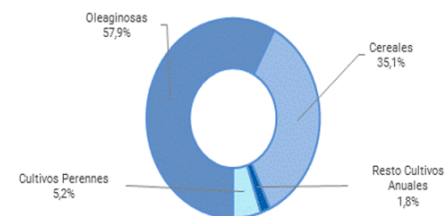
Fuente: cuadro de elaboración propia con información de la Superintendencia de Seguros de la Nación.

Por otro lado, es importante contar con un mapeo genérico de cómo se distribuyen tanto las primas emitidas, como lo siniestros y la cantidad de hectáreas aseguradas por cultivos, para poder entender un poco mejor como el productor detecta el riesgo y actúa dependiendo el cultivo a sembrar. Contar con esta información nos permite observar a distintos niveles de granularidad como se desarrolla el mercado asegurados agrícola en la Argentina.

Tabla 5. Características del seguro agrícola por tipo de cultivo (Ejercicio económico 2018):

Cultivos	Primas emitidas miles \$	Siniestros pagados miles \$	Hectáreas aseguradas miles ha	Capital asegurado miles \$
SEGUROS AGRÍCOLAS	4,639,100	3,217,039	16,537	172,785,394
Cultivos Anuales	4,399,720	2,988,020	16,281	169,161,483
1. Oleaginosas	2,685,802	1,916,554	9,414	90,366,003
Soja	2,464,613	1,836,528	8,431	79,560,281
Girasol	219,496	76,487	962	9,434,387
Colza	1,084	3,510	12	86,652
Resto Oleaginosas	608	29	9	1,284,682
2. Cereales	1,629,080	1,010,817	6,585	70,591,250
Maíz	873,468	467,180	2,521	34,913,247
Trigo	614,689	348,014	3,292	22,538,651
Cebada	107,276	178,003	567	7,089,046
Arroz	18,511	2,365	64	2,023,962
Sorgo	5,741	466	60	2,272,146
Avena	4,006	7,596	24	148,491
Resto Cereales	5,388	7,192	56	1,605,706
3. Resto de los cultivos anuales (*)	84,838	60,649	282	8,204,230
Cultivos Perennes (**)	239,380	229,019	256	3,623,911

Participación porcentual del seguro agrícola, por tipo de cultivo



(*) Tabaco, Forrajes, Legumbres

(**) Vid, Ortalizas, cítricos y otros

Fuente: cuadro de elaboración propia con información de la Superintendencia de Seguros de la Nación.



Es frecuente observar la variabilidad climática como un hecho tangible, la cual nos muestra año tras año aumentos en las frecuencias y en las intensidades de los distintos tipos de riesgos que afectan al productor ya sea el caso de inundaciones, fuertes vientos como así también de sequía. Para una variable de distribución normal como la temperatura un pequeño incremento en su media de largo plazo, y/o varianza, puede causar cambios fundamentales en la probabilidad de ocurrencia, como heladas o precipitaciones, la situación es aún más complicada, especialmente para climas secos. Los cambios en la media total de precipitaciones puede ser acompañada con otras variaciones como frecuencia de precipitaciones. Todo esto influye y afecta en las ganancias de los productores agrícolas.

Frente a estos posibles sucesos, los cuales se esperan que aumenten su variación en las próximas décadas, la solución óptima sería aumentar las zonas aseguradas y para ellos es necesario incluir al pequeño productor.

Vamos a definir al pequeño productor como aquel que tiene menos de veinte hectáreas, a quien hoy en día una buena cobertura le resulta extremadamente costosa y debe mitigar los riesgos de otras formas, como por ejemplo a través de la rotación de cultivos. Si bien la rotación de cultivo es una forma de mitigar el riesgo y una forma responsable por parte del productor de hacer frente a los riesgos expuestos, es insuficiente.

2.1.2 Falencias del sistema actual

En lo que respecta, al apoyo público para administrar el riesgo financiero de la producción agropecuaria la forma en como los gobiernos y la comunidad internacional ofrecen y administran la ayuda genera grandes distorsiones, esto se debe a que se proporciona en aquellos casos donde los daños son visiblemente elevados, lo cual reduce el interés de los posibles clientes y su disponibilidad a comprar seguros. La ambigüedad de una frontera para la ayuda en caso de desastres estimula distorsiones adicionales que hacen más compleja la operación del mercado privado, reduciendo la disposición de los clientes potenciales para adquirir un seguro.



Por el lado de la oferta, las aseguradoras tienen una gran incertidumbre a la hora de ofrecer seguro agropecuario si desconocen cual será el nivel de participación del gobierno a la hora de intervención para otorgar ayuda en caso de catástrofes naturales. Pese a ello, si el gobierno se maneja bajo una estrategia de acciones claras y transparentes, puede crear un canal donde los proveedores de seguros tengan la confianza para operar en dicho mercado.

En la actualidad, la principal ayuda al pequeño y mediano productor en caso de catástrofe se encuentra dada por la ley de Emergencia Agropecuaria n.º 26 509, del 20 de agosto de 2009. La mencionada ley creada, en el ámbito del MAGyP, el Sistema Nacional para la Prevención y Mitigación de Emergencias y Desastres Agropecuarios, con el objetivo de prevenir mitigar los daños causados por factores climáticos, meteorológicos, telúricos, biológicos o físicos, que afecten significativamente la producción o la capacidad de producción agropecuaria. Estos recursos estarán exclusivamente destinados a financiar los programas, proyectos y acciones del Sistema Nacional para la Prevención y Mitigación de Emergencias y Desastres Agropecuarios.

Cuando el sector agropecuario se ve afectado por cualquiera de los riesgos anteriormente mencionados (sequia, inundaciones, incendio, y otros) en la mayoría de los casos la cantidad de hectáreas afectadas es de tal magnitud y alta intensidad, que los programas que plantea la ley de emergencia a través del estado nacional son escasos para cubrir y reabastecer la producción perdida. Generando que el productor pierda no solo su cosecha, sino su inversión, dejándolo sumamente vulnerable para los periodos posteriores. Generalmente la ayuda al productor tarda demasiado tiempo, lo cual lo sumerge a la trampa de la pobreza debido a que el productor para poder afrontar los créditos pedidos para realizar la siembra o ya sea para volver a invertir el capital perdido debe vender sus activos (como maquinarias, producción excedente de otras cosechas, etc.) con el objetivo de reabastecerse de capital propio para poder afrontar las siembras siguientes de las cuales depende su subsistencia de vida.

Es evidente que no coexiste una participación conjunta entre los privados y el estado lo cual produce resultados sub-óptimos. Por otro lado, el único accionar del estado



es través de la ley de emergencia donde ejecuta su accionar cuando ocurren catástrofes, las cuales son sucesos que contemplan una baja frecuencia y alta intensidad, pero a la hora de ocurrir otro tipo de escenarios donde la frecuencia del hecho es alta pero su intensidad es baja o media, si bien las pérdidas afectan al pequeño y mediano productor, el estado no participa brindando ningún tipo de ayuda.

La mayoría de estos sistemas tradicionalmente han sido administrados y ampliamente subsidiados por los gobiernos de turno y han estado operando en mercados incompletos. Esto ha debilitado la eficiencia de dichos instrumentos, y también su acceso por parte de los productores de menor envergadura. Los pequeños productores pueden ser fácilmente excluidos de los esquemas de seguro tradicional por su incapacidad de pagar las primas solicitadas por las compañías de seguros.

Los grandes costos operacionales que conllevan a su contratación, debido a la necesidad de realizar peritajes tanto para su contratación como así también una vez ocurrido el evento a cubrir, permiten que solo los grandes productores sean los únicos capaces de adquirirlos y sean los encargados de minimizar el riesgo en forma óptima y eficiente.

Otra de las causas, se debe a que las compañías de seguros en muchas ocasiones dejan de ofrecer la cobertura de forma continua como por ejemplo ocurrió con el seguro multi-riesgo en diversas situaciones. Un ejemplo claro, fue la sequía del año 2008/2009 en nuestro país, donde las aseguradoras frente a la incertidumbre generada previamente por semejante catástrofe, dejaron de ofrecer en los mercados la cobertura multi-riesgo exponiendo al riesgo a los productores y a sus economías a una gran volatilidad.

2.1.3 Riesgos vencidos vs. Riesgos a vencer

Ampliaremos la definición a cerca de estos tipos de riesgos que inquietan y paralizan al sector agrario y como el seguro basado en índices brindan una solución para los mismos.



En los contratos basados en índices climáticos que se miden a través de estaciones meteorológicas, cabe la posibilidad que los tomadores de la póliza reciban una indemnización, incluso cuando no han sufrido pérdidas y, por el contrario, pueden no recibir una indemnización cuando sí la han sufrido, pero a través de las imágenes satelitales se puede obtener un detalle minucioso por hectárea dependiendo que tipo de satélites se utilicen para su control.

El riesgo de base es caracterizado de varias formas : temporal, espacial o específico de un cultivo ya que, a esos niveles, los productores son afectados diferenciadamente por los mismos factores de riesgo.

El riesgo de base temporal indica que la producción es influenciada a diferentes niveles por los factores climáticos en diferentes etapas del crecimiento vegetativo donde existen etapas de mayor preponderancia y esenciales para el desarrollo del cultivo.

El riesgo de base espacial se encarga de capturar la variabilidad geográfica de los factores que impactan en el rendimiento, inclusive si miramos dentro de la misma región. Es un riesgo que por cultivo específico refleja las variaciones en factores tales como los tiempos oportunos de siembra, la longitud de la temporada de crecimiento, y la sensibilidad a la humedad y a la temperatura de diferentes cultivos, los cuales son causantes del rendimiento de la producción.

En el caso, donde un agricultor que contrato un seguro contra lluvias podría perder su cosecha por una sequía, y no recibir una indemnización, si la sequía no presenta los registros correspondientes en la estación meteorológica pertinente. La diversidad de microclimas que afectan a los productores de menor envergadura y que a menudo se encuentra en áreas geográficas relativamente pequeñas significa que el riesgo base es un problema inherente y ampliamente diseminado que las imágenes satelitales pueden combatir.

