Actualización y ajuste de la información obtenida en el Estudio de Factibilidad del Seguro Agrícola Catastrófico para el cultivo de maíz blanco tradicional en los departamentos de Antioquia y Tolima

CONTRATO 95-2019

Producto 6: Informe con los resultados de la simulación por pérdidas modeladas para los dos semestres productivos del cultivo de maíz blanco

Preparado para:

FINAGRO
Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario

Diciembre de 2020

Firma consultora

Colombia
INGENIAR CAD/CAE Ltda.
Carrera 19A # 84-14 OF 504
Edificio Torrenova
Tel. 57-1-691-6113
Fax 57-1-691-6102
Bogotá, D.C.
www.ingeniar-risk.com

Equipo de trabajo

Dirección y Coordinación de Grupos de Trabajo Técnico

Omar Darío Cardona A.
Dirección General del Proyecto

Gabriel Andrés Bernal G.
Dirección científica INGENIAR

Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo

Héctor Mauricio Yepes Casanova
Especialista en proyectos productivos

Gladys Cardona Cortés
Especialista Agroecología

Claudia Villegas
Especialista INGENIAR

Diana González
Especialista INGENIAR

Sthefania Grajales
Especialista INGENIAR

Paula Marulanda
Especialista INGENIAR

John Fredy Molina
Especialista INGENIAR

David Rincón
Especialista INGENIAR

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 1

1.1 OBJETIVOS 1

2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL RIESGO CATASTRÓFICO 3

2.1 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE RIESGO 3
2.1.1 Curva de excedencia de pérdidas 5
2.2 MÉTRICAS DE RIESGO 7
2.2.1 La pérdida anual esperada (PAE) 8
2.2.2 La pérdida máxima probable (PML) 8
2.2.3 La probabilidad de quiebra (P_Q) 8
2.2.4 Otras métricas del riesgo 8
2.3 IMPACTO DE LOS DESASTRES EN EL SECTOR AGRÍCOLA 9
2.3.1 Daños vs. pérdidas 10
2.4 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS 11
2.4.1 Pérdida máxima probable (PML) 11
2.4.2 Probabilidad de quiebra (P_Q) 12
2.4.3 Probabilidad de excedencia de pérdidas en un año 12
2.4.4 Probabilidad de excedencia de pérdidas en el próximo evento 13
2.4.5 Pérdida anual esperada (PAE) 14

3 RIESGO CATASTRÓFICO PARA EL PORTAFOLIO DE MAÍZ BLANCO DE ANTIOQUIA Y TOLIMA 15

3.1 CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO 15
3.1.1 Umbral de rendimiento 15
3.1.2 Avalúo 16
3.1.3 Resultados por portafolio 16
3.1.4 Totalización por ciclo 26
3.1.5 Totalización por departamento 30
3.1.6 Portafolio total 32
3.2 PROTECCIÓN CATASTRÓFICA 34
3.2.1 Rendimiento protegido 34
3.2.2 Reclamaciones 36
3.2.3 Esquema de seguro 37
3.2.4 Valoración del seguro 38

4 PILOTO DE PÉRDIDAS MODELADAS 56

4.1 INFORMACIÓN CLIMÁTICA 56
4.1.1 ERA5 Copernicus 57
4.2 MODELO DE CÁLCULO 58
4.2.1 Drought Pro 58
4.2.2 Pronósticos estacionales 59
4.3 EJEMPLO DE PÉRDIDAS MODELADAS 61

5 ABREVIACIONES 64

6 REFERENCIAS 65

A. 1 SERIES DE PÉRDIDA EN PRODUCCIÓN 66

A. 1.1 ANTIOQUIA 66
A. 1.2 TOLIMA 69

A. 1.3 TODOS LOS PORTAFOLIOS 73
A. 2 UBICACIÓN DE ESTACIONES CLIMÁTICAS PARA LA MODELACIÓN 74
A. 3 TUTORIAL DE DESCARGA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA DE ERA5 COPERNICUS 75

1 Introducción

El presente proyecto considera la evaluación de riesgo para cultivos de maíz blanco en los departamentos de Antioquia y Tolima expuestos a riesgos de tipo hidrometeorológico. Para cada departamento se evalúa el riesgo de desastres de manera cuantitativa en términos de la reducción del rendimiento de la cosecha de maíz blanco, que incluye las estimaciones de pérdidas máximas probables y pérdidas promedio anuales. El desarrollo de este proyecto se basará en el enfoque metodológico indicado en los términos de referencia y complementariamente usando una metodología de análisis de riesgo probabilista que utiliza como herramienta principal la plataforma CAPRA ROBOT desarrollada por el equipo consultor en el marco de una iniciativa o estrategia regional para fortalecer y consolidar un proceso técnico-científico, idóneo, versátil y efectivo de evaluación del riesgo para el sector agropecuario con fines de avanzar en el conocimiento y la toma de decisiones.

En resumen, el proyecto "*Actualización y ajuste de la información obtenida en el estudio de factibilidad del seguro agrícola catastrófico*" se divide en seis actividades principales a desarrollar en un plazo de 12 meses. Las actividades son:

- Actividad 1. Determinar el número de productores objeto del esquema del seguro agrícola catastrófico en Antioquia y Tolima
- Actividades 2 y 3. Identificación de áreas establecidas de maíz blanco tradicional en Antioquia y Tolima, para los dos semestres productivos; e Identificación de fechas de siembra y cosecha de maíz blanco tradicional en Antioquia y Tolima, para los dos semestres productivos
- Actividad 4. Actualización de la información meteorológica en Antioquia y Tolima
- Actividad 5. Actualización de los rendimientos sintéticos obtenidos en el estudio de factibilidad para Antioquia y Tolima, para los dos semestres productivos
- Actividad 6. Piloto de evaluación de pérdidas modeladas para un aviso de siniestro hipotético. [1]

1.1 Objetivos

El objetivo principal del proyecto es actualizar y ajustar la información obtenida en el estudio de factibilidad del seguro agrícola catastrófico para el cultivo de maíz blanco tradicional en los departamentos de Antioquia y Tolima.

[1]El objeto de esta actividad cambió con respecto al contrato original, como se encuentra consignado en el Otrosí número UNO al contrato de consultoría No. 95 de 2019 celebrado entre el Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario - FINAGRO e INGENIAR CAD/CAE Limitada.

La consultoría se enfoca en la actualización de la información por medio de:

i) Estimación de número de productores objeto del esquema del seguro agrícola catastrófico en los dos departamentos seleccionados
ii) La identificación de las áreas establecidas de maíz blanco tradicional en cada uno de los departamentos seleccionados para los dos semestres productivos, así como las fechas más probables de siembra y cosecha
iii) La información meteorológica de los departamentos seleccionados
iv) Los rendimientos sintéticos a partir de la información disponible para los dos departamentos
v) Un piloto de evaluación de pérdidas modeladas simulando un evento real de aviso de siniestro en los dos departamentos

Este informe contiene los resultados de la Actividad 6 *Piloto de evaluación de pérdidas modeladas para un aviso de siniestro hipotético.* En la primera parte se hace un resumen de la metodología de evaluación del riesgo catastrófico y las métricas probabilistas del riesgo. En la segunda sección se presentan los resultados de pérdidas en producción para todos los portafolios considerados, así como la valoración de diversas configuraciones de seguro agrícola catastrófico. Finalmente, se presenta un piloto de pérdidas modeladas como ejemplo al tipo de resultados que se obtienen siguiendo este enfoque de forma alternativa a un proceso de ajuste en campo.

2 Metodología de evaluación del riesgo catastrófico

La evaluación del riesgo catastrófico por fenómenos hidrometeorológicos en el portafolio de maíz blanco de Antioquia y Tolima se realizó siguiendo la metodología de análisis probabilista que tiene como objetivo estimar la distribución de probabilidad de la pérdida que puede presentarse en un conjunto de elementos expuestos, tras la ocurrencia de un fenómeno natural. La modelación probabilista permite entonces realizar pronósticos sobre los niveles futuros de pérdida, considerando la amenaza propia de la región de estudio y la incertidumbre en su estimación, así como la vulnerabilidad inherente de los elementos expuestos y su incertidumbre.

2.1 Procedimiento para el cálculo de riesgo

A partir de las simulaciones de rendimientos presentadas en el Producto 5 de esta consultoría, se establecen las pérdidas en producción causadas por los fenómenos hidrometeorológicos asociados al clima simulado. El criterio específico para la determinación de las pérdidas se presenta en la Sección 3 de este informe para el portafolio de Maíz Blanco de Antioquia y Tolima. En esta sección, se presenta el enfoque metodológico para la cuantificación del riesgo catastrófico y sus métricas probabilistas.

El riesgo catastrófico se expresa por medio de la Curva de Excedencia de Pérdidas, las cual indica la tasa de excedencia $\nu(p)$ de cualquier monto de pérdida p. La tasa de excedencia determina el numero de veces que en promedio se supera la pérdida p en un año. La ocurrencia de pérdidas causadas por fenómenos poco frecuentes, como las amenazas naturales, siguen un proceso estocástico de Poisson, cuyo parámetro es precisamente la tasa de excedencia de la pérdida. Es por esto que la caracterización del riesgo catastrófico se centra en determinar la curva de excedencia de pérdidas.

Considérese una siniestralidad como la presentada en la Figura 2-1. Al establecer una pérdida económica p, se puede identificar en la gráfica todos los eventos cuyas pérdidas exceden p. Los tiempos entre eventos $(T_1, T_2, \dots, T_{1n})$ también se estiman a partir de la Figura 2-1 y se usan para estimar el parámetro λ de una distribución exponencial, la cual corresponde a la distribución de probabilidad del tiempo entre eventos de un proceso de Poisson. Además, este parámetro de la distribución exponencial tiene la particularidad de ser el mismo λ que define el proceso de Poisson completamente (i.e. es la misma tasa de excedencia, $\lambda = \nu(p)$). Para el caso de la evaluación prospectiva del riesgo catastrófico, la ventana de tiempo considerada para calcular λ es igual al número de simulaciones estocásticas de las series climáticas, y en este caso es de 1,000 años equivalentes.

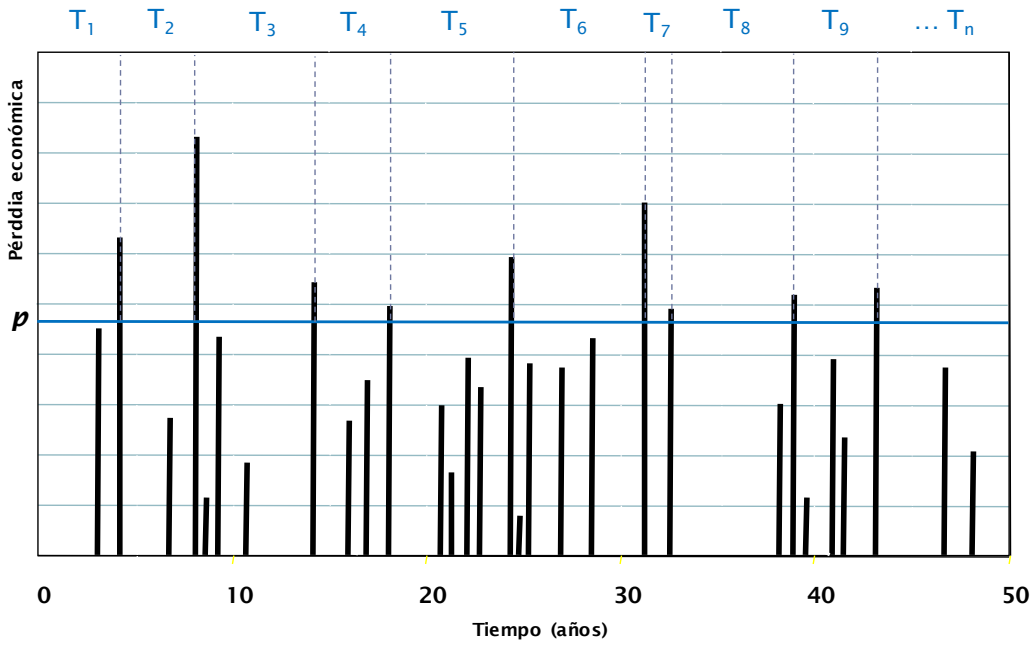


Figura 2-1. Pérdidas por evento en una ventana amplia de tiempo

La tasa de excedencia poblacional (λ) es estimada mediante la tasa de excedencia muestral (Λ) de la siguiente manera (Bernal et.al. 2021):

$$\Lambda = \frac{n-1}{\sum_{i=1}^{n} T_i} \qquad 2\text{-}1$$

En donde *n* es el número de eventos que superan la pérdida p y T_i son los tiempos observados. Este estimador cumple con los cuatro criterios estadísticos de calidad de la estimación de parámetros de distribuciones de probabilidad: es no sesgado, de varianza mínima, consistente y suficiente. Ahora bien, es posible demostrar que el estimador Λ sigue una distribución de probabilidad *Gamma inversa* con parámetros *n* y (*n*-1)λ, a partir de lo cual se puede determinar su coeficiente de variación (CV) como:

$$\mathrm{CV} = \frac{1}{\sqrt{n-2}} \qquad 2\text{-}2$$

El coeficiente de variación indica la relación entre la desviación estándar y la media de una variable aleatoria. Como se indica en la Ecuación 2-2, CV disminuye a medida que el número de datos (*n*) aumenta. La Ecuación 2-2 es una fórmula estándar, aplicable a cualquier problema de estimación del riesgo por eventos, en donde el CV de la tasa de excedencia varía con el tamaño de la muestra cómo se indica en la Figura 2-2.

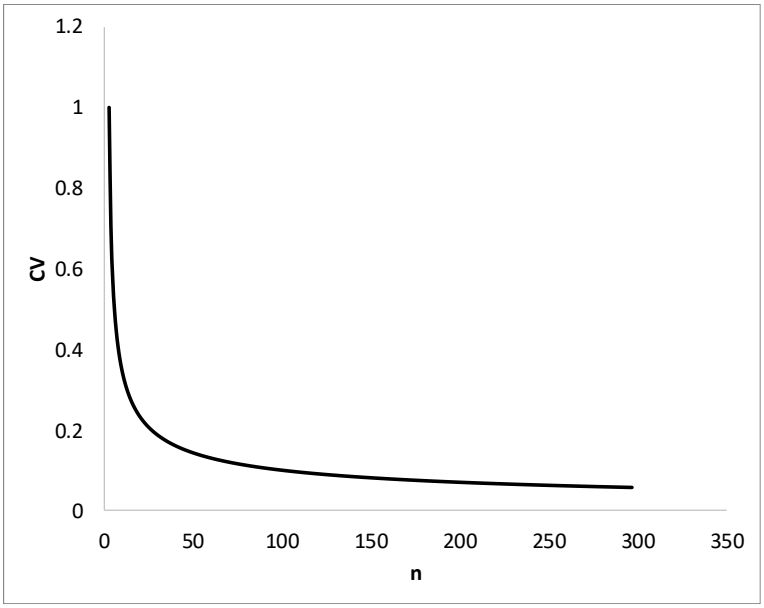


Figura 2-2. Variación del coeficiente de variación de la tasa de excedencia con el tamaño de la muestra.

El CV crece rápidamente a medida que *n* disminuye. Esto quiere decir que, al estimar la tasa de excedencia de pérdidas grandes (eventos catastróficos) a partir de pocos eventos modelados, para los cuales se contará con un valor pequeño de *n* (es decir, pocos eventos que exceden esa pérdida dentro del conjunto de escenarios climáticos), la dispersión de la estimación (i.e. su desviación estándar) es muy grande en comparación a la estimación misma, lo cual implica una mayor incertidumbre. Por el contrario, al estimar la tasa de excedencia de pérdidas con un mayor número de eventos modelados, *n* será necesariamente un número más grande y, en consecuencia, la dispersión de la tasa disminuye a valores incluso despreciables en la práctica. Esto es por lo que, para que el resultado sea estadísticamente suficiente se debe hacer uso de un gran número de años simulados dentro de los cuales se pueda identificar un número considerable de eventos naturales peligrosos.