2.1.4 Minimizar el Riesgo base

Como existen distintos tipos de riesgos, también tenemos la posibilidad de cubrirnos contra ellos. Una de las opciones seria limitar el seguro a los riesgos de baja frecuencia y de alta covarianza en relación al clima, que afectan a la mayor parte de



los productores de la región. Las pérdidas individuales encuentran mayores probabilidades de estar fuertemente correlacionadas con el evento climático asegurado. Este enfoque funciona en forma más eficiente para el seguro basado en índices dirigido a la ayuda en caso de desastres.

Otra opción factible nos la proporcionan las imágenes satelitales que pueden mostrar un detalle más preciso por hectárea dependiendo que tipo de satélite se utilice para su medición y suplantando a las estaciones meteorológicas que si bien logran buenas mediciones no son suficientes ni tampoco eficientes a la hora de combatir el riesgo base ya que debería contarse con una gran red de estaciones meteorológica con una distancia no superior a las 25 hectáreas lo cual implicaría una inversión de altos costos iniciales.

Finalmente, de la siguiente forma las compañías aseguradoras pueden intentar disminuir el componente espacial del riesgo de base determinando las primas en base a la ubicación, reconociendo que las pérdidas no se distribuyen igual geográficamente. Una acción de similares características se puede emprender para tratar las diferencias en pérdidas a través del tiempo, con la variación del nivel de indemnización basada en la etapa de crecimiento vegetativo en la que ocurre el evento.

Por último, se podrían identificar índices climáticos que minimicen el riesgo base para tantos productores como sea posible en una región y lograr que la correlación entre el índice y los rendimientos individuales sea lo más fuerte posible para lograr de esta forma obtener una buena medición del índice, y así, optimizar y lograr ganancias de eficiencia lo suficientemente altas para que el riesgo base no implique un costo para los productores.

2.1.5 Cooperación: Público-Privada

Utilizar el seguro basado en índices climático satelital para la ayuda en caso de desastres también podría suponer una relación público-privado que hoy en día no existe. La idea es utilizar todo el conocimiento del ramo asegurador que tiene el ámbito privado y fusionarlo con el aparato del estado, el cual puede brindar un gran



soporte a nivel de datos, ya sea a través de diferentes organismos como el INTA, ORA, Servicio meteorológicos nacional, el SIIA, entre otros.

A su vez, el estado con el presupuesto destinado a la ley de emergencias puede en parte destinarlo a subvencionar las primas del seguro basado en índices para la ayuda en caso de desastre logrando de esta forma ampliar el mercado y la cantidad hectáreas aseguradas protegiendo al pequeño y mediano productor. Como consecuencia el estado establece una contribución anual predecible que podría ser más fácil de presupuestar año tras año.

2.2 Modelos de valorización

2.2.1 Introducción

En busca de modelos de valorización acerca de seguros sobre índices climáticos a través de imágenes satelitales se han desarrollado modelos que vienen de dos vertientes: modelos meteorológicos y modelos estadísticos. Los meteorológicos provienen del modelamiento de las dinámicas atmosféricas y tienden a ser extremadamente precisos en un horizonte de hasta diez días y por lo general no se comportan de buena manera en horizontes mayores donde entra en juego un fenómeno que se conoce como “la teoría del caos”, por lo tanto hace imposible obtener predicciones confiables. Esto genera que sean muy restrictivos desde el punto de vista de los mercados de seguros, ya que la demanda de este tipo de instrumentos requiere coberturas más extensas en cuanto a tiempo.

De esta forma, los modelos que han tenido mayor relevancia en el mundo seguros índices han sido los modelos estadísticos.

2.2.2 Definición teórica de los seguros índices a través de imágenes satelitales.

Los seguros índices climáticos a través de imágenes satelitales tienen la característica de operar bajo un mecanismo de índice disparador, donde es

condición necesaria y suficiente contar una correlación alta entre el índice y el evento a cubrir, ya sea déficit o exceso de lluvias, temperatura, velocidad del viento entre otros.

El seguro índice climático a través de imágenes satelitales, se define por las siguientes características:

- ✓ El período del contrato, este debe tener una fecha de inicio y término.
- ✓ Elección del satélite a utilizar dependiendo cual es la frecuencia deseada y el grado de resolución que se quiera obtener para las imágenes deseadas.
- ✓ Una variable climática, que sea medida por el satélite seleccionado establecido en el contrato.
- ✓ Un índice que permita definir a la variable climática durante el período del contrato.
- ✓ Una función de pagos, la cual transforma el índice elegido en los flujos de dinero preestablecidos en el contrato.
- ✓ En ciertos contratos debe existir también una prima pagada por el comprador al momento de la emisión del contrato o la posibilidad de pago a contra cosecha de una parte de la prima

Se puede asociar y de modo simplificado el mecanismo de pago del seguro índice climático a través de imágenes satelitales como un derivado financiero es decir como un put o un call dependiendo si lo que se quiere cotizar es un seguro contra sequía o inundaciones donde:

$$Put = MAX(STRIKE - I_t; 0) * TICKER$$

$$Call = MAX(I_t - STRIKE; 0) * TICKER$$



STRIKE: es el punto de inflexión que determina si salta el índice disparador

It: Sera el comportamiento histórico del índice medido a través de las distintas campañas

TICKER: es el monto pagado por cada punto diferencial entre It y el Strike.

2.2.3 Burn analysis

El método más claro y conciso, se lo conoce como burn analysis y consiste en evaluar cómo se habría comportado el contrato en los años anteriores y suponer que, en promedio, el contrato debiese mantener un comportamiento similar.

Para poder utilizar este tipo de valorización es necesario realizar algunos supuestos. En primer lugar, considerar que los datos son estacionarios, y luego considerar que los valores para los distintos años son independientes e idénticamente distribuidos.

Por lo tanto, dicha alternativa que se maneja usualmente, es la de utilizar técnicas actuariales en la valuación. De la misma manera que ocurre con las primas de los contratos de seguro basados en índices climáticos, donde para evaluar el contrato se recurre a información histórica que permita encontrar una regularidad estadística y, por lo tanto, otorgue una probabilidad de ocurrencia a cada escenario. En este caso uno de los inconvenientes será conocer cómo trabajar con estos datos y qué tipo de datos resultan fidedignos. Las técnicas actuariales, deberán considerar entonces información del pasado para de esta forma otorgar un valor justo a una contingente erogación de fondos futura. El componente estocástico de estos instrumentos será el valor que tome el índice climático, más adelante en la prueba piloto realizada se mostrara la técnica mencionada.

2.2.4 Otros modelos de valuación

La similitud que presentan este tipo de contratos con los derivados financieros puede sugerir la posibilidad de utilizar las mismas técnicas de valuación. Sin

embargo, existe una importante diferencia la cual radica en que el activo subyacente en este caso no tiene una negociación en el mercado, quedando anulado poder utilizar el modelo de Black & Scholes puesto que éste sustenta en replicar el pay off del derivado actuando dentro del mercado de activos.

En conclusión, todo aquel modelo basado en demostrar que el precio justo es aquel donde no se permite un arbitraje en el mercado pierde sentido por no ser el índice climático un producto transable.

Dentro de los métodos de valorización mediante no arbitraje, el más conocido es el de Black-Scholes (B-S). Es amplia la discusión en torno a la factibilidad de utilizar el modelo de B-S para valorizar seguros índices, principalmente esto se debe a que las variables meteorológicas no cumplen con los supuestos que realiza este modelo. Estos supuestos son:

- Los precios de los subyacentes deben seguir un proceso de movimiento browniano geométrico.
- Es posible tomar posiciones cortas en el subyacente.
- No existen oportunidades de arbitraje.
- No existen costos de transacción.
- Es posible tomar prestado y prestar dinero una tasa de interés libre de Riesgo

3. MARCO EMPÍRICO

El alcance de este trabajo radica en realizar una investigación de carácter tanto descriptivo como exploratorio donde por un lado vamos a estar describiendo sobre los distintos componentes y características que tiene un seguro índice climático por imágenes satelitales y por otro lado vamos a estar explorando un problema que hoy no es abordado por las compañías de seguros quienes dejan afuera al pequeño y mediano productor, enfocando el conocimiento en seguros índices como una solución innovadora y pragmática. Para ellos, realizaremos una prueba piloto en la zona de Balcarce, donde el principal cultivo es el maíz, y desarrollar un seguro índice a través de imágenes satelitales donde se busca encontrar una alta correlación entre los rendimientos históricos por hectárea con el centro puesto en crear una cobertura para la sequía en los periodos críticos a la hora del desarrollo del cultivo que sea de bajo costo.

Es importante, realizar este tipo de pruebas pilotos para relevar cuanto más económica será la prima pura valuada a través de seguros índices para poder visualizar si será lo suficiente tentadora para lograr que los pequeños y medianos productores deseen adquirirla por encima de los seguros tradicionales, los cuales hoy son de un difícil alcance.

CAPÍTULO I: Breve historia de los seguros índices

La historia de los seguros basados en índices se remonta al año 1997 para la industria energética estadounidense donde se buscaba dar cobertura al riesgo climático ligado a la temperatura, el cual trae un impacto fuerte a esta industria en sus ingresos y costos creándole volatilidad en sus flujos de fondos.

La función de estos seguros es innovadora y no intenta reemplazar a los seguros tradicionales sino más bien generar una sinergia con los mismos y expandir la torta del mercado.

Países como, México, India, y Estados Unidos fueron los principales impulsores en desarrollar estos productos y sumergirlos de lleno en el sector agrícola desarrollando en un principio pruebas pilotos como así también fomentarlos para que las aseguradoras los tengan en el abanico de sus productos.

En nuestro país, hay muy pocos estudios de campo con respecto a este nuevo instrumento, el cual tiene un gran potencial de desarrollo, dado que la Argentina es un país históricamente y con gran dependencia económica del sector agropecuario. Es por dicho motivo que es interesante buscar una forma alternativa de mitigar los riesgos agrícolas, teniendo como objetivo asegurar el mayor volumen de hectáreas posibles y para ello es sumamente necesario incluir al mediano y pequeño productor.

CAPÍTULO II: Propuestas

Capítulo II. 1 Principios de los seguros agrícolas basados en índices

En el mundo, los seguros basados índices satelitales están desarrollándose a pasos agigantados ya que brindan cobertura a bajo costo permitiendo ampliar el mercado del seguro a aquellos pequeños productores.

Los seguros por índice de imágenes satélites que indagan la protección del asegurado ante una imprevista pérdida de ingresos donde existe una correlación con una variación en un índice climático (por ejemplo, de rendimiento). Dicho índice puede ser medido a través de distintas formas ya sean estaciones meteorológicas o vía imágenes satelitales.

Existe un universo enorme de índices para poder utilizar dependiendo cual sea el objetivo a asegurar y eso es lo que genera que este tipo de seguros sean tan flexibles ante los distintos contextos.

La investigación pone el foco en abordar a través de una prueba piloto un seguro índice climático, cuyo índice será el de condición de vegetación (VCI- Vegetation Condition Index) el cual es un índice generalmente asociado para la detección y monitoreo de la sequía, que tiene la cualidad de poder evaluar su duración, la intensidad, el área cubierta y los impactos sobre la vegetación. El VCI se desprende del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index), adquirido a través de la serie histórica de imágenes satelitales. Donde la ecuación y forma de interpretación para el cálculo del índice de Vegetation condition index se deriva en:

$$VCI_i = \left(\frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right) \times 100$$

Valor	Categoría
90-100%	Sin Sequía
80-90%	Sin Sequía
70-80%	Sin Sequía
60-70%	Sin Sequía
50-60%	Sin Sequía
40-50%	Sin Sequía
30-40%	Sequia Leve
20-30%	Sequia Moderada
10-20%	Sequia Severa
0-10%	Sequia Extrema

Fuente: datos extraídos del Banco Mundial.

La ventaja de utilizar imágenes satelitales radica en que uno puede tener acceso a información con una frecuencia rápida y abarcar grandes territorios. Mientras, que la utilización de las estaciones meteorológicas tiene el principal inconveniente que al ser costosas su implementación es limitada lo cual acota su muestra a algunos territorios de la Argentina.

A su vez, las imágenes satelitales permiten segmentar y personalizar el pricing del producto a cada cliente, ya que se puede mediante las coordenadas exactas del campo del cliente obtener información precisa e histórica sobre la evolución de dicho campo y así calcular un precio acorde y justo.



Capítulo II. 2 Índices climáticos a través de imágenes satelital.

Anteriormente estuvimos exponiendo como era el mercado de seguros agrícola tradicional en nuestro país y sus respectivas falencias, principalmente al no incluir a los productores de menor envergadura. Luego, llego el momento de proponer una alternativa o complemento a dicho problema a través de los seguros basados en índices climáticos a través de imágenes satelitales, donde se observaron sus posibles inferencias en el mercado y ahora llega el turno de explicar en qué consiste dicho instrumento y como funciona.

El seguro basado en un índice climático satelital se estructura para que los contratos de seguro sean escritos con clientes individuales bajo el acuerdo de que la indemnización ocurrirá dado un evento disparador. Las compensaciones se ejecutan cuando el índice pasa un nivel de limite predeterminado en un horizonte de tiempo pactado. El evento asegurado será medido a través de un índice, que necesariamente debe contemplar una correlación histórica entre los eventos climáticos y el rendimiento del cultivo, para así poder obtener una distribución de probabilidad capaz de ser estimada y medida.

El índice es considerado como una variable que permite contemplar la ocurrencia y la magnitud del evento pactado en el contrato de seguro.

Los índices de vegetación son capaces de utilizar una gran variedad de combinaciones de datos satelitales multi-espectrales para producir y resumir de esta forma una única imagen, la cual se encarga de representar el vigor vegetativo. Los cultivos tienen un patrón característico de respuesta espectral donde tanto la energía azul como la roja visible son absorbidas fuertemente y la luz verde visible se refleja débilmente (por lo tanto un color verde) y la energía de infrarrojo cercano se refleja muy fuertemente. Esto causa un patrón de respuesta espectral específico donde muchos de los modelos índices de vegetación tienden a utilizar solo las bandas de imágenes de color rojo y el infrarrojo cercano.

- **El índice de vegetación normalizado – NDVI:** Es un índice de aceptación universal para la evaluación de la sequía debido a su simplicidad en los



cálculos, fácil de interpretar y su capacidad para compensar parcialmente los efectos de la atmósfera, la geometría de iluminación. La gravedad de la situación de sequía se evalúa por el grado de desviación NDVI de su media a largo plazo.

$$NDVI = \frac{\rho^{NIR} - \rho^{Red}}{\rho^{NIR} + \rho^{Red}}$$

- **TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index):** es un índice que combina temperatura de superficie con índice de vegetación y ha sido desarrollado para establecer el estado de la humedad (sequedad) del sistema suelo-planta.

$$TVDI = \frac{T_s - T_{smin}}{T_{smax} - T_{smin}}$$

- **EVI (Enhanced Vegetation Index):** este índice se encarga de reducir efectos adversos producidos por factores ambientales como por ejemplo las condiciones atmosféricas y el suelo, no contemplando el efecto topográfico, para ellos se encarga de optimizar las señales de vegetación con sensibilidad para altas densidades de biomasa, permitiendo de esta forma la separación de la influencia atmosférica y la señal proveniente de la vegetación.

$$EVI = G \cdot \frac{\rho^{NIR} - \rho^{Red}}{\rho^{NIR} - C_1 \rho^{Red} - C_2 \rho^{blue} + L}$$

- **ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index):** dicho índice es prácticamente el NDVI salvo por la diferencia de la corrección atmosférica, la cual disminuye el efecto de distorsión.



- **Índice de Condición de la vegetación - VCI:** Este índice fue sugerido por primera vez por Kogan (1995 y 1997). Esto demuestra, efectivamente, lo cerca del NDVI del mes en curso es el NDVI mínimo calculado a partir del registro a largo plazo de imágenes de teledetección. Los valores del VCI entre 40% a 100% indican condiciones óptimas o por arriba de lo normal. En los valores del VCI de 100% el valor NDVI para este mes (o semana) es igual al NDVImax. Diferentes grados de severidad de sequias son indicados por los valores VCI debajo de 40%

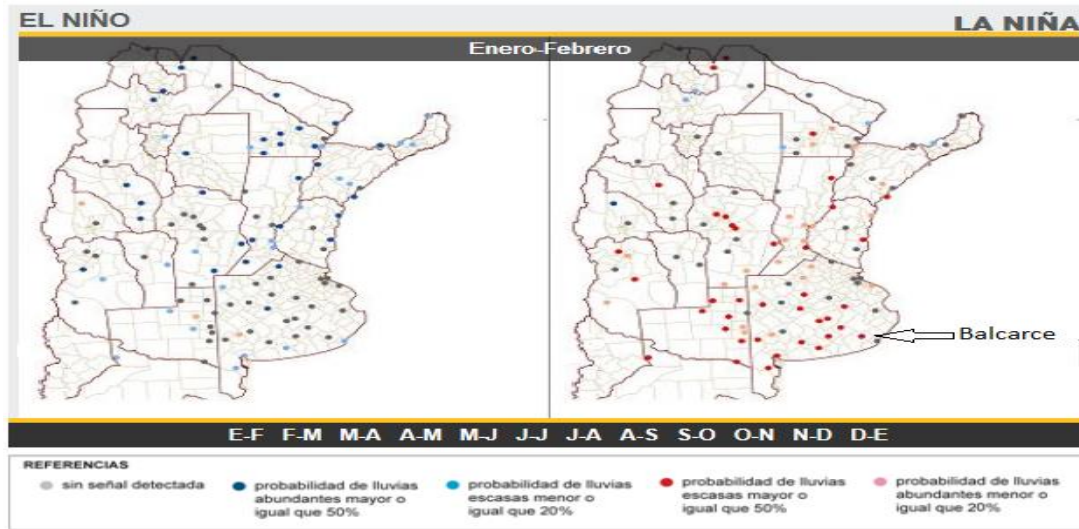
$$VCI_i = \left(\frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right) \times 100$$

CAPÍTULO III: Estudio prueba piloto en Balcarce

Capítulo III. 1 Metodología: Seguro basado en índices a través de imágenes satelitales

El seguro se diseñó con el objetivo de brindar cobertura para el maíz de primera ocupación en la zona de Balcarce, Provincia de Buenos Aires ($37^{\circ}49'00''S$ $58^{\circ}15'00''O$). Dicha zona es uno de los polos históricos del cultivo de maíz en el sudoeste de Buenos Aires representando un 30% de la superficie agrícola de la zona. La elección de este lugar se basó en la disponibilidad de información (INTA) y en el hecho que el riesgo asociado a cambios en la intensidad y frecuencia de las lluvias durante la etapa estudiada es percibido por los agricultores zonales como un problema relevante tanto hoy en día como para los próximos años. La causa del riesgo se debe al fenómeno conocido como el niño el cual consiste en un calentamiento anómalo de las aguas superficiales del Océano Pacífico Ecuatorial Central y Oriental, es decir, temperaturas de la superficie del mar superiores a las normales para la época. El fenómeno complementario, denominado "La Niña" o "El Viejo", consiste en un enfriamiento anormal de las mismas aguas generando exceso o déficit de precipitaciones dependiendo de la zona y el periodo que se evalué. En nuestro periodo estudiado en la zona de Balcarce se puede observar en la figura 1 como la niña puede influenciar en el déficit hídrico del maíz de primera ocupación según datos oficiales de la oficina de riesgo agropecuario (ORA).

Figura 1: Mapa de probabilidad de ocurrencia de escasez de lluvias del fenómeno de la niña y el niño para enero-febrero por departamentos.



Fuente: datos extraídos de la Oficina de Riesgo Agropecuarios (ORA), Ministerio de Agricultura, Ganadería y pesca.