2.1.1 Curva de excedencia de pérdidas

Como se mencionó, el riesgo se define por medio de la curva de excedencia de pérdidas (ver Figura 2-3), la cual establece el número de veces en un año en las que un valor de pérdida se verá excedido. Esta cantidad se conoce como la *tasa anual de excedencia*, la cual es un valor único y específico para cada cuantía de pérdida, e incorpora el aporte de todos los posibles escenarios de sequía contenidos en la evaluación de la amenaza. Como se mencionó anteriormente, la tasa de excedencia es igual al parámetro λ que define la ocurrencia en el tiempo de los eventos de pérdida, es decir:

$$\nu(p) = \frac{n_p - 1}{\sum_{i=1}^{n_p} T_i} \qquad 2\text{-}3$$

en donde p es la pérdida económica, $v(p)$ es su tasa anual de excedencia, n_p es el número total de eventos en los cuales se supera p y T_i es el tiempo i entre eventos que superan p. El periodo de retorno $Tr(p)$ se calcula como el inverso de la tasa de excedencia $v(p)$.

$$Tr = \frac{1}{v(p)} \qquad 2\text{-}4$$

El periodo de retorno es el valor esperado del tiempo entre eventos. Es decir, corresponde al periodo de tiempo promedio para el cual, considerando una ventana temporal de observación suficientemente amplia, se verá igualada o excedida una pérdida dada, y se muestra en el eje vertical de la derecha de la curva ejemplo mostrada en la Figura 2-3.

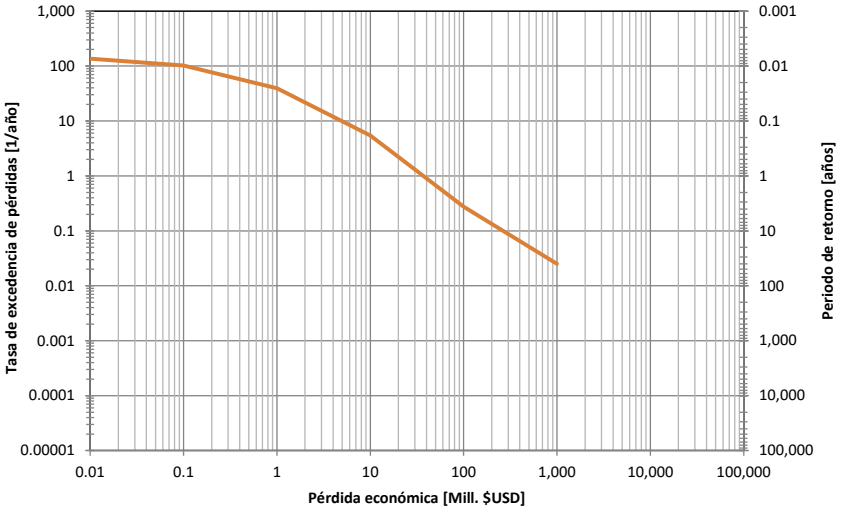


Figura 2-3. Ejemplo de curva de excedencia de pérdidas. El eje vertical muestra la tasa de excedencia (izquierda) y su valor inverso o periodo de retorno (derecha). El eje horizontal muestra la pérdida asociada.

El cálculo de la Ecuación 2-3 corresponde a la estimación de la tasa de excedencia de las cuantías de pérdida que ocurren en todos los activos expuestos (unidades de tierra cultivada) para todos los eventos potencialmente nocivos incluidos en el modelo de amenaza (el conjunto de escenarios estocásticos de clima regional previamente simulados). La pérdida para un escenario se determina mediante la suma de las pérdidas causadas en las unidades individuales cultivadas.

Para la evaluación del riesgo agroclimático, la pérdida p en la Ecuación 2-3 se debe a la reducción en los ingresos de producción (lucro cesante) de cultivos debido a la reducción en el rendimiento de cada unidad de tierra cultivada, en donde se conocen el tipo de suelo, tipo de cultivo, su estacionalidad y su valor económico de reposición. La pérdida económica en una unidad cultivada, para un escenario específico, se calcula como:

$$P_i = A \cdot PV \cdot (Y_x - Y_i) \qquad 2\text{-}5$$

en donde P_i es la pérdida económica para el escenario i, A es el área de la unidad de tierra cultivada, PV es la valoración económica del cultivo, Y_x es el rendimiento máximo (calculado bajo condiciones óptimas) y Y_i es el rendimiento para el escenario i.

Como se muestra en la Figura 2-4, la evaluación probabilista del riesgo agroclimático se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Para cada evento climático, se determina la pérdida en todas y cada una de las unidades cultivadas, considerando tipo de suelo, tipo de cultivo, estacionalidad y fase fenológica.
2. Se calcula la pérdida causada por todo el evento como la suma de las pérdidas individuales causadas en las unidades cultivadas.
3. Una vez se conocen las pérdidas de todos los escenarios climáticos, se calculan las tasas de excedencia según la Ecuación 2-3.

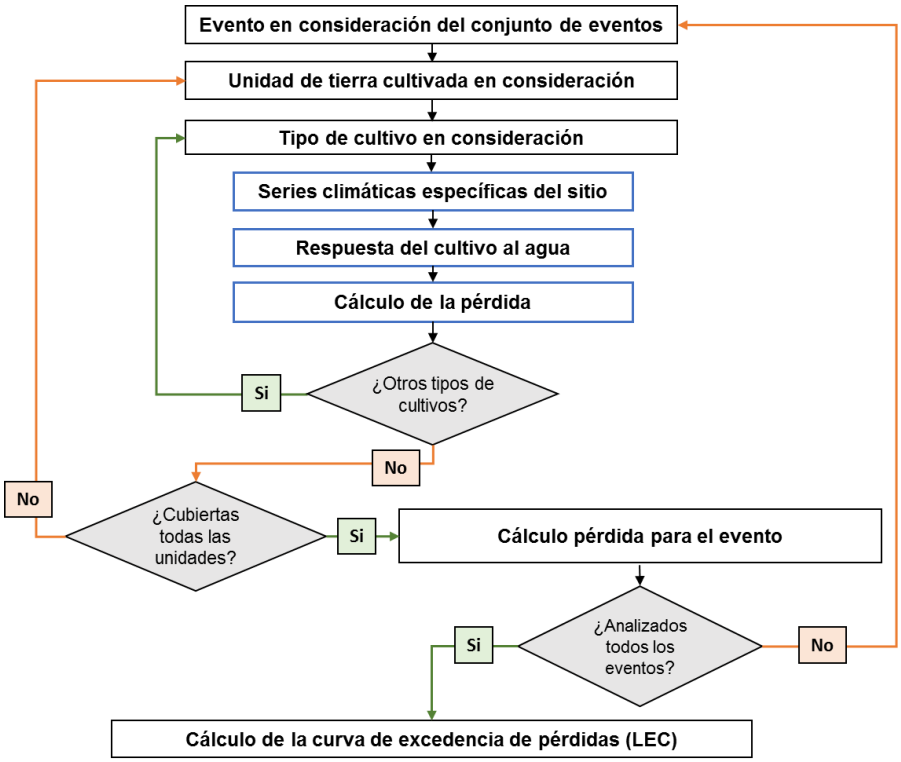


Figura 2-4. Diagrama de flujo para la metodología de evaluación de riesgo agroclimático

2.2 Métricas de riesgo

A partir de la curva de excedencia de pérdidas es posible obtener diversas métricas del riesgo, las cuales son útiles para diferentes fines dentro de la toma de decisiones y la gestión del riesgo. Estas métricas pretenden proporcionar una representación integral del riesgo, por lo general condensada en uno o unos pocos números, en lugar de proporcionar todo el conjunto de las pérdidas por escenarios o la curva de excedencia de pérdidas completa.

2.2.1 La pérdida anual esperada (PAE)

La PAE corresponde al valor esperado de la pérdida anual. Indica el valor anual que debe pagarse para compensar, en el largo plazo, todas las pérdidas futuras. En un esquema simple de seguro, la PAE sería la prima pura anual justa. Se calcula a partir del conjunto de eventos como:

$$PAE = \frac{\sum_{i=1}^{N} p_i}{T} \qquad 2\text{-}6$$

Es decir, se trata del valor esperado de las pérdidas anuales. La PAE se puede obtener también como el área bajo la curva de excelencia de pérdidas. La pérdida anual esperada es un indicador importante dado que integra en un único valor el efecto, en términos de pérdida, de la ocurrencia de los escenarios de amenaza sobre los elementos expuestos vulnerables. Se considera como el indicador más robusto de riesgo, no solo por su capacidad de resumir el proceso de generación de pérdidas en un solo número, sino por ser relativamente insensible a la incertidumbre.

2.2.2 La pérdida máxima probable (PML)

Se denota PML por sus siglas en inglés (Probable Maximum Loss). Corresponde a una pérdida que ocurre poco frecuentemente, es decir, que está asociada a un periodo de retorno grande. Como se indicó anteriormente, el periodo de retorno es el inverso de la tasa de excedencia de pérdidas. En realidad, la PML es una curva que relaciona las pérdidas a su correspondiente periodo de retorno. No obstante, es práctica común definir la PML como un único valor. La selección del periodo de retorno de la PML depende exclusivamente de la aversión al riego del tomador de decisiones. Por ejemplo, en la industria aseguradora el periodo de retorno de la PML se toma usualmente entre 200 y 1500 años.

2.2.3 La probabilidad de quiebra (P_Q)

Dado que el proceso de ocurrencia de las pérdidas en el tiempo sigue un proceso de Poisson, es posible determinar la probabilidad de alcanzar o exceder un nivel de pérdida especìfico, en un periodo de exposición particular,

$$\Pr(P > p) = 1 - e^{-\nu(p)\cdot T} \qquad 2\text{-}7$$

en donde $\Pr(P>p)_T$ es la probabilidad de excedencia de la pérdida p, en el lapso de tiempo T (dado en años). Si la pérdida p corresponde a la PML, entonces el término $\Pr(P>p)_T$ se conoce como la *probabilidad de quiebra* (P_Q), la cual no es más que la probabilidad de exceder la PML en un lapso de tiempo T.

2.2.4 Otras métricas del riesgo

Como se mencionó anteriormente, la curva de excedencia de pérdidas contiene toda la información necesaria para caracterizar de manera rigurosa la ocurrencia de pérdidas. Es posible

determinar directamente de $\nu(p)$ otras métricas del riesgo que pueden ser relevantes para la toma de decisiones. Acá se presentan algunos ejemplos.

La función de densidad de probabilidad de la pérdida durante el próximo evento, o un evento tomado al azar, se obtiene como,

$$f(p) = -\frac{1}{\nu(0)} \cdot \frac{d\nu(p)}{dp} \qquad 2\text{-}8$$

La probabilidad de exceder un nivel de pérdida particular tras la ocurrencia del próximo evento, o un evento tomado al azar, se puede calcular como,

$$\Pr(P > p) = \frac{\nu(p)}{\nu(0)} \qquad 2\text{-}9$$

La función de densidad de probabilidad del tiempo hasta la ocurrencia del próximo evento (*t*) es exponencial y se define como,

$$f(t) = \nu(p) \cdot e^{-\nu(p)\cdot t} \qquad 2\text{-}10$$

El número de eventos (*N*) que ocurrirán en un tiempo *T*, que igualan o exceden la pérdida *p*, se distribuye Poisson, por lo cual la probabilidad que ese número sea igual a *n* es,

$$\Pr(N = n) = \frac{\nu(p) \cdot T \cdot e^{-\nu(p)\cdot T}}{n!} \qquad 2\text{-}11$$

2.3 Impacto de los desastres en el sector agrícola

La agricultura es particularmente vulnerable a los desastres asociados a amenazas naturales, por su alta dependencia en las condiciones climáticas. Los desastres impactan al sector agrícola más allá del corto plazo, en especial los desastres asociados a eventos de sequía cuya fecha de inicio, duración y fecha de resolución no son fácilmente determinables. Los efectos de los desastres en la agricultura son principalmente pérdidas en las cosechas y destrucción de su infraestructura, como los invernaderos o sistemas de riego.

Con esto en mente, esta evaluación se enmarca en lo planteado por la metodología de *Evaluación de impactos de desastres y crisis en la agricultura y la seguridad alimentaria* propuesta por la FAO (2017) disponible para consulta en http://www.fao.org/3/I8656EN/i8656en.pdf. Esta metodología está enfocada en la implementación de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, y junto con la Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres (UNDRR) buscan dar respuesta a la necesidad de un indicador global de pérdida económica en la agricultura causado por desastres. Esta metodología busca atender el

Objetivo de Desarrollo Sostenible 1.5[2]: Fomentar la resiliencia de las personas que se encuentran en situaciones de vulnerabilidad y reducir su exposición y vulnerabilidad a fenómenos extremos relacionados con el clima; así como el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030[3] *Meta C-2*: Reducir las pérdidas económicas directas ocasionadas por los desastres en el sector agrícola.

2.3.1 Daños vs. pérdidas

En términos generales, la cuantificación del impacto de los desastres en el sector agrícola hace una diferencia importante entre los conceptos de daño y pérdida:

- Daño: es la destrucción parcial o total de los activos físicos e infraestructura en áreas afectadas por desastres. Se expresa en términos de los costos de reemplazo o reparación. En el sector agrícola, el daño incluye impactos a cultivos permanentes, maquinaria, sistemas de irrigación, refugios de ganado, entre otros.
- Pérdida: se refiere a los cambios en los flujos económicos derivados de un desastre. En el sector agrícola, las pérdidas se asocian a la disminución de ingresos asociados a reducción del rendimiento de la cosecha. También se puede considerar el momento después de ocurrido el desastre en el que el incremento de los costos de los insumos, mayores costos operacionales, gastos más altos en imprevistos significan menores ganancias de la actividad agrícola general.

La Figura 2-5 muestra la diferencia que hace la FAO en términos de daño y pérdida para la producción y los activos en el sector agrícola. En cuanto a la producción, el daño corresponde a los impactos de los desastres a insumos y producción almacenada, así como impactos en cultivos permanentes; mientras que, para la pérdida, los impactos se ven reflejados en la variación de los ingresos al productor asociado con disminuciones en los rendimientos de la cosecha. Por otro lado, para los activos los daños están asociados a impactos en maquinaria, equipo y herramienta y no se consideran pérdidas, al no asociar cambios en flujos económicos a los activos. La medición se hace a partir de avalúos y costos de reparación/reemplazo estimados en condiciones anteriores al evento y diferencias en ingresos percibidos entre cosecha óptima y cosecha en condición de desastre. La metodología también puede incluir los costos temporales que deben incurrir los productores para mantener las actividades agrícolas durante o luego de la ocurrencia de un desastre.

[2] Para más información sobre la Agenda 2030 y los ODS, visitar: http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html
[3] Para más información sobre el marco de Sendai, visitar: https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf

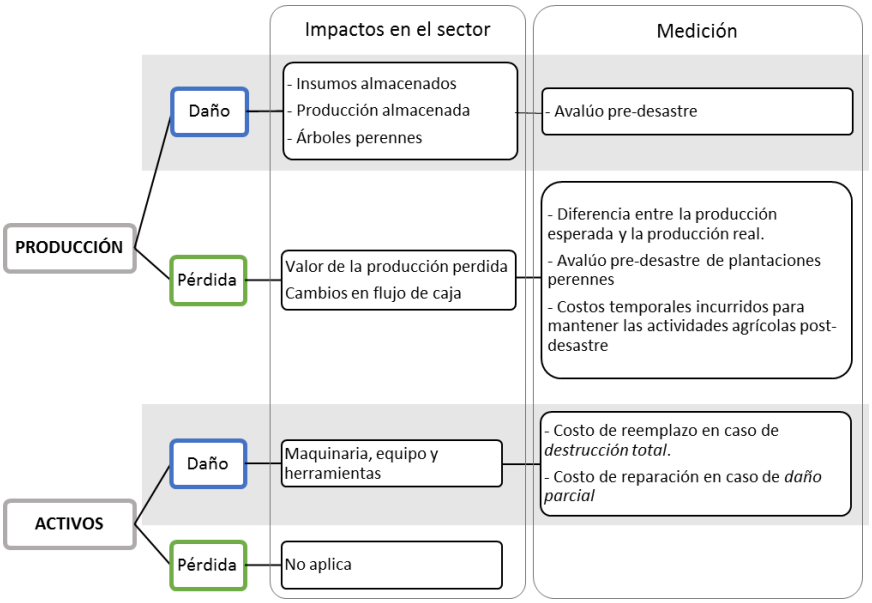


Figura 2-5. Diferencias entre pérdidas y daños en el sector agrícola (Elaboración propia a partir de FAO, 2017)

2.4 Interpretación de los resultados

A continuación, se hace una breve explicación de la correcta interpretación y lectura de los resultados obtenidos en la evaluación del riesgo catastrófico.