Adicionalmente, se trata de una zona donde existe una importante demanda a tomar seguros agrícolas, preferentemente el seguro contra granizo. Pero los seguros actuales no están apuntados al pequeño y mediano productor, a los cuales su nivel económico no les permite cubrirse frente a la inmensidad de riesgos que puedan ocurrir. Frente a la ocurrencia de un siniestro, el pequeño y mediano productor no solo pierde su cosecha la cual es su futura ganancia sino también su inversión, haciéndolo vulnerable a su continuidad en el tiempo.

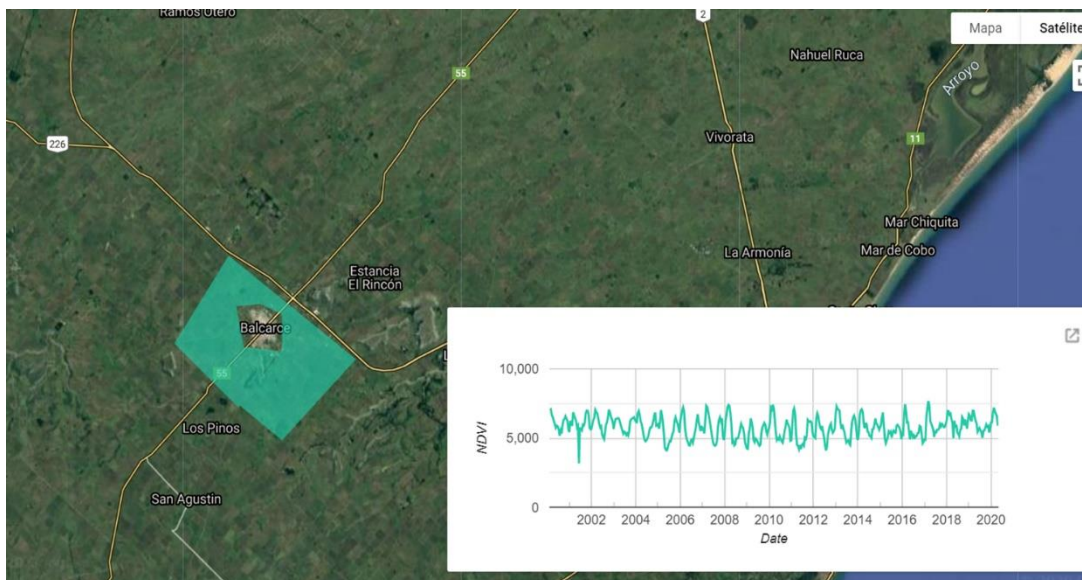
Capítulo III. 2 Diseño del seguro índice

Para el diseño de la cobertura se consideraron los siguientes parámetros.

- **Evento climático cubierto:** Déficit de lluvias.
- **Índice elegido:** Índice de Condición de la vegetación - VCI
- **Correlación entre rendimientos y el índice:** Como ya se ha mencionado es necesario que se establezca una correlación adecuada entre estas dos variables para que el seguro índice tenga sentido y permita representar de la mejor forma el riesgo al cual está expuesto al productor. En nuestra zona de trabajo y para el periodo estudiado se floración del maíz de primera, se encontró para las ultimas 23 campañas una correlación cercana al 70%, la cual puede observarse en el Anexo A.

Vale destacar que las estimaciones oficiales de rendimientos, incluyen tanto maíz de primera como de segunda ocupación; mientras que el seguro fue diseñado para cubrir déficit de lluvias de maíz de primera únicamente. Por lo tanto, pueden registrarse pérdidas rendimientos asociadas sólo a maíz de segunda que el seguro hipotético no indemnizará, y viceversa.

- NDVI de referencia:** Se emplearon datos provenientes de la herramienta Google Earth Engine, la cual combina más de cuarenta años de imágenes de satélite del planeta, tanto históricas como actuales, es una herramienta de valor incalculable y con un potencial computacional capaz de analizar y extraer información de este enorme almacén de datos. Al ser una plataforma de escala planetaria realiza análisis de datos medioambientales donde busca amplificar los conocimientos sobre las implicaciones del cambio climático, entre otros temas y es de libre acceso tanto para estudiantes como para profesionales.



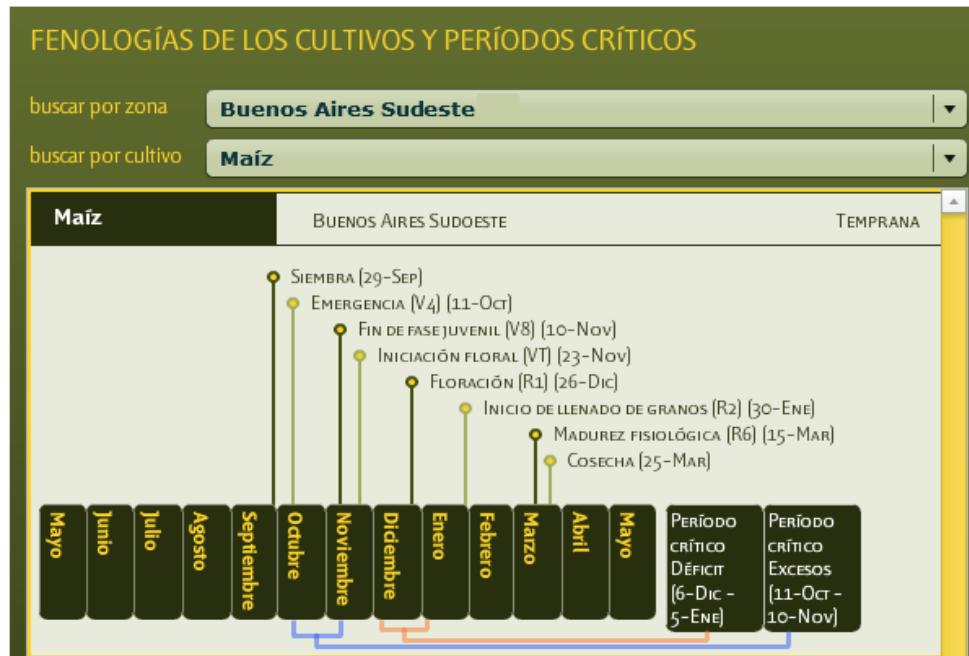
Fuente: <https://earthengine.google.com/>

El proyecto Timelapse demuestra la potencia de Earth Engine, ya que crea una vista interactiva sin nubes que muestra los cambios que ha sufrido la cubierta terrestre a nivel mundial a lo largo de treinta y dos años.

El período de cobertura propuesto – 19 de octubre al 31 de enero – se especificó a partir de la fenología elaborada por la ORA para el maíz de primera ocupación en la región Buenos Aires Sur (donde se encuentra Balcárces), considerando toda la primera etapa de desarrollo del cultivo incluyendo principalmente el período crítico de déficit de lluvias la etapa de floración (+/- 20 días) del maíz sembrados en la región. Además, el maíz a diferencia de otros cultivos como la soja no tiene una

gran plasticidad a la hora de la recuperación cuando en el periodo de emergencia y floración ocurre un déficit hídrico. Por lo tanto, cubrir dicho periodo es esencial para brindarle seguridad a los agricultores y mitigar su exposición al riesgo.

Figura 2: Fenología del maíz en la zona sur de Buenos Aires.



Fuente: datos extraídos de la Oficina de Riesgo Agropecuarios, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

- **Índice disparador (VCI_d):** Es el valor del índice VCI durante el período de cobertura (VCI/p_c) que activa el mecanismo indemnizatorio. Los valores usados se encuentran desde un rango de -0,36 VCI a 0,44 VCI- se seleccionó de manera que el seguro garantice condiciones óptimas o por arriba de lo normal para el requerimiento de agua en el ciclo del maíz de primera.
- **Índice de salida (VCI_s):** Es el valor del índice por debajo del cual se indemniza el 100% de la suma asegurada. Se seleccionó considerando el valor mínimo que debe adquirir el cultivo para su vitalidad y corresponde a un VCI_s de 0,15-

- **Suma asegurada:** Es el capital sobre el cual se calcula la indemnización. Es límite máximo de la indemnización a pagar por el asegurador en cada siniestro ocurrido.
- **Índice VCI:** compara el valor del NDVI actual con el rango de valores del NDVI de anteriores años para la misma ubicación. El VCI se expresa en porcentaje y muestra la ubicación del valor observado entre el máximo y mínimo observado en años anteriores. Valores bajos indican condiciones de sequía agrícola y valores altas condiciones óptimas de la vegetación. y se la expresa de la siguiente manera:

$$VCI_t = \left(\frac{NDVI_t - NDVI_{mín}}{NDVI_{max} - NDVI_{mín}} \right)$$



Fuente: datos extraídos del Banco Mundial.