2.4.1 Pérdida máxima probable (PML)

El principal resultado de la evaluación del riesgo es la curva de excedencia de pérdidas. No obstante, es preferible presentar como resultado la curva de PML, debido a que en general es más claro entender el significado del periodo de retorno de un valor de pérdida de, por ejemplo, 200 años, al de una tasa de excedencia correspondiente de 0.005 (esto dado que el periodo de retorno es el inverso de la tasa de excedencia). La curva de excedencia de pérdidas y la curva de PML son equivalentes en la información contenida.

De la curva de PML se pueden definir valores de pérdida para periodos de retorno arbitrarios. La selección del periodo de retorno de la PML depende exclusivamente de la aversión al riego del tomador de decisiones. La Figura 2-6 muestra un ejemplo de una curva de PML, en donde, a partir de un período de retorno seleccionado en el eje horizontal, que en este ejemplo es de 400 años, se puede determinar el valor de la pérdida en el eje vertical, lo que indica que esta pérdida se superará en promedio cada 400 años.

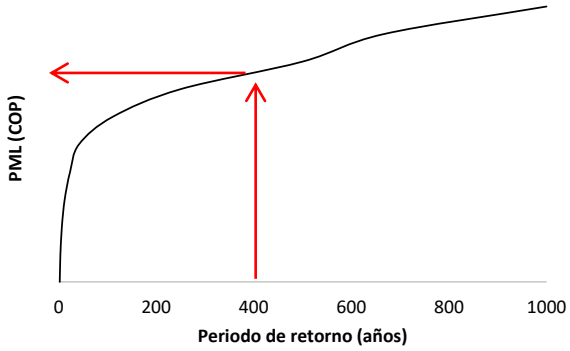


Figura 2-6. Ejemplo de curva de PML

2.4.2 Probabilidad de quiebra (P_Q)

La probabilidad de quiebra no es más que la probabilidad de exceder un nivel de pérdida dado en un tiempo establecido. Se deriva directamente del proceso de Poisson y permite asociar el tiempo de exposición, que no es más que el tiempo en el que se espera hacer uso del activo en riesgo, en el cálculo de la probabilidad de exceder pérdidas de cualquier monto. Es común presentar un juego de curvas de P_Q, definidas para diferentes periodos de exposición. Al seleccionar un monto de pérdida en el eje horizontal, se determina del gráfico la probabilidad que dicho monto se supere por lo menos una vez en el tiempo de exposición de la curva correspondiente.

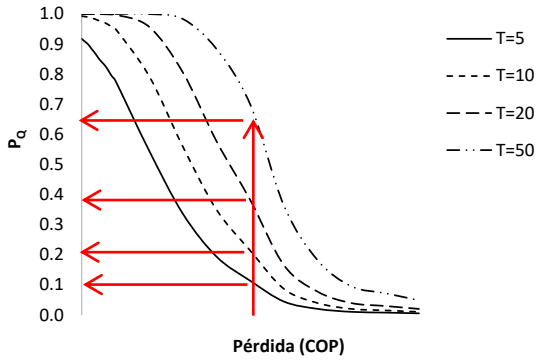


Figura 2-7. Ejemplo de curvas de P_Q

2.4.3 Probabilidad de excedencia de pérdidas en un año

Esta curva indica cuál es la probabilidad de exceder un cierto valor de pérdida en un año. Considerando que cultivos como el maíz blanco típicamente tienen una ventana de exposición de un año, al ser cultivos transitorios que se reemplazan anualmente, esta curva indica la probabilidad de superar un cierto nivel de pérdida en el próximo año. Se trata esencialmente de P_Q calculada para un tiempo de exposición de un año.

La Figura 2-8 muestra un ejemplo de probabilidad de excedencia del valor de la pérdida en el año inmediatamente siguiente, en donde a partir de un valor de pérdida seleccionado en el eje horizontal, se puede determinar la probabilidad de que ese valor sea superado en el próximo año reportada en el eje vertical.

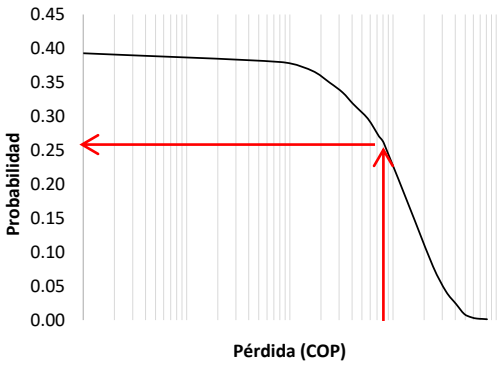


Figura 2-8. Ejemplo de curva de probabilidad de excedencia de pérdidas en un año

2.4.4 Probabilidad de excedencia de pérdidas en el próximo evento

Esta curva indica cuál es la probabilidad de exceder un cierto valor de pérdida tras la ocurrencia del próximo evento climático, o de un evento cualquiera tomado al azar. Es diferente a la curva anterior, que indica la probabilidad de superar una cierta pérdida el siguiente año, porque esta curva no considera el tiempo entre eventos amenazantes. Por el contrario, determina la probabilidad de que las pérdidas asociadas a un evento superen un cierto valor, considerando como si el evento ya hubiera ocurrido.

La Figura 2-9 presenta un ejemplo de probabilidad de excedencia del valor de la pérdida en el siguiente evento climático, en donde a partir de un valor de pérdida seleccionado en el eje horizontal, se puede determinar la probabilidad de que ese valor se supere en el próximo evento climático, sin importar dentro de cuánto tiempo ocurra

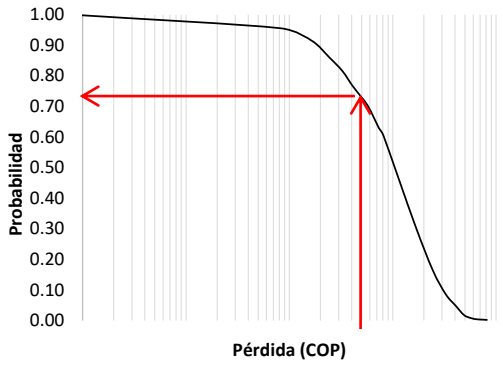


Figura 2-9. Ejemplo de curva de probabilidad de excedencia de pérdida en el próximo evento

2.4.5 Pérdida anual esperada (PAE)

Como ya se mencionó, la PAE se considera como el indicador más robusto de riesgo debido a que determina la esperanza matemática de las pérdidas en una base anual y es insensible a la incertidumbre. Este valor representa la también llamada prima pura de riesgo en esquemas de seguro y es la anualización de todas las pérdidas que se tendrán a futuro, y por lo tanto equivaldría al valor que se tendría que pagar cada año para compensarlas.

3 Riesgo catastrófico para el portafolio de Maíz Blanco de Antioquia y Tolima

A partir de los rendimientos simulados presentados en el *Producto 5: Rendimientos sintéticos actualizados para Antioquia y Tolima, para los dos semestres productivos* de esta consultoría, se determinan series de siniestralidad asociadas a pérdidas en producción en los portafolios analizados. De dichas series, se determina la curva de excedencia de pérdidas y todas las métricas descritas anteriormente.

Como se indicó en el *Producto 5*, se calcularon 8 portafolios que corresponden a las combinaciones de Departamento – Ciclo – Tipo de productor, como se muestra en la Tabla 3-1. Para cada portafolio se

Tabla 3-1. Portafolios de maíz blanco calculados.

Portafolio	Departamento	Ciclo	Tamaño UPAs	Sistema productivo	Número de CLUs
1	Antioquia	A	<20	Tradicional	161
2			>20	Tradicional	4
3		B	<20	Tradicional	2865
4			>20	Tradicional	98
5	Tolima	A	<20	Tradicional	530
6			>20	Tecnificado	25
7		B	<20	Tradicional	1761
8			>20	Tecnificado	125

3.1 Cuantificación del riesgo

Para la cuantificación del riesgo, se requiere transformar las series de rendimientos previamente calculadas (ver *Producto 5*), en series de pérdida. Esto implica la definición de un umbral de rendimiento para el cálculo de la producción perdida, y una avaluó de dicha producción.

3.1.1 Umbral de rendimiento

En esta cuantificación se definió arbitrariamente como umbral el percentil 50, es decir, que todos los rendimientos simulados menores al promedio total de las simulaciones implican una pérdida en producción. Si el rendimiento supera el percentil 50, la pérdida es cero. Si bien esta es una decisión arbitraria, más adelante se evalúa su efecto como parte de la cuantificación del seguro. La Figura 3-1 presenta las pérdidas en producción para el portafolio de Antioquia Ciclo B de menores de 20 ha. Cabe anotar que:

$$P = A \cdot Y \qquad 3\text{-}1$$

En donde *P* es la producción total del portafolio, *A* es el área cultivada y *Y* el rendimiento. En el Anexo 1 se presentan las series de producción y pérdida para la totalidad de portafolios considerados.

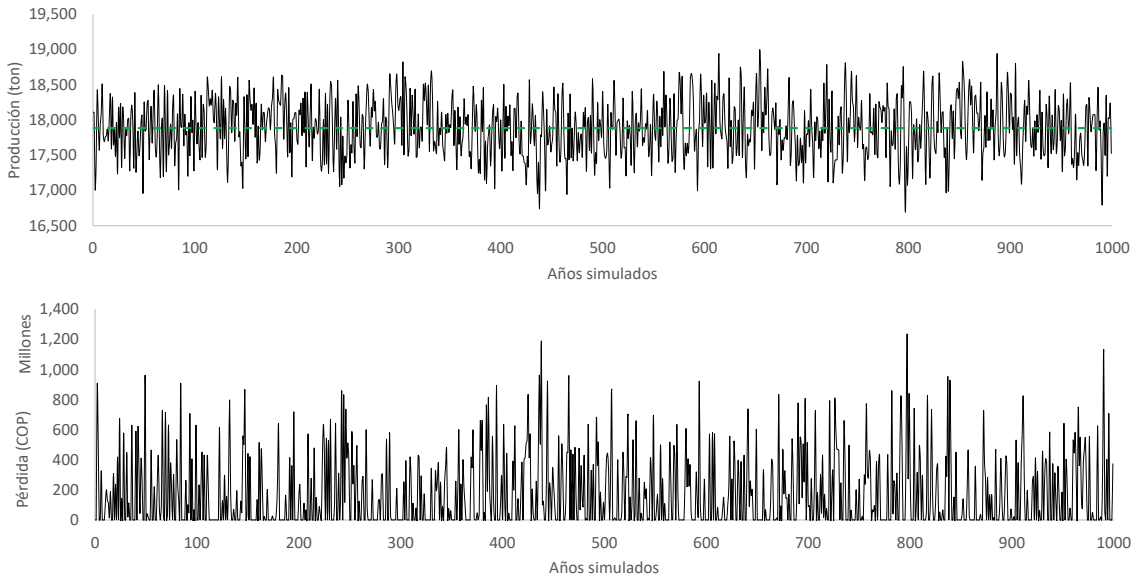


Figura 3-1. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Antioquia Ciclo B de menores de 20 ha.

3.1.2 Avalúo

La cuantificación de los montos de pérdida requiere convertir la producción en pérdida económica. Dado que existe una gran diversidad de costos en la cadena agropecuaria, asociados a las actividades de almacenamiento, transporte, procesamiento, comercialización, entre otras, no es posible valorar la producción en base a los precios al consumidor final. Se requiere de una métrica que permita cuantificar la pérdida al productor sin los costos asociados a intermediarios u otros actores. Por esta razón se trabaja con *precios al productor*, que se definen como el valor pagado en puerta de finca. La Tabla 3-2 muestra los valores empleados en este estudio y la fuente de donde se obtuvo la información. En ambos casos, los valores corresponden al año 2018, reportados en 2019. Para Antioquia, el avalúo se asumió igual al valor de maíz tradicional reportado en el Anuario Estadístico del Sector Agropecuario de Antioquia.

Tabla 3-2. Precios al productor en Antioquia y Tolima.

Departamento	$/Ton	Fuente
Antioquia	1,036,800	Gobernación de Antioquia, 2019
Tolima	896,400	FENALCE, 2019

3.1.3 Resultados por portafolio

A partir de las series de pérdida en producción (ver Anexo 1), es posible cuantificar la curva de excedencia de pérdidas y otras métricas probabilistas del riesgo. La Tabla 3-3 presenta el resumen de las principales métricas calculadas para la totalidad de portafolios. En particular, se presentan la PAE y la PML de 1000 años de periodo de retorno, tanto en unidades monetarias absolutas, como relativas al valor de la producción expuesta correspondiente.

Tabla 3-3. PAE y PML de 1000 años de periodo de retorno para los portafolios calculados

Portafolio	Área	Producción expuesta	PAE		PML 1000 años	
	(ha)	(COP millones)	(COP millones)	(%)	(COP millones)	(%)
ANTIOQUIA						
Antioquia A mayor	203	$339	$19	5.7%	$110	32.5%
Antioquia A menor	634	$1,427	$22	1.5%	$248	17.4%
Antioquia B mayor	8,609	$17,381	$238	1.4%	$2,239	12.9%
Antioquia B menor	9,450	$18,542	$171	0.9%	$1,235	6.7%
TOLIMA						
Tolima A mayor	1,869	$9,290	$38	0.4%	$954	10.3%
Tolima A menor	5,844	$13,427	$220	1.6%	$2,627	19.6%
Tolima B mayor	7,852	$40,614	$212	0.5%	$3,803	9.4%
Tolima B menor	13,461	$30,356	$487	1.6%	$5,844	19.3%

Con un total de 19,896 ha cultivadas en ambos ciclos, Antioquia acumula una producción anual expuesta del alrededor de COP $37,000 millones. Su producción valuada es alrededor de un tercio de la de Tolima, que acumula más de COP $93,000 millones con tan solo 29,025 ha cultivadas. Esta diferencia en producción se debe a los mayores rendimientos registrados en Tolima por la no despreciable producción con sistema tecnificado. Las Figuras 3-2 a 3-9 muestran los resultados de la evaluación del riesgo catastrófico. Se presentan, por cada portafolio:

- Producción expuesta
- PAE absoluta (en unidades monetarias) y relativa (con respecto a la producción expuesta)
- Curva de PML
- Curvas de PQ
- Curva de probabilidad de excedencia de la pérdida en el próximo año
- Curva de probabilidad de excedencia de la pérdida en el próximo evento

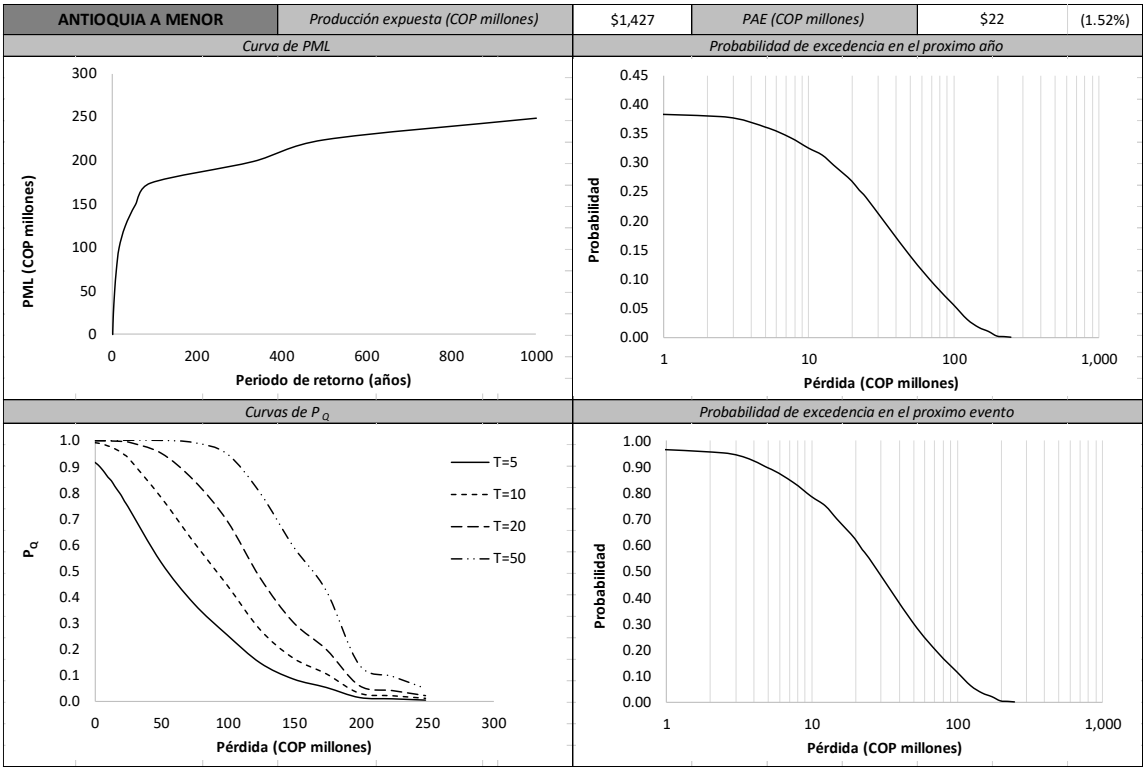


Figura 3-2. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio de Antioquia Ciclo A menores de 20 ha

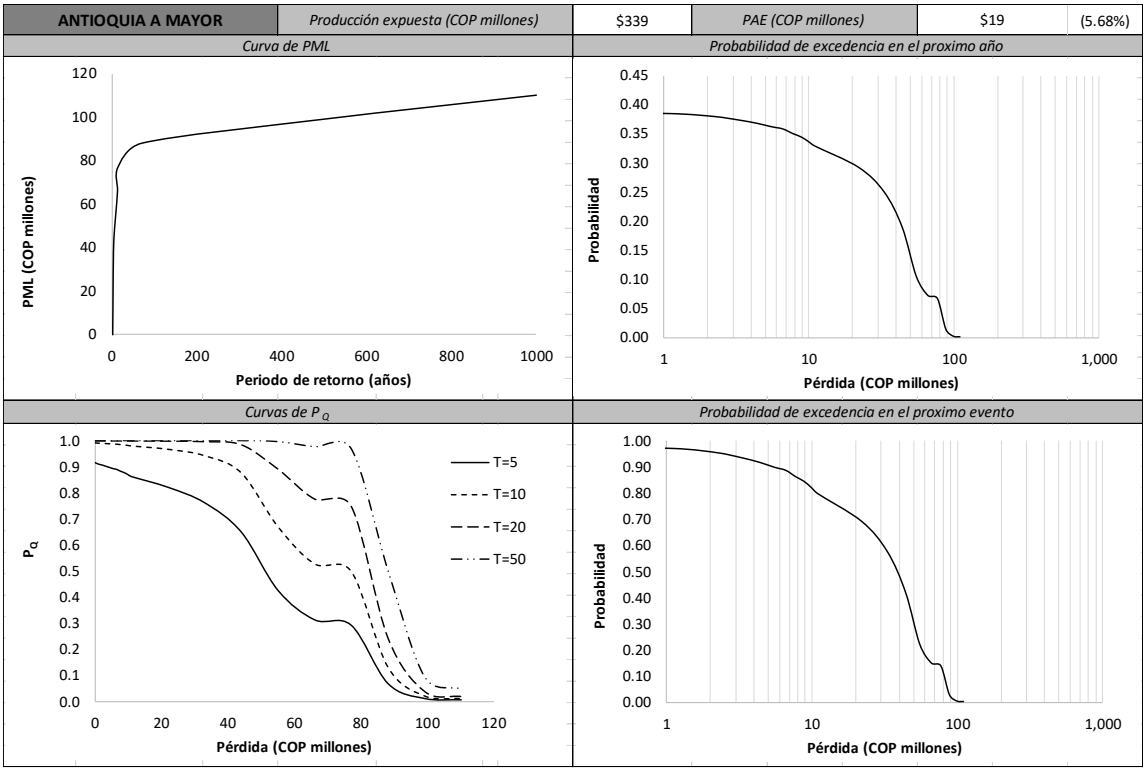


Figura 3-3. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio de Antioquia Ciclo A mayores de 20 ha

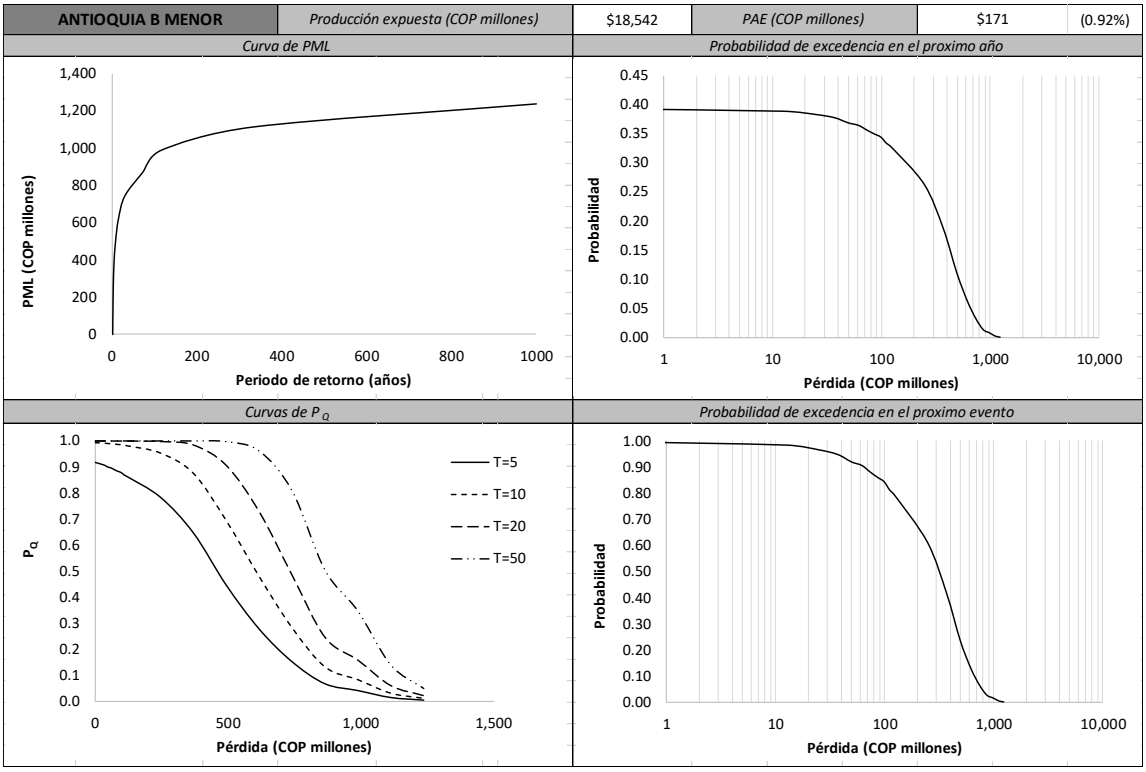


Figura 3-4. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio de Antioquia Ciclo B menores de 20 ha

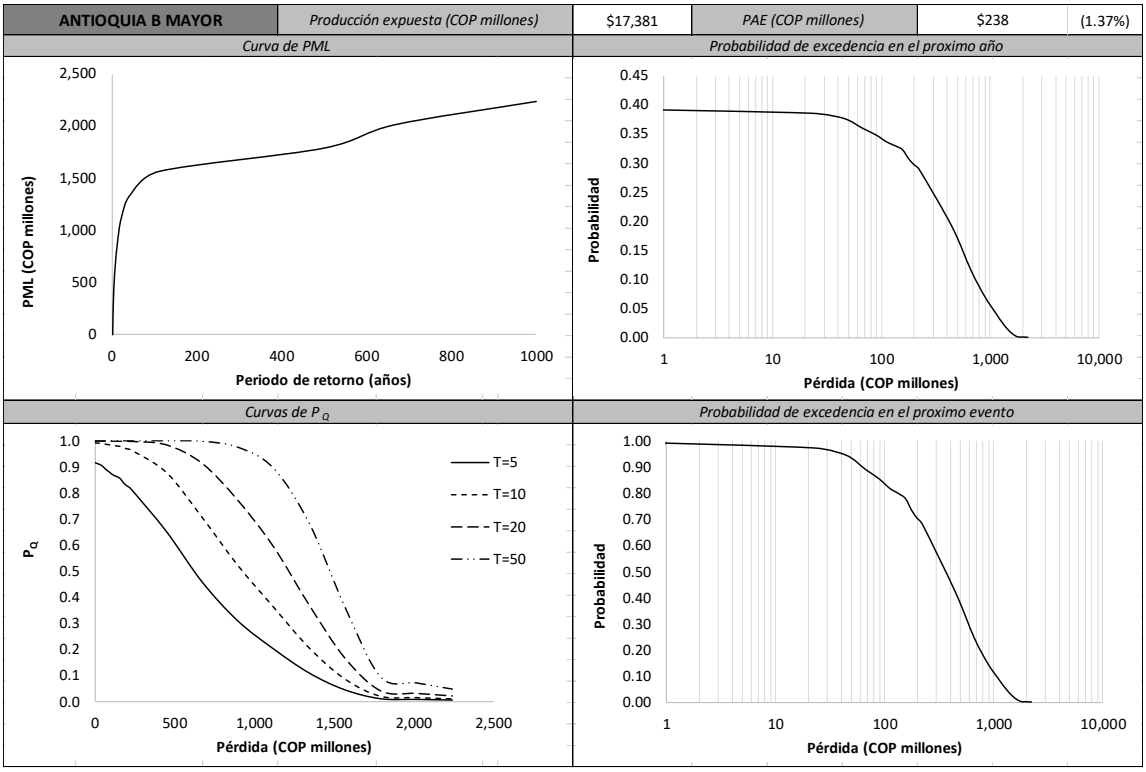


Figura 3-5. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio de Antioquia Ciclo B mayores de 20 ha

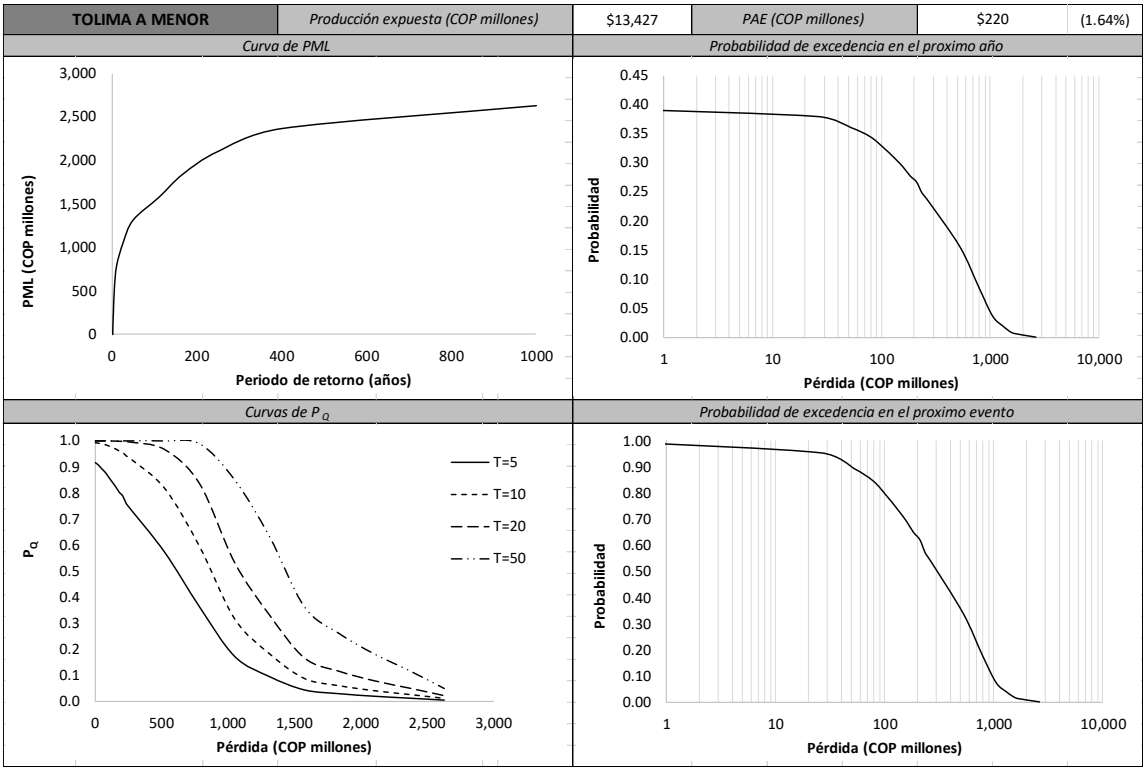


Figura 3-6. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio de Tolima Ciclo A menores de 20 ha

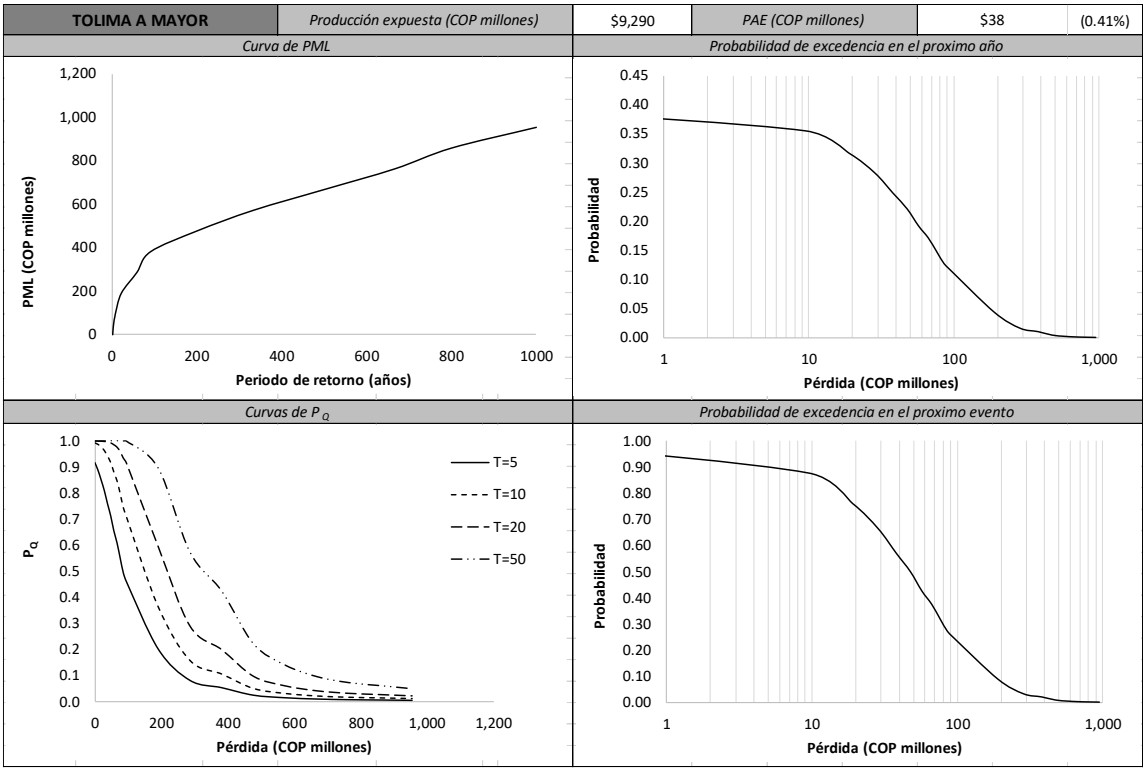


Figura 3-7. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio de Tolima Ciclo A mayores de 20 ha