A partir de los parámetros mencionados se determinaron retrospectivamente las campañas en las cuales el seguro hubiese indemnizado y la frecuencia de ocurrencia de los pagos, donde:

Fórmulas de cálculo:

- **Derecho a indemnización:**
 Cuando $VCI_p < VCI_d$
- **Fórmulas para el monto de la indemnización (i)**
 Si $VCI_p \geq VCI_d$ indemnización = 0% de la suma asegurada
 Si $VCI_d > VCI_p > VCI_s$ indemnización = $(VCI_d - VCI_p) / (VCI_d - VCI_s)$
 Si $VCI_p \leq VCI_s$ indemnización = 100% suma asegurada

- **Probabilidad de pago (PrP)**

$$\text{PrP} = \frac{\sum_0^n I}{\sum_0^n \text{AA}}$$

Donde (I) representa el N° de indemnizaciones

(AA) representa años analizados

- **Formula de Frecuencia de ocurrencia de las indemnizaciones (FoI)**

$$\text{FoI} = \frac{\sum_0^n \text{AA}}{\sum_0^n I}$$

Donde (AA) representa año analizado

(I) representa el N° de indemnización

Para generar las series de pérdidas de rendimientos de maíz, se procedió en primer lugar a seleccionar un rinde disparador (r_d), por debajo del cual la campaña se consideró desfavorable. Este rinde disparador se determinó teniendo en cuenta la cantidad de años en que el seguro hubiese indemnizado (probabilidad de pago), asumiéndose la misma proporción de campañas desfavorables. Por ejemplo, si la probabilidad de pago asociada al seguro fue del 20%, el rendimiento crítico se calculó considerando el rendimiento de la serie asociado al percentil 0,20. Donde, la pérdida se generó de la diferencia entre el rendimiento disparador y el rendimiento medido en cada una de las campañas (r_c):

$$\text{Rango Percentil}_x = \left[F_{t-1} + f_t \frac{x - L_t}{a} \right] \frac{100}{n} = \%$$

Donde:

F_{t-1} = frecuencia absoluta acumulada anterior, al porcentaje buscado

f_t = frecuencia absoluta simple del intervalo del porcentaje buscado

x = porcentaje buscado

a = amplitud del intervalo que contiene al porcentaje

L_t = limite inferior

n = tamaño de la muestra

- **Formula de Monto de la pérdida productiva (p)**

Si $r_c \geq r_d$ Pérdida = 0

Si $r_c < r_d$ Pérdida = $r_d - r_c$

Por otro lado, se procedió a evaluar la correspondiente existencia entre las campañas que fueron indemnizadas con respecto a aquellas que campañas donde la producción fue desfavorable, para ello se utilizaron métricas con el fin de medir este tipo de situaciones dicotómicas. Para ello, la cantidad de períodos indemnizados (no indemnizados) y de campañas agrícolas desfavorables (favorables) se organizaron en una tabla de contingencias, según ejemplo presentado en la Tabla 6.

Tabla 6. Tabla de contingencias:

	Campañas desfavorables	Campañas favorables	TOTAL
Campañas indemnizadas	Pago correcto(PC)	Pago incorrecto(PI)	Total Pagos(TP)
Campañas no indemnizadas	No pago(NP)	Correcto no pago(CNP)	Total No Pagos(TNP)
TOTAL	Campañas desfavorables	Campañas favorables	Total general (TG)

Fuente: Tabla de elaboración propia.

Donde, las FORMULAS de los indicadores calculados fueron:



- **Desempeño del seguro (Ds)**

$$Ds = \frac{\sum_0^n PC + \sum_0^n CNP}{TG}$$

Numerador = pago correcto + correcto no pago
Denominador = Total general
n= campañas analizadas.

- **Probabilidad de pago correcto (PPC) =**

$$PPC = \frac{\sum_0^n PC}{\sum_0^n PC + \sum_0^n NP}$$

Numerador = pago correcto
Denominador= pago correcto+ no pago

- **Probabilidad de pago incorrecto(PI) =**

$$PI = \frac{\sum_0^n PI}{\sum_0^n CNP + \sum_0^n PI}$$

Numerador = pago incorrecto
Denominador= correcto no pago+ pago incorrecto)

- **Sesgo (S) =**

$$S = \frac{\sum_0^n PC + \sum_0^n PI}{\sum_0^n PC + \sum_0^n NP}$$

Numerador= pago correcto+ pago incorrecto
Denominador= pago correcto+ no pago)

Capítulo III. 3 Costo de la prima comercial: Burn analyst

El costo total de un seguro se define como premio y se computa sumando a la prima comercial, la cual es el valor necesario para el pago de las indemnizaciones previstas, los gastos de producción y explotación, y la utilidad estipulada por las compañías aseguradoras, además de los impuestos y de las tasas que gravan la actividad. En este trabajo, a modo de simplificación, se calculó la prima comercial.

Para la estimación de la prima comercial se procedió a valorar a partir del promedio de la serie histórica de indemnizaciones. Otra forma de cálculo es a través de la multiplicación entre el valor medio de indemnización y la frecuencia de pagos de los años en que se registraron compensaciones.

Prima Comercial = valor medio de indemnización x probabilidad de pago

$$\text{Prima Comercial} = \frac{\sum_i X_i n_i}{I} * \frac{\sum_0^n I}{\sum_0^n AA}$$

Donde X_i = *valor de la variable indemnizacion*

n_i = *frecuenciade variable indemnizacion*

I = *representa el N° de indemnizaciones*

AA = *representa años analizados*

A continuación, se presentan los parámetros que describen la cobertura de sequía diseñada en este trabajo.

Tabla 7. Cobertura de sequía para maíz de primera ocupación en el Partido de Balcarce:

Detalle	Parámetro
Cultivo asegurado	Maíz de primera ocupación
Capital asegurado	Rendimientos (qq)
Duración del contrato	Anual
Riesgo asegurado	Déficit de lluvias
Fecha de siembra	3° semana de Octubre
Período de cobertura	19 de octubre a 31 enero
Fecha de cosecha	Última semana de abril
Índice climático	VCI
Estación soporte	Google Earth Engine
Índice disparador (VCI_d)	0,40
Índice de salida (VCI_s)	0,15

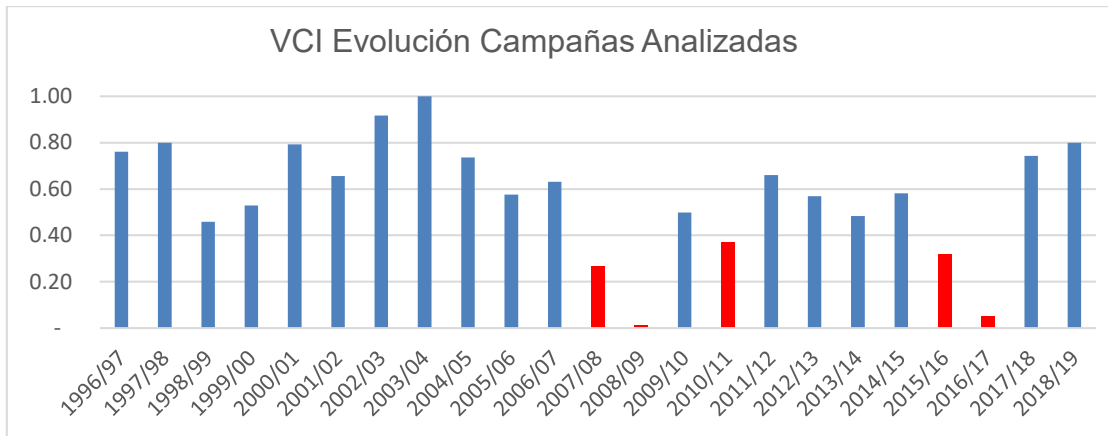
Fuente: Tabla de elaboración propia.

En el contrato, el capital a asegurar sería expresado en quintales totales de maíz, teniendo en cuenta la superficie implantada (asegurada) y un rendimiento por hectárea, que estaría limitado como máximo a la media zonal de los últimos seis años. Luego, en función del precio del maíz disponible en el momento de la suscripción se fijaría la suma asegurada en términos monetarios.

Para la suscripción del seguro tendrá plazo como mínimo un mes antes del inicio del periodo de cobertura, donde deberán presentarse el comprobante de inscripción en el Registro Nacional de productores y brindar documentación explícita que demuestre los últimos volúmenes comercializados para evitar que el seguro sea utilizado con fines meramente especulativos.

El seguro se activaría, dando derecho a indemnización, cuando el índice VCI en Balcarce durante el período de cobertura de cálculo propio, medido a través de los distintos satélites de la NASA provisto por la herramienta de Google Earth Engine, el cual es una fuente confiable y de alta credibilidad, resultasen inferiores al valor disparador ($VCI/p_c < 0,40$). Históricamente, las campañas en las cuales el seguro debería haber indemnizado se presentan en la Figura 3.

Figura 3. Comportamiento histórico del índice VCI durante el ciclo del maíz de primera ocupación en Balcarce. Eventos de déficit de lluvias indemnizables señalizados en color rojo.



Fuente: Figura de elaboración propia.

En las veintitrés campañas agrícolas analizadas (1996/97 a 2018/19) se registraron en Balcarce cinco eventos de déficit de lluvias pasibles de haber sido indemnizados a través del burn analist, dando en promedio de un pago cada cinco años aproximadamente, es decir una probabilidad de pago de 0,21. El déficit de precipitaciones más pronunciado ocurrió en la campaña 2008/2009, donde ocurrió el mínimo NVDI de la serie estudiada, es por dicho motivo que puede observarse que el VCI para ese dicha campaña es de cero, transformándose en un año desastroso para la agricultura Argentina, generando grandes caídas en los rendimientos de las cosechas donde el rendimiento en el 2008/09 de 12,72 quintales por hectárea uno de los peores de la serie. También fue muy seco el año agrícola 2016/17 donde el índice VCI alcanzo un magro 0,05. De las veinte y tres campañas analizadas se registraron duplas de dos años consecutivos de pagos en las campañas 2007/08 - 2008/09 y 2015/16 - 2016/17 respectivamente.

A partir de los comienzos de la serie a mediados de los noventas, la ocurrencia de eventos de déficit de lluvias prácticamente no fue significativa y durante esos años y hasta finales de los 2006 el seguro no hubiese indemnizado. Luego, comenzaron a registrarse otros episodios de déficit de lluvias, destacándose las campañas 2007/2008 y 2008/2009-

Durante todas las décadas estudiadas podemos observar como el seguro se hubiese disparado en diferentes formas con una distancia de cinco a seis años entre un disparado u otro (exceptuando 2007/08 - 2008/09 y 2015/16 - 2016/17). Esta distancia entre los disparos es aconsejable en el ámbito de los seguros ya que proporciona a las aseguradoras tener la estabilidad necesaria y brindar un clima armonioso en el mercado asegurador logrando eficiencia y evitando los desequilibrios que pueden conducir hacia la quiebra.

Tomando como ejemplo la campaña 2015/16, la indemnización correspondiente debería haber sido el 33% de la suma asegurada. Entonces, si un productor agrícola de esa región hubiese asegurado 100 ha de maíz a un rendimiento medio (últimos seis años) de 32 qq maíz/ha, hubiese recibido una compensación equivalente a 1056 qq maíz, o la producción de 33 ha.