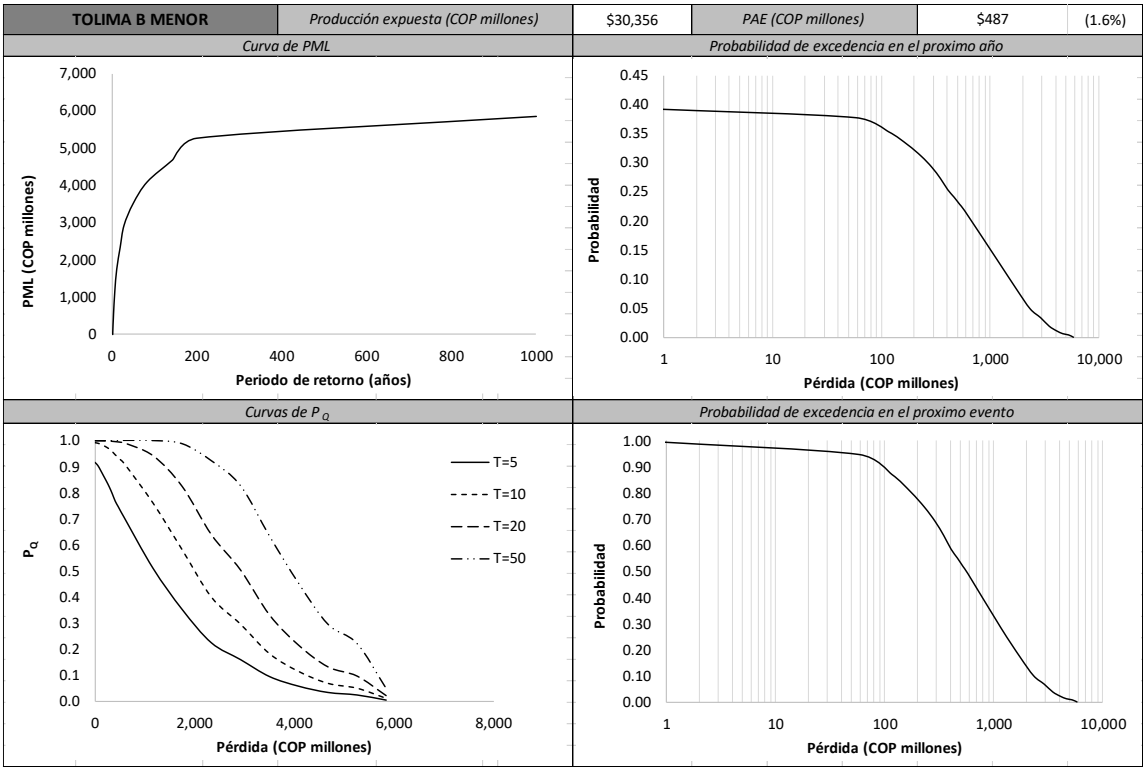


Figura 3-8. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio de Tolima Ciclo B menores de 20 ha

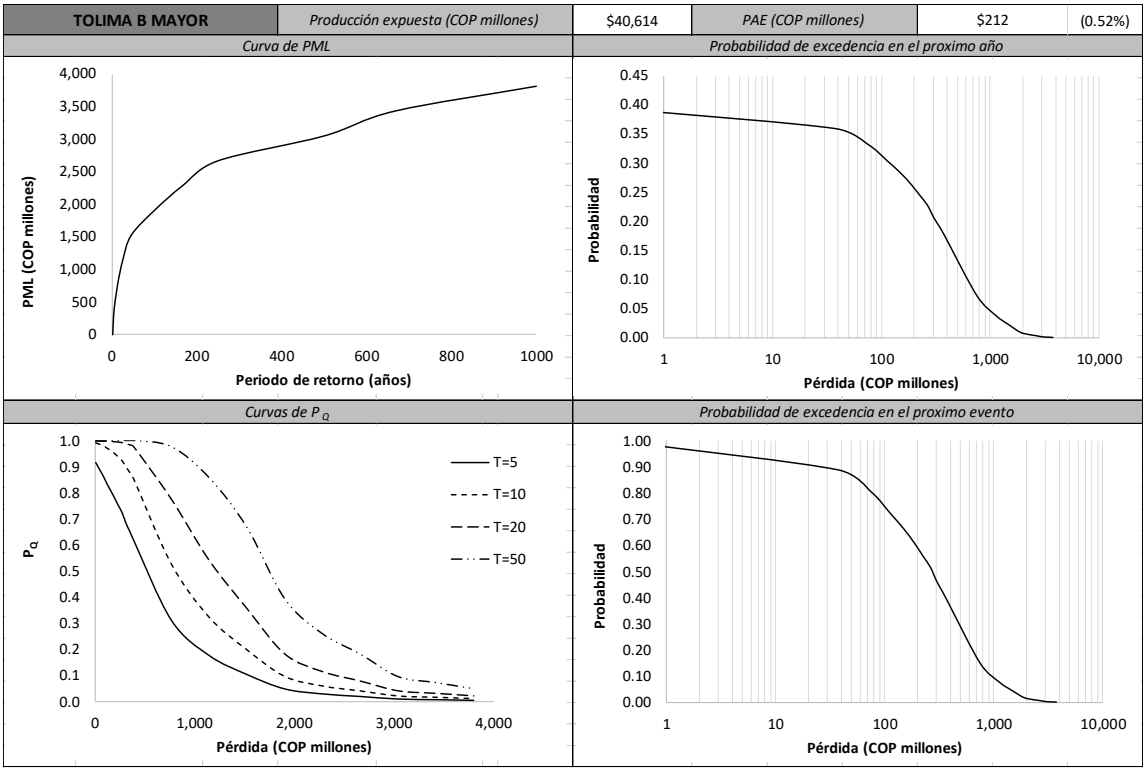


Figura 3-9. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio de Tolima Ciclo B mayores de 20 ha

Las Figuras 3-10 a 3-17 muestran los mapas de PAE a nivel municipal en ambos departamentos, incorporando el efecto del cambio climático. De esta manera, los mapas de PAE presentados en este informe fueron calculados considerando 6 climas diferentes (ver *Producto 5*):

- Clima base: clima actual, caracterizado por la climatología histórica, no perturbado por cambio climático.
- RCP 2.6: clima descrito por el modelo HadGEM2-AO para el RCP 2.6 (escenario optimista de emisiones de gases de efecto invernadero).
- RCP 4.5: clima descrito por el modelo HadGEM2-AO para el RCP 4.5.
- RCP 6: clima descrito por el modelo HadGEM2-AO para el RCP 6.
- RCP 8.5: clima descrito por el modelo HadGEM2-AO para el RCP 8.5 (escenario pesimista de emisiones de gases de efecto invernadero – business as usual).
- CC IDEAM: clima descrito según lo proyectado por IDEAM en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.

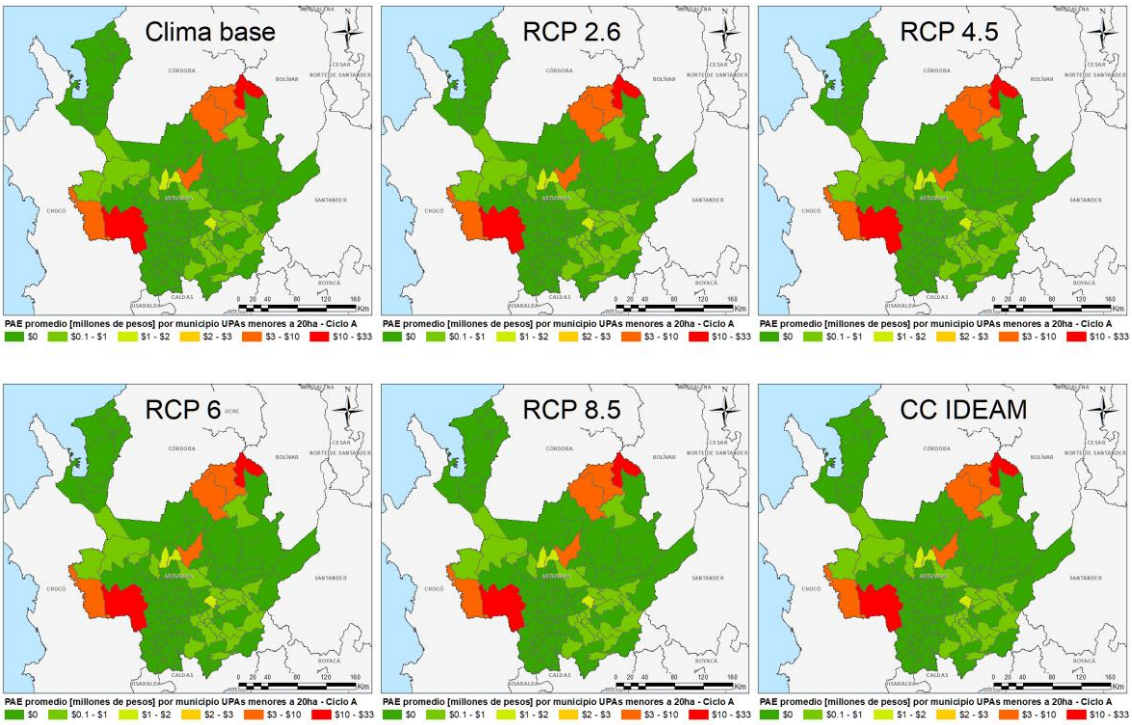


Figura 3-10. PAE por municipio para el portafolio de Antioquia Ciclo A menores a 20ha

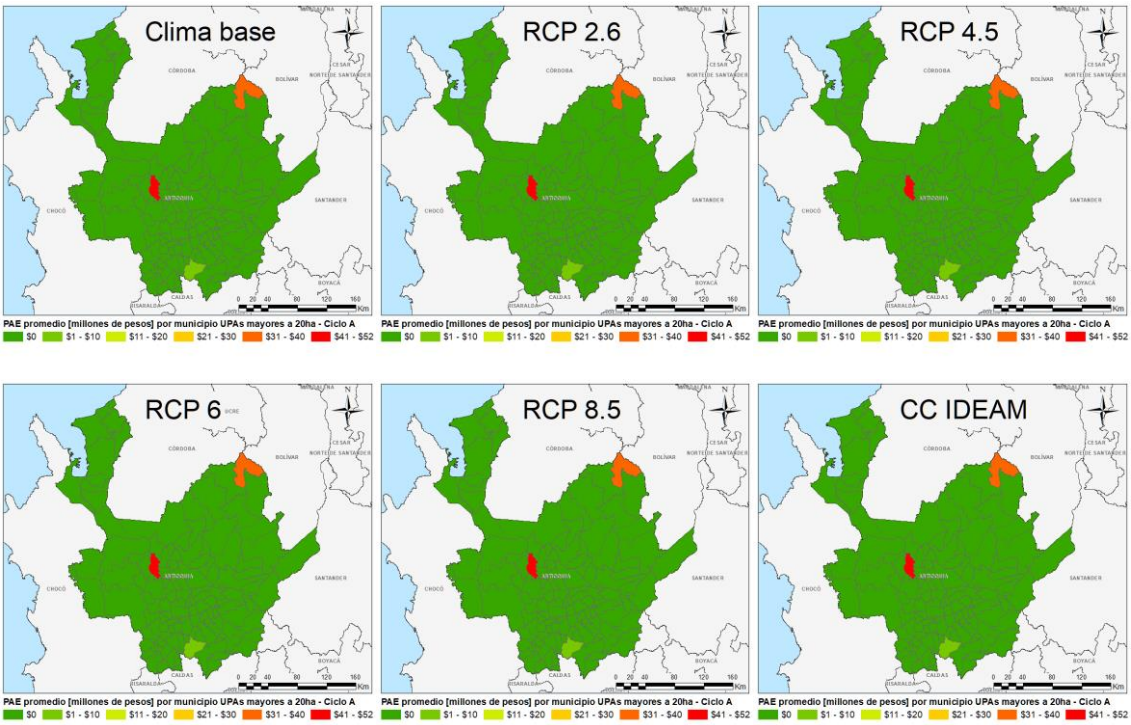


Figura 3-11. PAE por municipio para el portafolio de Antioquia Ciclo A mayores a 20ha

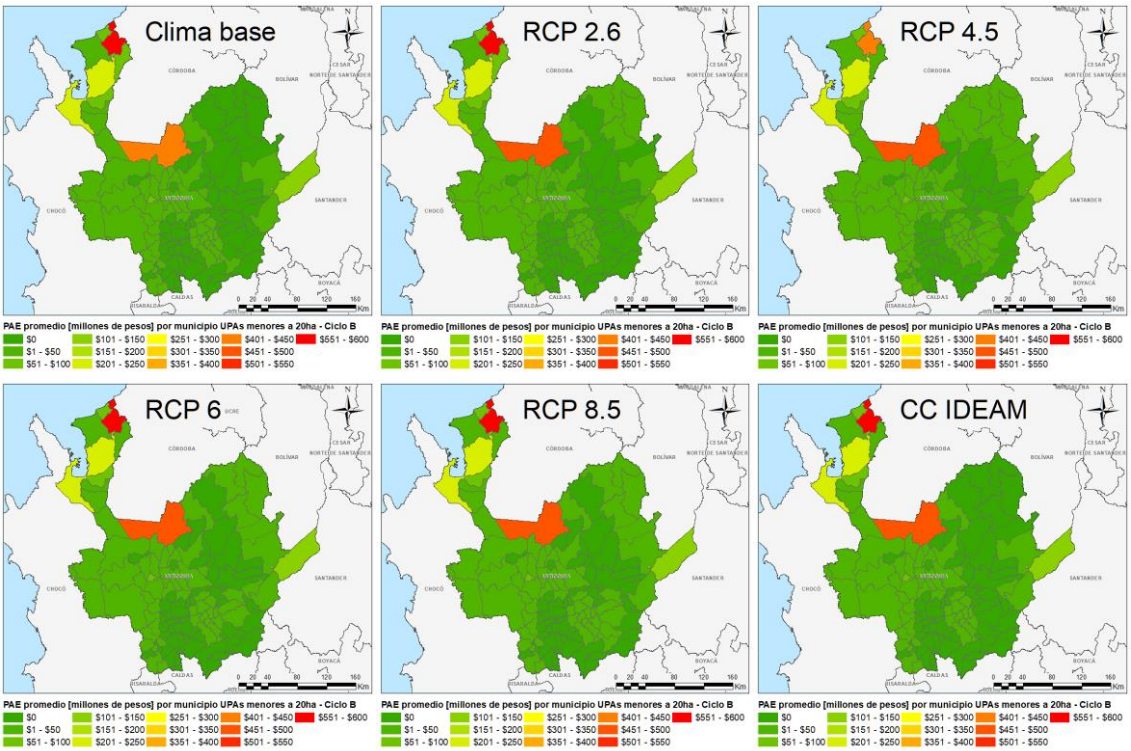


Figura 3-12. PAE por municipio para el portafolio de Antioquia Ciclo B menores a 20ha

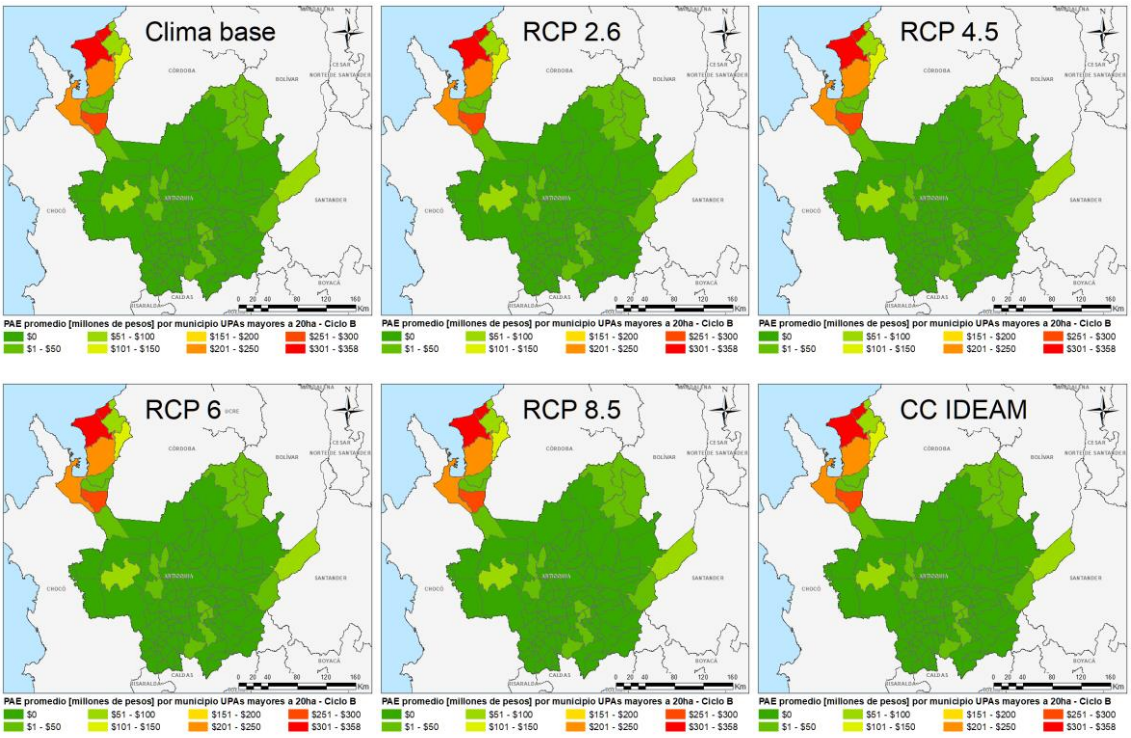


Figura 3-13. PAE por municipio para el portafolio de Antioquia Ciclo B mayores a 20ha