Formula de indemnización para el método PP:

$$\text{Indemnización (PP)} = \left[\frac{(VCI_d - VCI_p)}{(VCI_d - VCI_s)} \right] * 100\%$$

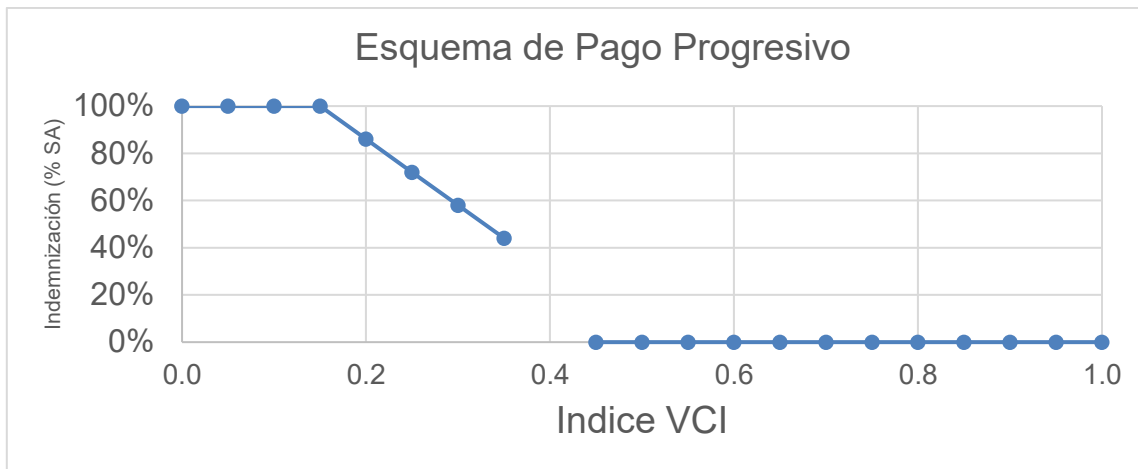
Ejemplo del método de indemnización PP:

$$\text{Indemnización (2015/16)} = \left[\frac{(0,40 VCI - 0,32 VCI)}{(0,40 VCI - 0,15 VCI)} \right] 100$$

Indemnización (2015/16) = 33% de la suma asegurada.

En la Figura 4 se presenta el valor de indemnización asociada a diferentes valores de VCI_p . Este esquema de pago será llamado en adelante de “pago progresivo” (PP), y es utilizado en Etiopía y en otros países en donde se utilizan seguros índices, con el objetivo de proteger al pequeño productor aquel que es propietario de menos de 20 ha.

Figura 4. Cobertura de sequía en maíz de primera ocupación en Balcarce. Esquema de pago progresivo (PP) para índice VCI.



Fuente: Figura de elaboración propia.

Otra alternativa a la indemnización “PP” sería pagar siguiendo un esquema “ocurrencia-intensidad” (POS). En este caso, se acordaría en el contrato un % fijo que compensaría la ocurrencia del evento ($VCI_{pc} < VCI_d$) y el porcentaje restante hasta alcanzar el 100% de la suma asegurada indemnizaría la severidad del evento. Este mecanismo podría ser más atractivo para el productor agrícola, dado que le permitiría garantizar un monto inicial de indemnización. Incluso, dicho porcentaje podría ser equivalente a los costos de implantación y protección (CIP) del cultivo de maíz en su zona. A modo de ejemplo, el CIP en Balcarce, en un planteo de siembra directa con variedades de semillas de maíz, Pulverización terrestre, Herbicidas e insecticidas, fertilizante urea y a precios vigentes en septiembre 2019, ronda los 8 qq maíz/ha, es decir el 25% del rendimiento medio zonal (32 qq maíz/ha). Entonces, el productor podría acordar una indemnización inicial del 25% de la suma asegurada por la ocurrencia del evento de déficit de lluvias, dejando el 75% restante ligado a la severidad/intensidad del mismo. Hipotéticamente, si el agricultor hubiese elegido esta opción de pago, hubiese recibido en la campaña 2015/2016 una indemnización del 49,7 % de la suma asegurada, respecto del 33% calculado con el esquema progresivo.

Formula de Indemnización por método POS:



- *Indemnización por ocurrencia (IO) = $VCI_c < VCI_d = 30\%$ de la suma asegurada*
- *Indemnización por severidad (IS) = $(VCI_d - VCI_p) \times \frac{75\%}{(mmd - mms)}$*
- *Indemnización por ocurrencia-severidad = IO + IS*

Ejemplo de la campaña 2015/16

- ✓ Indemnización por ocurrencia (2015/16) = 0,32 VCI < 0,40 VCI = 25% de la suma asegurada
- ✓ Indemnización por severidad (2015/16) = $(0,40VCI - 0,32VCI) \times [75\% / (0,40VCI - 0,15VCI)]$

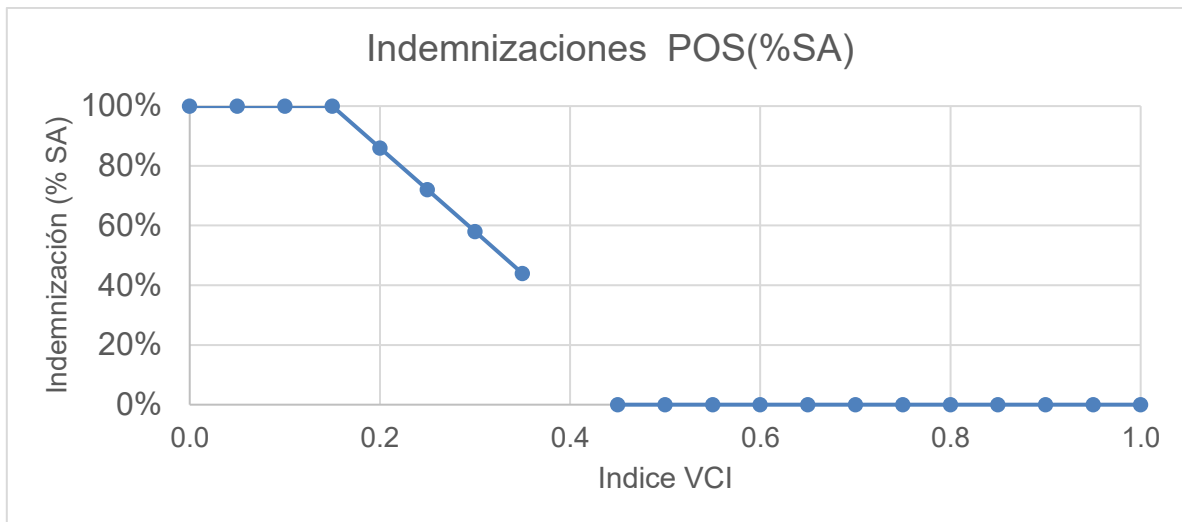
Indemnización por severidad (2015/16) = 47,8% de la suma asegurada

- ✓ Indemnización “ocurrencia-severidad” (2015/16) = 25% + 24,7%

Indemnización “ocurrencia-severidad” (2015/16) = 49,7% de la suma asegurada.

En la Figura 5 se señalan los valores de indemnización asociados a diferentes niveles del índice VCI en el período de cobertura, calculados con el esquema “ocurrencia-severidad”. Al igual que en la opción de pago “progresivo”, corresponde una indemnización del 100% de la suma asegurada cuando $VCI_p \leq 0,15 VCI_d$.

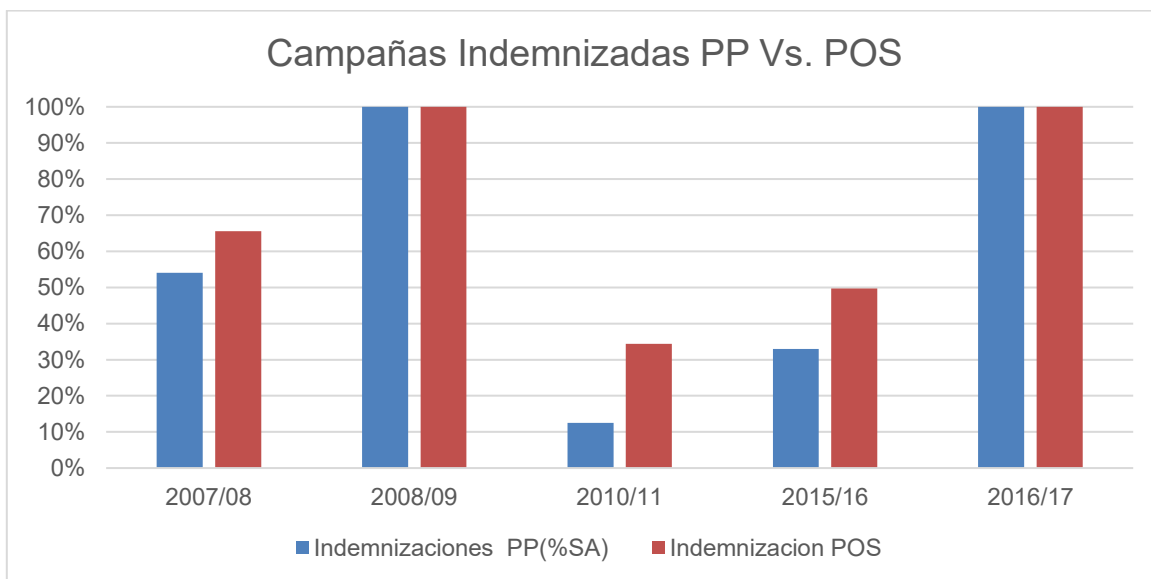
Figura 5. Cobertura de sequía en maíz de primera ocupación. Esquema de pago ocurrencia-intensidad para índice VCI.



Fuente: Figura de elaboración propia.

A continuación, se presentan los valores de indemnización PP y POS de las cinco campañas agrícolas pasibles de haber sido compensadas en Balcarce, entre 2007/08– 2016/17.

Figura 6. Indemnizaciones históricas en Balcarce, asociadas a un seguro hipotético basado en índice de lluvias contra sequía en maíz de primera ocupación.



Fuente: Figura de elaboración propia.



Las indemnizaciones PP de las campañas 2015/16 y sobre todo la del 2010/11 hubiesen sido en términos monetarios casi despreciables para el productor agrícola, con valores de 12% y 33% de la suma asegurada, respectivamente. Este tipo de situaciones, pueden generar malestar y reclamos, causando el desincentivo de los productores hacia este tipo de seguros en las sucesivas campañas dado que no cubrirían los costos elementales. Es por ellos, que los pequeños campesinos (que son uno de los objetivos de nuestra investigación) les sería sumamente dificultoso desde el punto de vista económico sucesivas campañas o incluso la quiebra sería una gran posibilidad en estos casos. Bajo este supuesto, el mecanismo de indemnización POS sería más conveniente ya que le daría los recursos necesarios al agricultor para sembrar en las siguientes campañas.

Mientras, el costo del seguro se encuentra asociado a las indemnizaciones que se prevén pagar, ocurre que una cobertura con PP sería económicamente más accesible impulsando su comercialización, pero a lo largo de las sucesivas campañas iría perdiendo confianza ya que es probable que algunas sumas aseguradas que pague sean despreciables.

Otro factor importante a tener en cuenta que podría incentivar o desincentivar el propósito de contratar un seguro es la periodicidad de pago de las indemnizaciones. En decir, pagos muy periódicos, como sería el caso a menores a dos años, derivarían en una cobertura elevada y por lo tanto financieramente inaccesible para el mediano y pequeño productor. En el otro extremo, pagos pocos periódicos, por ejemplo, una vez cada diez años, inclinaría a no generar un producto atractivo para el agricultor dado que no recibiría la utilidad de transferir el riesgo de déficit de lluvias a terceros. En este último caso, se podría incrementar el índice disparador (VCI_d) para aumentar la frecuencia de pago, pero sin desatender que el objetivo del seguro es paliar una situación “real” de déficit de lluvias que afecta al cultivo en la etapa de floración, evitando contratos diseñados sólo con fines comerciales o especulativos.

Las grandes incógnitas que se derivan la hora del diseño de una cobertura basada en índices –con respecto a la probabilidad y frecuencia de pago, al disparador más adecuado, etc.- contemplan la respuesta en los mismos agricultores. Al respecto se



indica que la participación de los agricultores es clave para lograr el éxito de las coberturas basadas en índices, además de una clara comunicación sobre sus alcances, ventajas y desventajas. Adicionalmente, resulta imprescindible conocer la demanda potencial y la disposición a pagar por este tipo de productos, que podrían ser estimadas mediante valoración contingente, como lo realizado en Galetto (2011). Es recomendable para el éxito del seguro índice con imágenes satelitales que a la hora de su comercialización sean utilizados canales ya establecidos y conocidos por los agricultores (ejemplo el caso de Etiopia), es decir realizar un convenio con las principales empresas proveedoras de fertilizantes o semillas y ofrecer el seguro índice en un paquete con junto de esta forma si el agricultor ve asociado al seguro con un insumo que ya conoce desde hace años le genera mayor confianza. A su vez utilizando estos canales ya establecidos se logra abaratar los costos de comercialización, pudiendo generar que el premio sea más accesible aun para los agricultores.

Para finalizar, se presenta el precio mínimo que tendría el seguro propuesto en caso de ser comercializado. Se trata de un valor mínimo porque sólo se midió la prima pura sin considerar los gastos de administración y el costo de capital que deben afrontar las compañías aseguradoras para ofrecer coberturas en el mercado real. Los resultados se sintetizan en la Tabla 2. En primer lugar, se indica distintos tipos de índices disparadores, luego el número de campañas analizadas y la cantidad de indemnizaciones que ocurrieron para cada índice disparador en particular en el periodo analizado. Posteriormente, los parámetros asociados a la cobertura y al desempeño del seguro referidos a frecuencia de pago, sesgo indemnización máxima; y finalmente la prima pura asociada a cada esquema de cálculo de la indemnización (PP y POS).

Tabla 8. Seguro de sequía en el período de floración de maíz de primera ocupación en Balcarce. Prima pura asociada a diferentes escenarios de VCI para el modelo PP:

BALCARCE MAIZ SIEMBRA TEMPRANA (PP)	Índice disparador VCI				
Índice disparador (VCI)	0.4	0.38	0.36	0.34	0.32
Rinde disparador (qq/ha)	25	25	19	19	19
Nro. de campañas analizadas	23	23	23	23	23
Nro. de indemnizaciones	5	5	4	4	4
Probabilidad de pagos	22%	22%	17%	17%	17%
Desempeño del seguro	91%	91%	91%	91%	91%
Sesgo: Indemniz/Desfavorable	100%	100%	100%	100%	100%
Probabilidad del pago correcto	80%	80%	75%	75%	75%
Probabilidad del pago incorrecto	6%	6%	5%	5%	5%
Promedio de indemnización (%SA)	60%	56%	66%	63%	58%
Indemnización máxima (%SA)	100%	100%	100%	100%	100%
Prima Pura (% SA)	13.0%	12.3%	11.5%	10.9%	10.2%

Fuente: tabla de elaboración propia.

Tabla 9. Seguro de sequía en el período de floración de maíz de primera ocupación en Balcarce. Prima pura asociada a diferentes escenarios de VCI para el modelo POS:

BALCARCE MAIZ SIEMBRA TEMPRANA(POS)	Índice disparador VCI				
Índice disparador (mm)	0.4	0.38	0.36	0.34	0.32
Rinde disparador (qq/ha)	25	25	19	19	19
Nro. de campañas analizadas	23	23	23	23	23
Nro. de indemnizaciones	5	5	4	4	4
Probabilidad de pagos	22%	22%	17%	17%	17%
Desempeño del seguro	91%	91%	91%	91%	91%
Sesgo: Indemniz/Desfavorable	100%	100%	100%	100%	100%
Probabilidad del pago correcto	80%	80%	75%	75%	75%
Probabilidad del pago incorrecto	6%	6%	5%	5%	5%
Promedio de indemnización (%SA)	70%	67%	75%	72%	69%
Indemnización máxima (%SA)	100%	100%	100%	100%	100%
Prima Pura (% SA)	15.2%	14.6%	13.0%	12.5%	12.0%

Fuente: tabla de elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

La prueba piloto nos permite demostrar que los seguros basados en índices satelitales son una opción eficiente y con una prima más económicas a la de los productos tradicionales lo cual permitirá lograr la incorporación en el acceso al pequeño y mediano productor al mundo del mercado asegurador.

Lo que se puede observar es el rango de prima pura para cada uno de los modelos planteados en la ciudad de Balcarce donde para el modelo PP ronda entre el 10% al 13%, mientras que para el modelo POS es entre el 12% al 15% dependiendo cual sea el índice disparador elegido, los cuales son sumamente inferior al de los seguros tradicionales que rondan el 20% de la suma asegurada.

Vale destacar que el desempeño del seguro fue de un 91%, con una indemnización promedio por encima del 60% y donde la probabilidad de pago incorrecto se encuentra por debajo del 6%, lo cual a través del tiempo generaría un lazo de confianza con los productores.

Ahora bien, no solo estos productos son más económicos sino también que permiten jugar con flexibilidad ya que el productor elige cuan adverso o amante al riesgo es y base a dicho análisis dependerá que índice disparador elegir y que prima pagar.

Estos productos basados en índices satelitales tienen la gran ventaja y facilidad que permiten armar distintos tipos de índices, no solo para sequia como es nuestra prueba piloto, sino para otro tipo de riesgos lo cual permite armar un abanico de opciones a elegir al productor dependiendo cual sea el momento y el riesgo a mitigar.

A su vez, al manejarse por satélites permiten lograr un pricing segmentado a cada productor en forma individual en base a la historia de su campo, en nuestro trabajo se contempló toda el área de Balcarce con el objetivo de simplificar el cálculo y la

explicación, pero es factible realizar este mismo de análisis a nivel micro por campo con el objetivo de eliminar en forma contundente el riesgo base y tener un pricing justo para cada uno de los clientes.

ANEXOS

A) Correlación entre periodo de floración (19 de octubre al 31 de enero) y los rendimientos.

Una vez obtenidos los rendimientos qq/ha en las campañas estudiadas se procede con dichos valores reales a realizar una estimación lineal(EL) de los mismos, la cual se encarga de devolver estadísticas que describen una tendencia lineal que coincide con puntos de datos conocidos, mediante una línea recta a través del método de mínimos cuadrados.

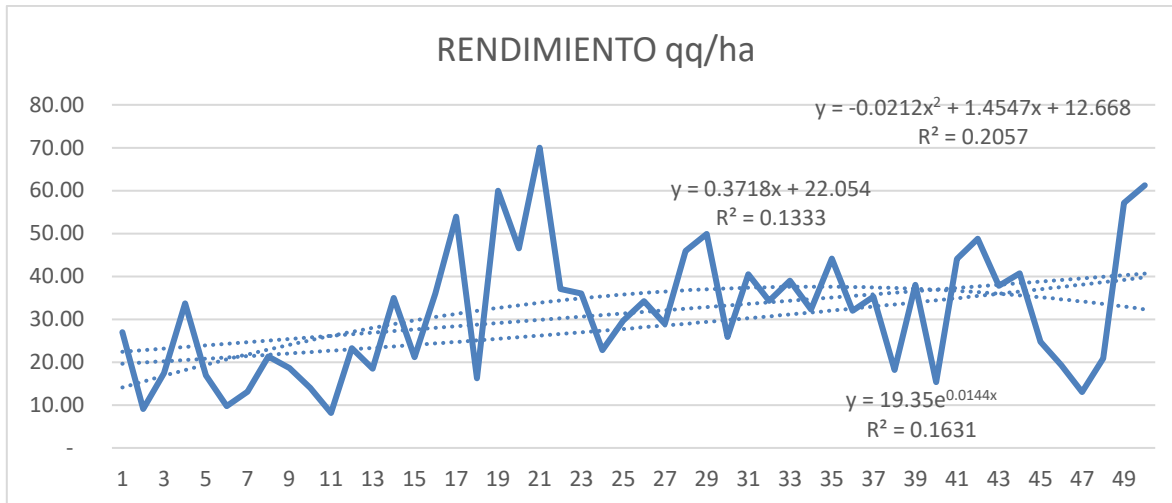
La precisión de la línea calculada por la función estimación lineal dependerá del grado de dispersión de los datos. Si solo tiene una variable x independiente, los cálculos para m y b se basan en las fórmulas siguientes:

$$m = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2}$$

$$b = \bar{y} - m\bar{x}$$

A su vez se busca aproximar por otro mecanismo los rendimientos qq/ha reales es decir por una estimación logarítmica(ELog), la cual en dicho caso nos va a devolver estadísticas que describen una curva exponencial, coincidente con los datos conocidos es decir con nuestros datos reales del rendimiento (qq/ha).