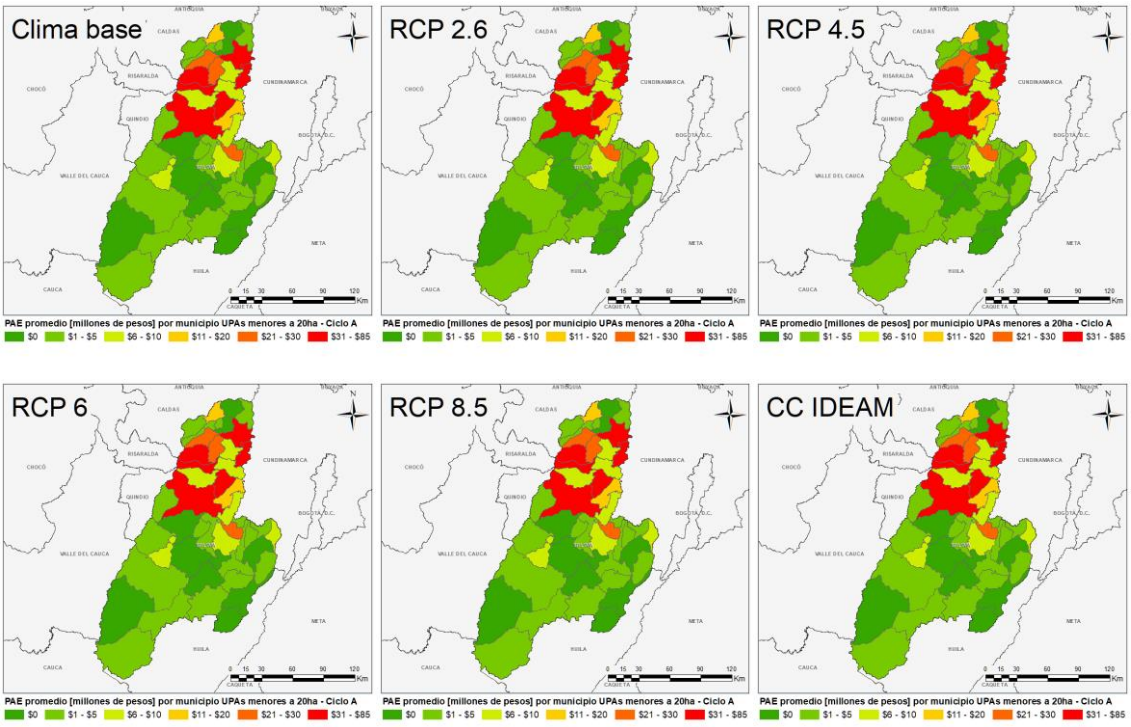


Figura 3-14. PAE por municipio para el portafolio de Tolima Ciclo A menores a 20ha

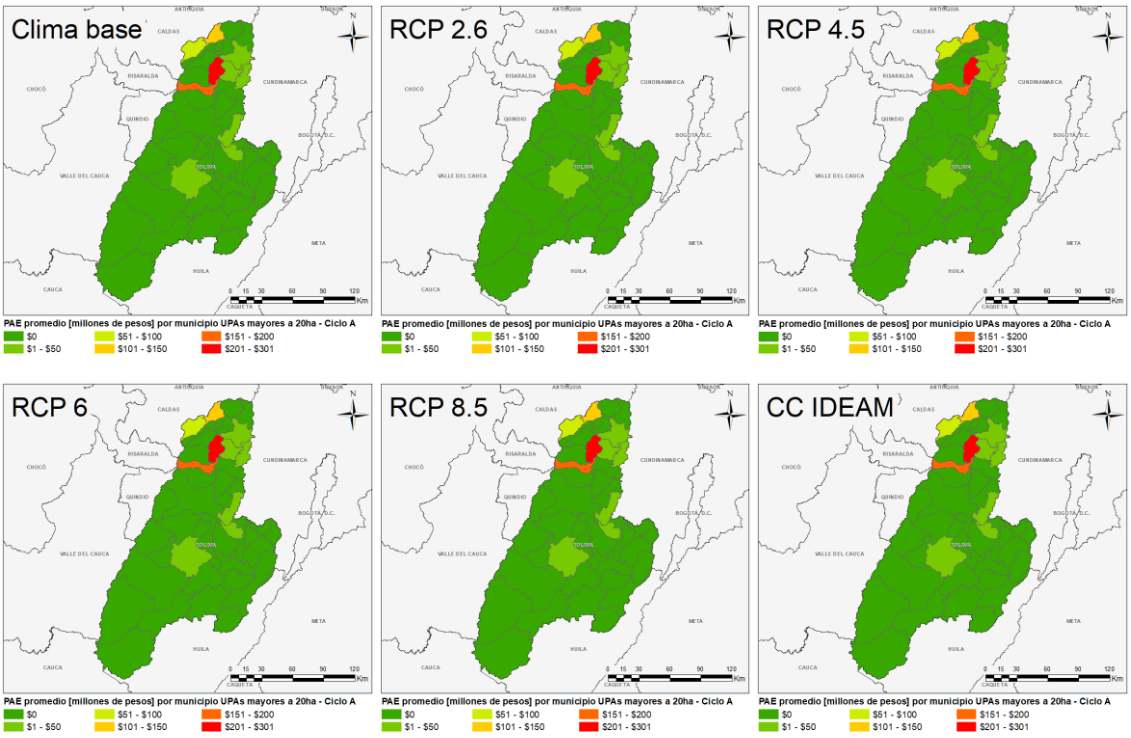


Figura 3-15. PAE por municipio para el portafolio de Tolima Ciclo A mayores a 20ha

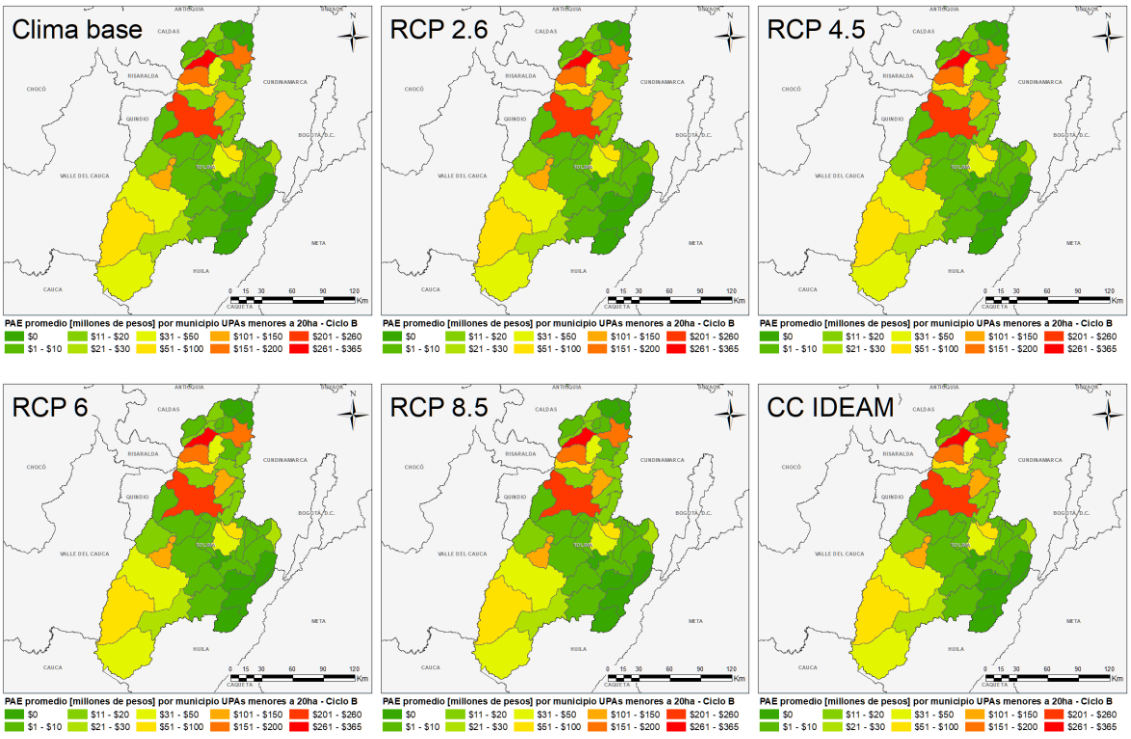


Figura 3-16. PAE por municipio para el portafolio de Tolima Ciclo B menores a 20ha

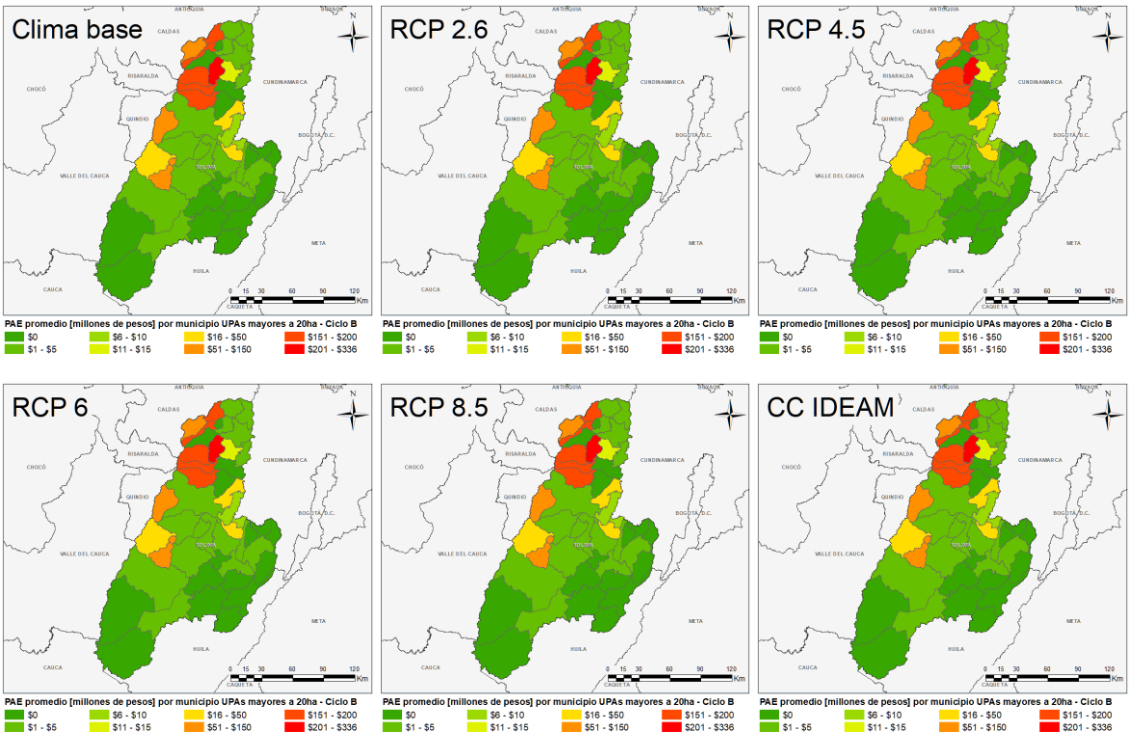


Figura 3-17. PAE por municipio para el portafolio de Tolima Ciclo B mayores a 20ha

3.1.4 Totalización por ciclo

Se totalizaron los portafolios de Antioquia y Tolima por cada ciclo productivo, es decir agregando los productores de más y menos de 20 ha, el resultado cambia como se ilustra a continuación. Las Figuras 3-18 y 3-19 (Antioquia) y Figuras 3-21 y 3-22 (Tolima) presentan las diferentes curvas de riesgo calculadas en este caso para la totalidad de unidades de tierra cultivada consideradas en cada ciclo productivo. Adicionalmente, las Figuras 3-20 y 3-23 muestran comparativamente para Antioquia y Tolima el cambio en la PAE y la PML al totalizar los portafolios por ciclo. En estas gráficas es posible ver el efecto de la totalización e identificar oportunidades en términos de esquemas de seguro más efectivos y eficientes, que pueden surgir de la diversificación del riesgo.

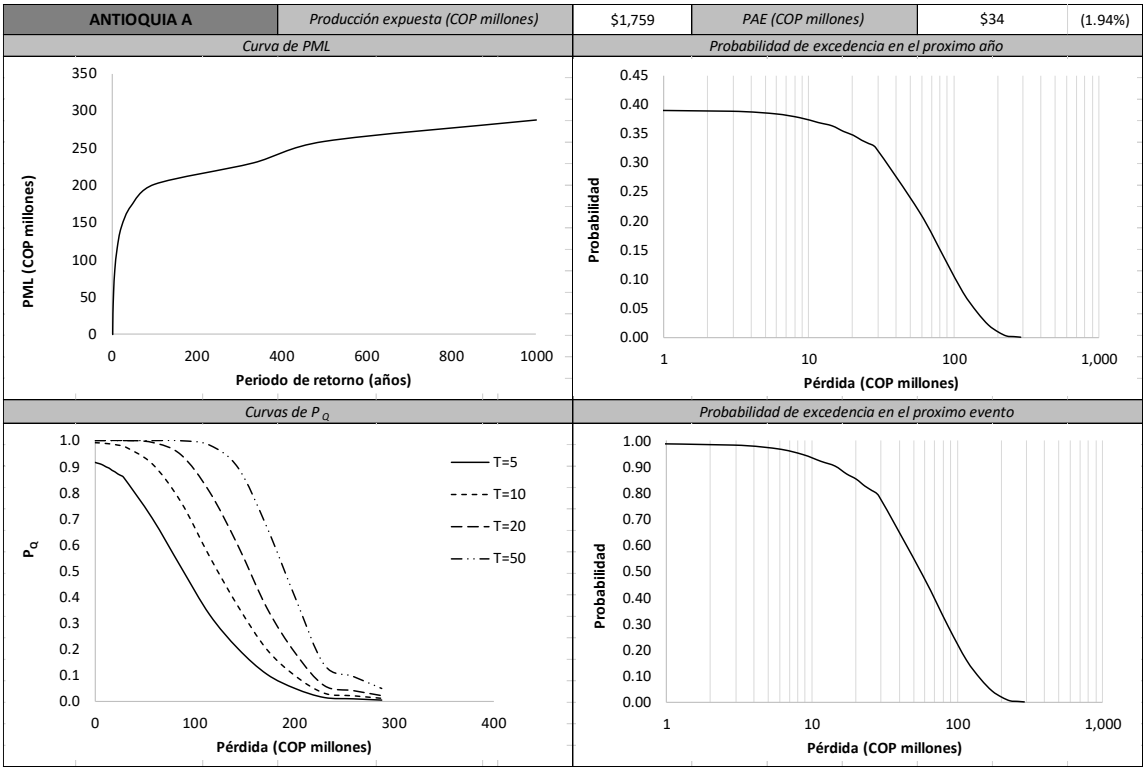


Figura 3-18. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio de Antioquia Ciclo A total

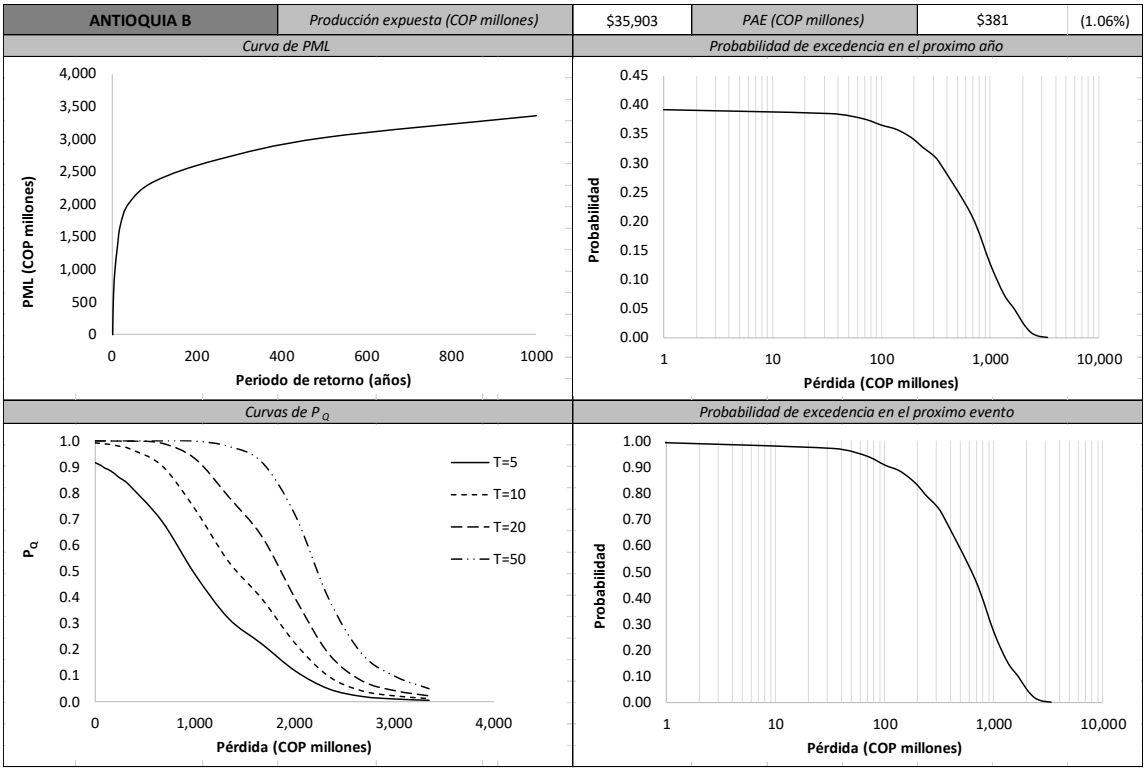


Figura 3-19. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio de Antioquia Ciclo B total

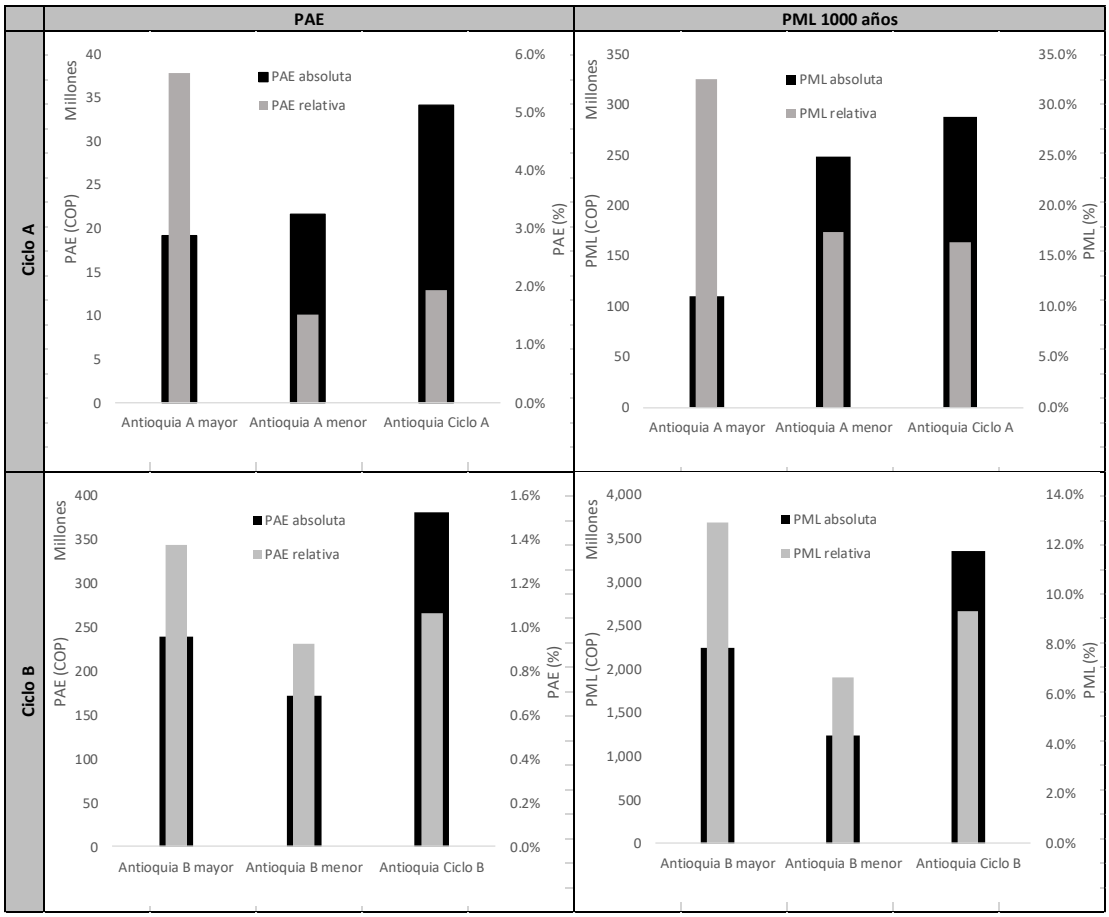


Figura 3-20. Efecto en la PAE y la PML de la totalización por ciclo productivo en Antioquia. Los valores relativos son con respecto a la producción expuesta del portafolio.

En Antioquia vemos como, para el ciclo A, si bien la PAE y la PML aumentan en valor absoluto al agregar los portafolios, sus valores relativos se reducen, en particular la PML. La PAE relativa de ciclo A aumenta un poco con respecto al portafolio de menores de 20 ha, pero no es un cambio muy significativo, mientras que se reduce drásticamente en comparación al portafolio de mayores de 20 ha. En el Ciclo B se presenta el mismo patrón, pero con reducciones menos drásticas entre el portafolio de mayores de 20 ha y el agregado.

Se puede concluir que la agregación en ambos ciclos implica una diversificación del riesgo entre muchos productores pequeños y pocos productores grandes con mayor producción acumulada, lo que resulta en un esquema que implica un ahorro principalmente con respecto al portafolio de mayores de 20 ha. Si bien siempre es conveniente diversificar el riesgo, no parece lograrse, en este caso, un grado de diversificación suficiente.

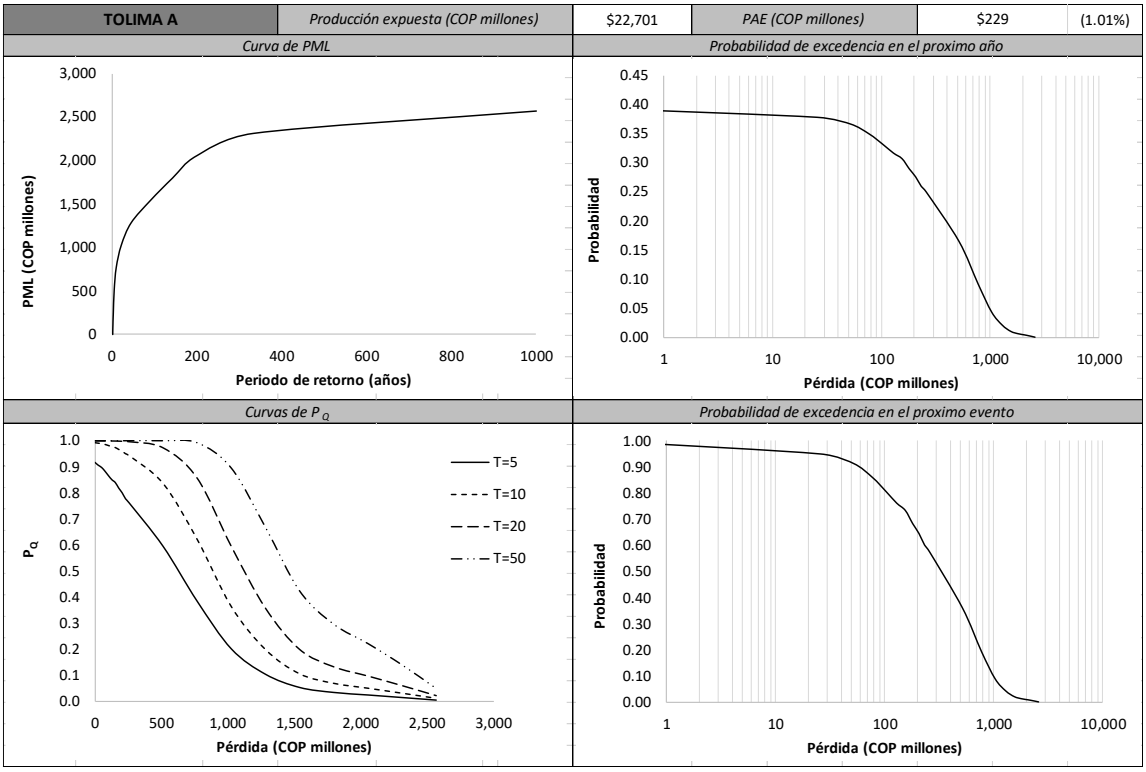


Figura 3-21. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio de Tolima Ciclo A total

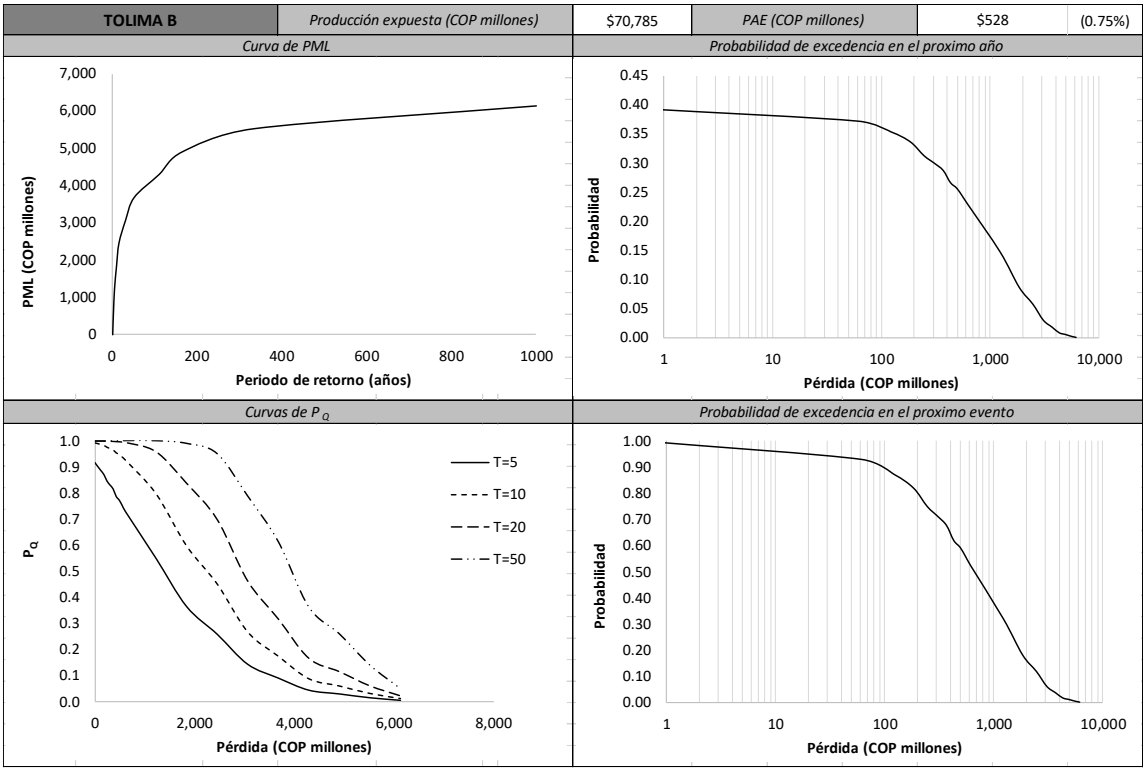


Figura 3-22. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio de Tolima Ciclo B total

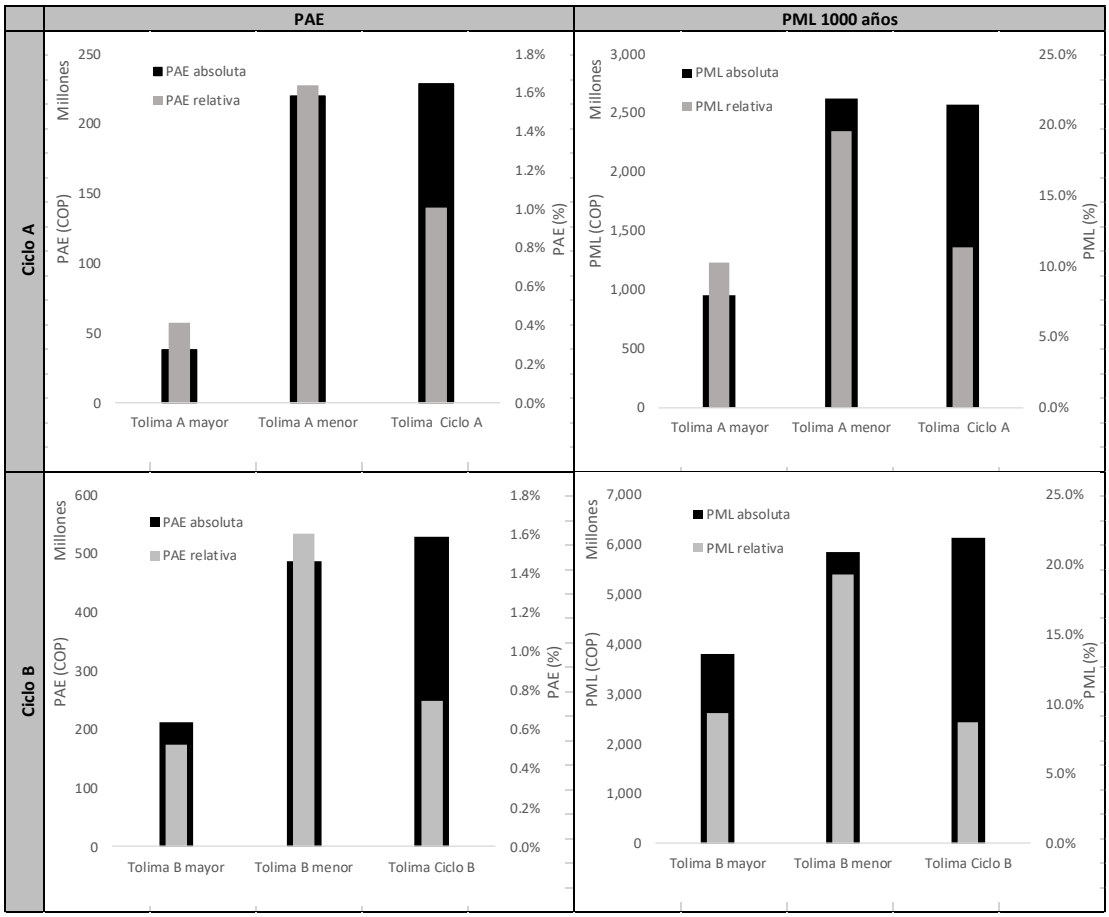


Figura 3-23. Efecto en la PAE y la PML de la totalización por ciclo productivo en Tolima. Los valores relativos son con respecto a la producción expuesta del portafolio.

En el caso de Tolima, se presentan patrones muy similares de cambio en ambos ciclos, en donde vemos que la PAE y PML del portafolio agregado se reduce considerablemente con respecto al portafolio de menores de 20 ha. En este caso, dada la existencia de producción tecnificada, concentrada principalmente en grandes productores, la pérdida de los pequeños productores puede ser compensada efectivamente al agrupar el portafolio. Se presenta entonces una oportunidad en la cual, mediante la inclusión de los grandes productores, es posible compensar de manera mucho más efectiva (i.e. menores primas) la pérdida de los pequeños productores.

3.1.5 Totalización por departamento

Se totalizaron los portafolios de ambos ciclos y para todos los productores en ambos departamentos. Esto brinda mayores oportunidades de diversificación, dado que es muy poco probable que eventos climáticos impacten todos los productores y en ambos ciclos, al mismo tiempo.