La curva logarítmica $y = a \ln x + b$ es también una recta, pero en lugar de estar referida a las variables originales X e Y, está referida a $\ln(x)$ y a Y



Fuente: Figura de elaboración propia.

En la hilera siguiente nos concentraremos en obtener una esperanza (E) de los últimos 5 años de los rendimientos (qq/ha) reales. Para su cálculo se utilizará la función Promedio de Excel.

$$\text{Esperanza de los últimos 5 años} = \frac{\sum_{i=1}^5 X_i}{5}$$

Se calcula la tendencia como un promedio de los datos obtenidos tanto en la estimación lineal, la estimación logarítmica y el promedio de los últimos años.

$$\text{Tendencia} = \frac{EL + ELog + E}{3}$$

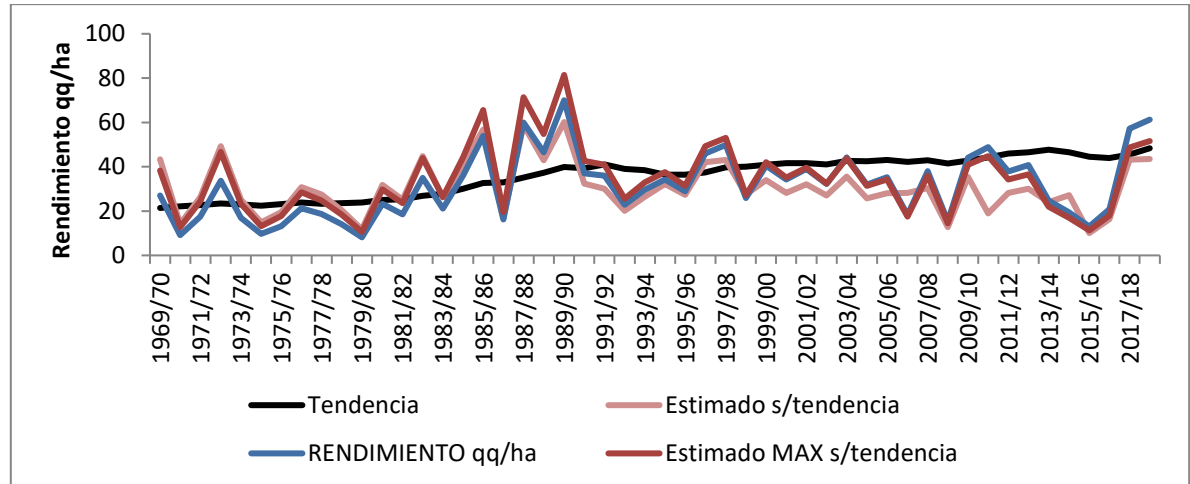
Luego, se determina el desvío el cual surge de la comparación entre el rendimiento real (qq/ha) y la tendencia obtenido con anterioridad.

$$\text{Desvió (D)} = \frac{RR - T}{T}$$

Donde RR = Rendimientos Reales

T= Tendencia

Con los últimos datos calculados somos capaces de poder calcular la estimación de los rendimientos (qq/ha) sin ser afectados por la tendencia y este rendimiento será el que buscaremos correlacionar al déficit de precipitaciones planteado en el trabajo.



Fuente: figura de elaboración propia.

Finalmente, y una vez obtenidos los rendimientos (qq/ha) estimados sin tendencia se procede a buscar la regularidad del proceso, es decir una correlación lo suficiente considerable que justifique la realización de un seguro para la zona estudiada. Para ellos se utiliza el formula de correlación de Pearson:

En el caso de que se esté estudiando dos variables aleatorias x e y sobre una población; el coeficiente de correlación de Pearson se simboliza con la letra $\rho_{x,y}$, siendo la expresión que nos permite calcularlo:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y},$$

Donde:

- σ_{XY} es la covarianza de (X, Y)
- σ_X es la desviación típica de la variable X
- σ_Y es la desviación típica de la variable Y

De manera análoga podemos calcular este coeficiente sobre un estadístico muestral, denotado como r_{xy} :

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{n s_x s_y} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

Dicho análisis de correlación entre el índice VCI en el periodo de cobertura (19 de octubre al 31 de enero) etapas donde el maíz se encuentra muy sensible al déficit hídrico y los rendimientos (qq/ha) estimados sin tendencia arrojan un valor cercano al 70% de correlación, lo cual nos indica la cercana relación entre dichas variables y la regularidad del proceso y nos permite la justificación de la realización de un seguro en la zona.

CAMPAÑA	RDTO (qq/ha)	VCI-Diciembre	
1996/97	42.03	0.76	0.76
1997/98	43.06	0.80	0.80
1998/99	27.47	0.46	0.46
1999/00	34.03	0.53	0.53
2000/01	28.24	0.79	0.79
2001/02	32.15	0.66	0.66
2002/03	27.07	0.92	0.92
2003/04	35.54	1.00	1.00
2004/05	25.78	0.74	0.74
2005/06	28.09	0.58	0.58
2006/07	28.16	0.63	0.63
2007/08	30.35	0.26	0.26
2008/09	12.72	-	0.00
2009/10	35.35	0.50	0.50
2010/11	18.88	0.37	0.37
2011/12	28.25	0.66	0.66
2012/13	30.01	0.57	0.57
2013/14	24.04	0.48	0.48
2014/15	27.13	0.58	0.58
2015/16	10.06	0.32	0.32
2016/17	16.34	0.05	0.05
2017/18	43.17	0.74	0.74
2018/19	43.49	0.80	0.80

LINEAL	VCI-Diciembre
1 Coef. Tendencia	0.0193
2 Error Std.	0.0043
3 R ²	48.7088%
4 F	19.9427
5 SSReg	0.6792
1 Constante	0.0116
2 Error Std. cte	0.1316
3 Std Dev Y	0.1845
4 gl residuo	21.0000
5 SSResid	0.7152
Correlación	69.7917%

Fuente: cuadros de elaboración propia.



Bibliografía

- I. (2010). En B. J. O., *Assessment of climate information needs in the Argentinean Agro-business Sector*.
- II. Agroasemex. (2006). *Agroasemex*. Obtenido de <http://www.agroasemex.gob.mx>
- III. agropecuario, O. d. (s.f.). *ORA*. Obtenido de www.ora.gov.ar
- IV. Alvarez, C. y. (2015). Manejo sustentable de sistemas agrícolas en la región central de Córdoba: una experiencia de largo plazo en INTA. En R. d. Agropecuarias.
- V. Calvo, M. (2015). *Matemática en Wall Street: la fórmula de Black-Scholes*.
- VI. Castro, M. (2009). *Managing weather risk with rainfall option*. Buenos Aires.
- VII. Conicet. (2017). *Análisis multitemporal y multiespacial del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)*.
- VIII. David Ortega Gaucin, O. R. (2019). *Monitoreo y alerta temprana de sequía en la agricultura: Evaluación del sistema del índice de estrés agrícola de la FAO*.
- IX. Dercon, H. y. (2008). *The Impact of Agricultural Extension and Roads on Poverty and Consumption Growth in Fifteen Ethiopian Villages*.
- X. España, M. d. (2013). *Asistencia técnica, investigación y desarrollo tecnológico en materia de competencia de la dirección general del agua*. Madrid.
- XI. FIDA. (2016). *el potencial para la ampliación y sostenibilidad de los seguros basados en índices climáticos*.
- XII. Gaitán J., B. D. (2015). *Tendencia del NDVI en el período 2000-2014 como indicador de la degradación de tierras en Argentina: ventajas y limitaciones*.
- XIII. Hall A.J., R. C. (1992). *Field crops systems of the Pampas*.
- XIV. Henry Jiménez Guanipa, J. T. (2017). *Cambio climático, energía y derechos humanos*. Barranquilla.



- XV. James S. Gerber, G. K. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature*.
- XVI. Jorge Luis Millano, J. P. (2014). *Veriabilidad de la vegetación con el índice de diferencia normalizada (NVDI) en Latinoamérica*.
- XVII. José, A. (2002). Estrés hídrico en soja. *IDIA XXI N*3*, 48-51.
- XVIII. Martin S, B. .. (2001). Developing and Pricing Precipitation Insurance. 261-274.
- XIX. Montecinos, d. y. (2000). *Seasonal diagnostics and predictability of rainfall in subtropical South America bases on tropical Pacific SST*.
- XX. Mundial, B. (2011). *Weather index insurance for agriculture: Guidance for development practitioners*.
- XXI. O., B. P. (s.f.). *A primer on weather derivatives*. London: London School of Economics.
- XXII. Occhiuzzi, s. (2017). Acciones de Gestión Integral de Riesgos. *Revista Estrategas*, 26-34.
- XXIII. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (2016). *Protocolo para el Proceso de Calibración*.
- XXIV. Osorio, H. R. (2016). *Análisis de factibilidad técnica para la implementación de seguros indexados contra las amenazas de sequía e inundación para cultivos de arroz y maíz en Paraná*.
- XXV. Part, A. C. (2016). *Seguros Paramétricos aplicados al sector agrícola en la región del Mercosur*.
- XXVI. Sánchez, L. y. (2015). *Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe: Una revisión general*.