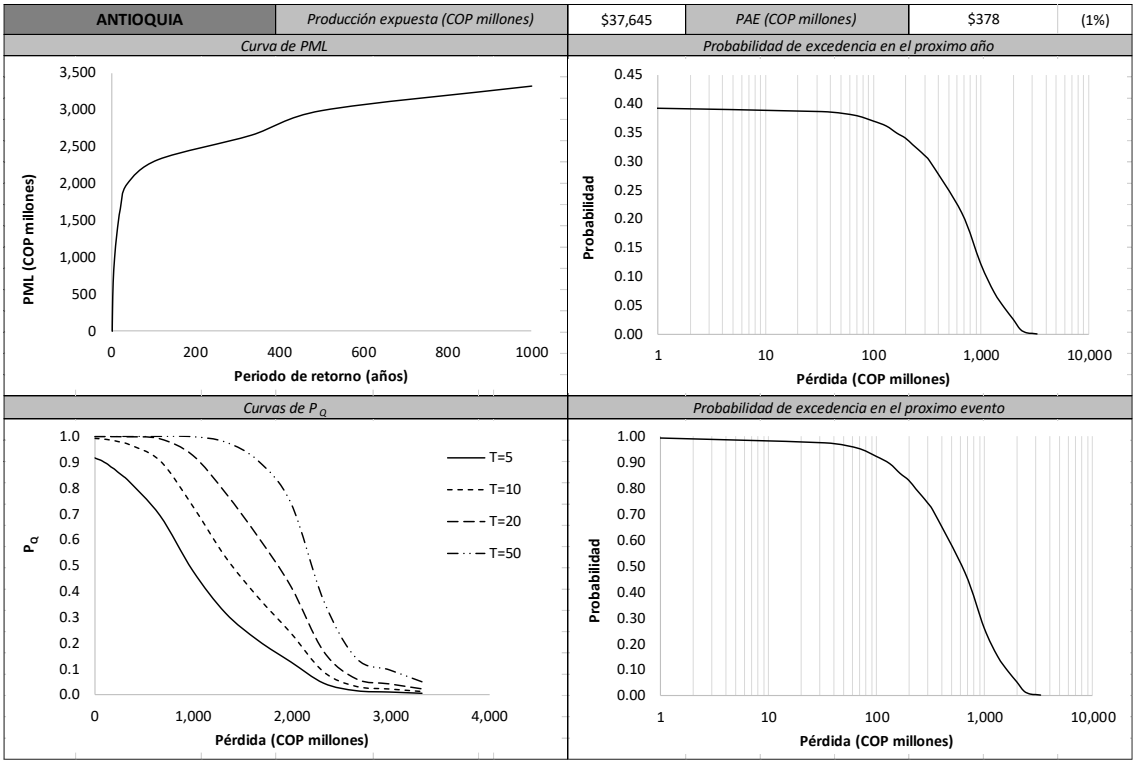


Figura 3-24. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio de Antioquia total

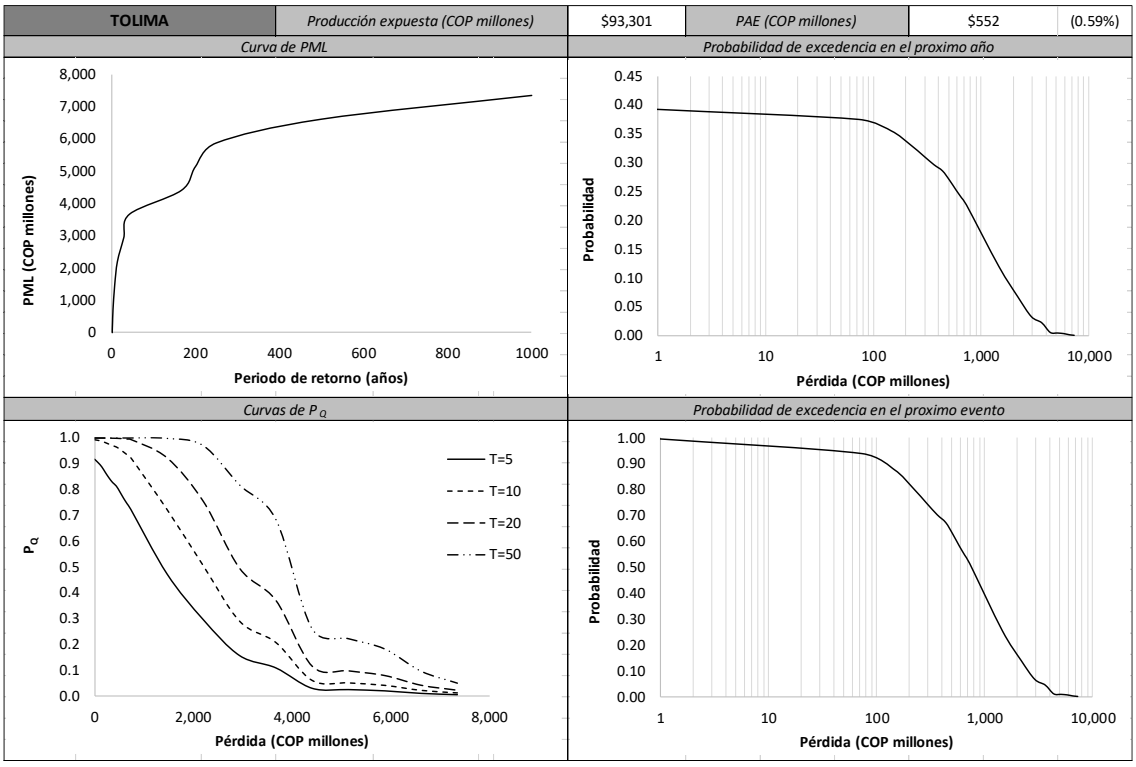


Figura 3-25. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio de Tolima total

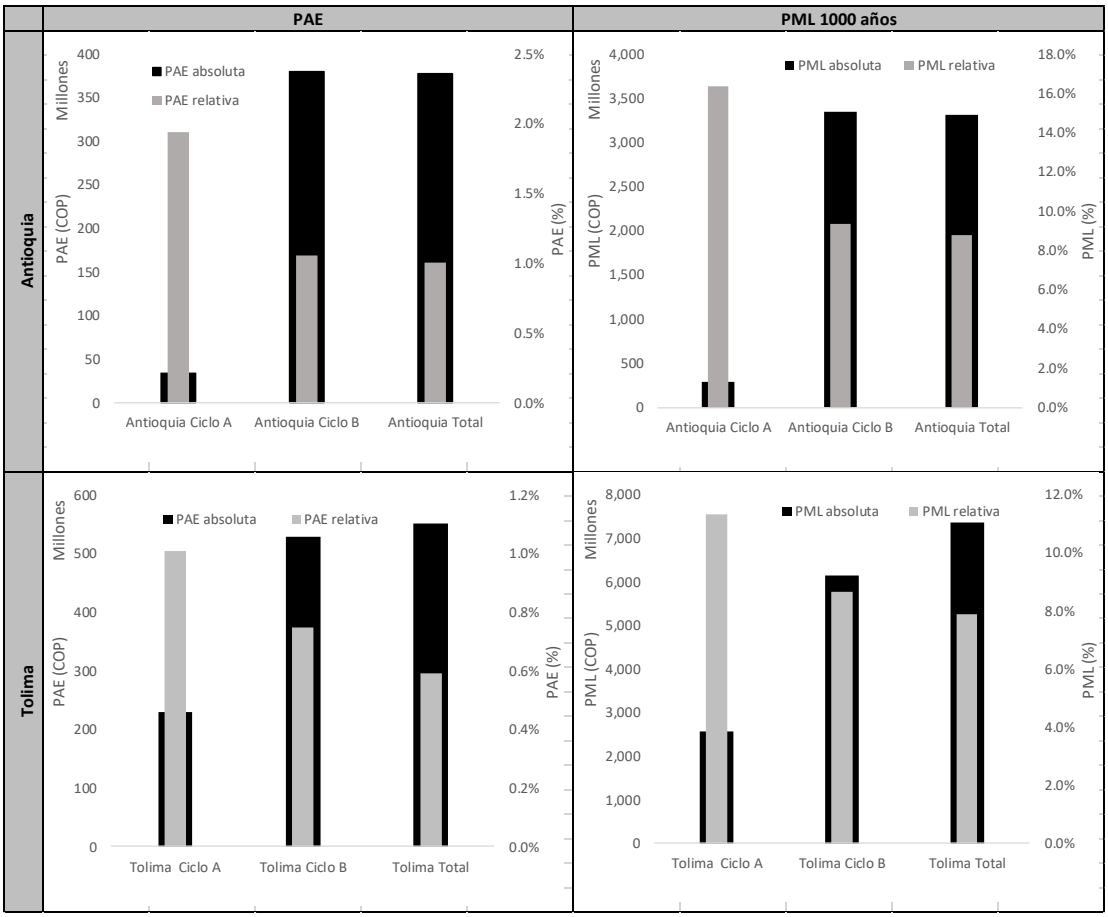


Figura 3-26. Efecto en la PAE y la PML de la totalización por departamento. Los valores relativos son con respecto a la producción expuesta del portafolio.

Podemos ver como la PAE y la PML del agregado total por departamento son similares a las del ciclo B, debido a que este ciclo acumula una mayor producción expuesta. Así mismo, vemos como se reducen las métricas relativas totales, un poco con respecto al Ciclo B y mucho con respecto al Ciclo A, mientras que los montos de pérdida son más o menos similares en los portafolios agregados que en el ciclo B. Esto hace evidente un potencial de diversificación en el cual se cubra el portafolio completo de cada departamento, incluyendo a los pequeños productores, para así reducir los costos relativos del seguro.

3.1.6 Portafolio total

Finalmente, se totalizaron todos los portafolios en uno solo, de ambos departamentos, ambos ciclos y todos los productores. En este caso vemos los mejores índices de diversificación del riesgo dada la muy baja probabilidad de siniestro simultaneo en múltiples ubicaciones de este portafolio agregado.

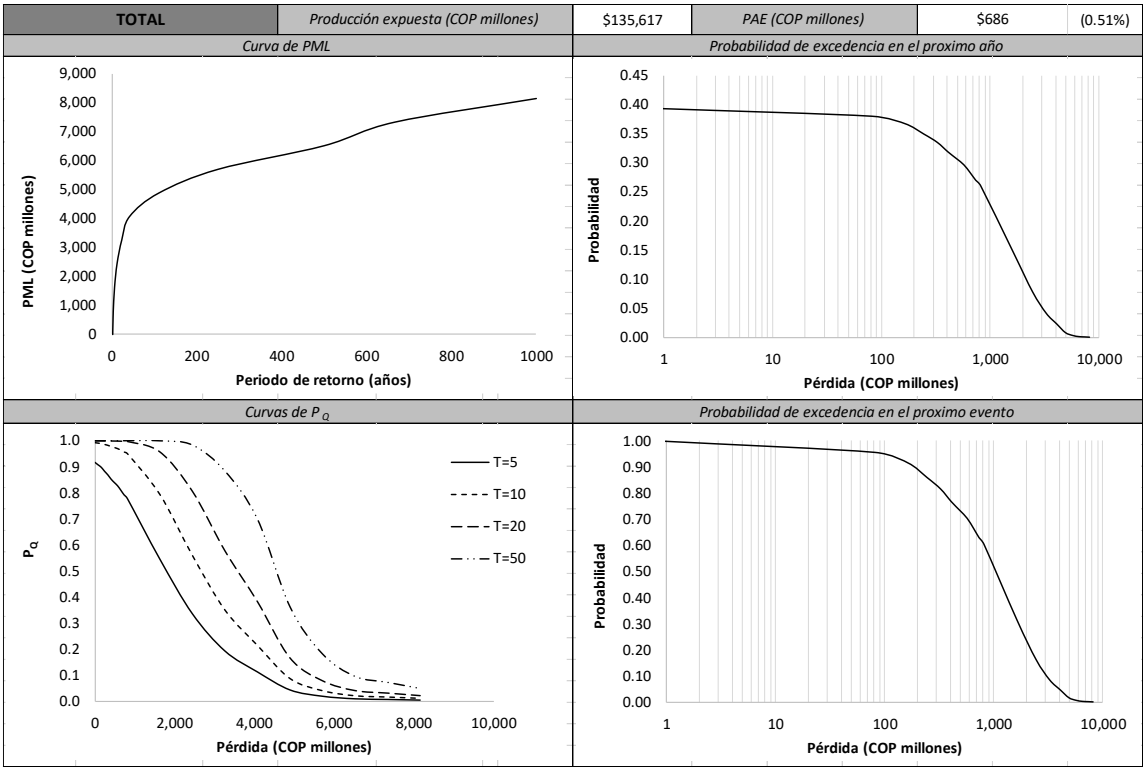


Figura 3-27. Métricas de riesgo catastrófico para el portafolio Total (todos los portafolios de Antioquia y Tolima)

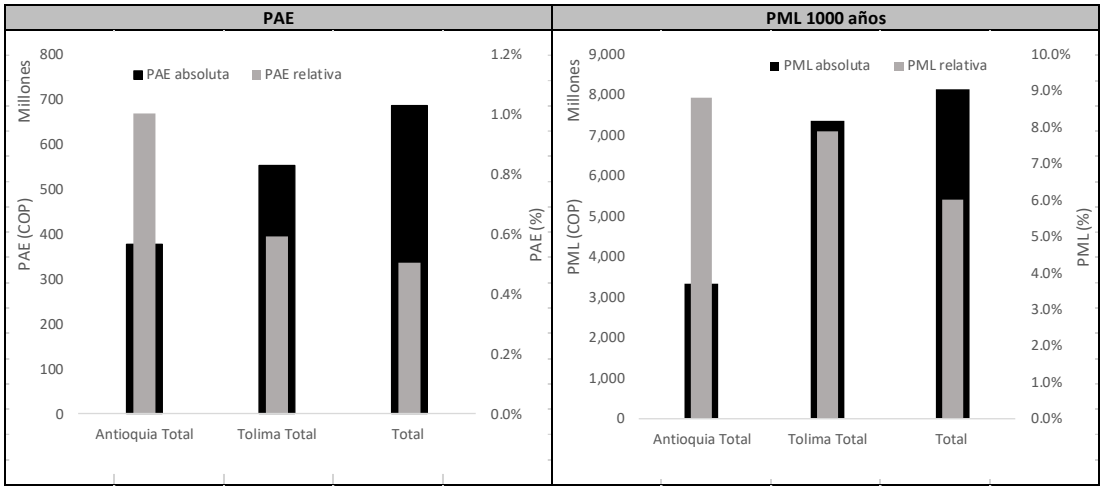


Figura 3-28. Efecto en la PAE y la PML de la agregación de todos los portafolios. Los valores relativos son con respecto a la producción expuesta total.

Como puede verse, los montos totales de pérdida aumentan, pero en menor proporción a la suma directa de los montos de ambos departamentos, así como las pérdidas relativas tienen a reducirse y presentan una mayor efectividad con respecto a los valores absolutos. Esto indica que, pensando en un seguro catastrófico agrícola, la diversificación a la que se llega por agrupar portafolios en múltiples departamentos permite no solo componer un portafolio de mayor valor

y, por lo tanto, más atractivo, sino además con un menor riesgo relativo. Esto significa que sería de gran importancia para la factibilidad el seguro agrícola catastrófico, repetir el ejercicio de modelación acá presentado considerando la totalidad del portafolio de maíz blanco del país, e incluso incluyendo otros productos de relevancia para el sector.

3.2 Protección catastrófica

En el Estudio de Factibilidad del Seguro Agricola Catastrófico, elaborado por el Banco Mundial (2017), se plantea un esquema de protección basado en Índices de Área-Rendimiento. Con este tipo de seguro, la indemnización se basa en el rendimiento promedio existente (cosechado) de un área como un departamento o municipio. El rendimiento asegurado se establece como un porcentaje del rendimiento promedio para el área, de tal manera que se paga una indemnización si el rendimiento promedio obtenido en el área es menor que el rendimiento asegurado, independientemente del rendimiento real a nivel de finca de los tomadores de la póliza.

En este trabajo, se adopta el criterio planteado en el Estudio de Factibilidad, en el sentido de considerar un instrumento de protección del tipo índice de Área-Rendimiento. De esta manera se valora el instrumento.

3.2.1 Rendimiento protegido

En esquemas de seguro agrícola basados en Índices de Área-Rendimiento, el rendimiento protegido oscila entre el 50% y el 90% del rendimiento promedio histórico del área donde se establece el instrumento. El nivel final de rendimiento protegido dependerá esencialmente del apetito de riesgo del asegurador, así como de la recurrencia de la siniestralidad simulada. Para este ejercicio, se definieron 3 niveles de rendimiento protegido con el propósito de comparar los resultados: percentil 50, 70 y 90 del rendimiento simulado en las series climáticas de 1000 años. Las series de rendimiento simuladas se presentan en el *Producto 5* de esta consultoría. Un umbral de, por ejemplo, percentil 70, significa que, si el rendimiento calculado se encuentra por debajo del 70% de todos los rendimientos simulados, se causa una reclamación.

Según el nivel de protección del rendimiento, las pérdidas en producción cambian. La Figura 3-1 muestra las pérdidas en producción para el portafolio de Antioquia Ciclo B de menores de 20 ha, con un umbral de rendimiento del 50%, en base al cual se calcularon las métricas probabilistas de riesgo presentadas anteriormente. De forma complementaria, las Figuras 3-29, y 3-30 muestran la variación en las pérdidas en producción que se obtienen, para el mismo portafolio, considerando rendimientos protegidos del percentil 70 y 90, respectivamente.

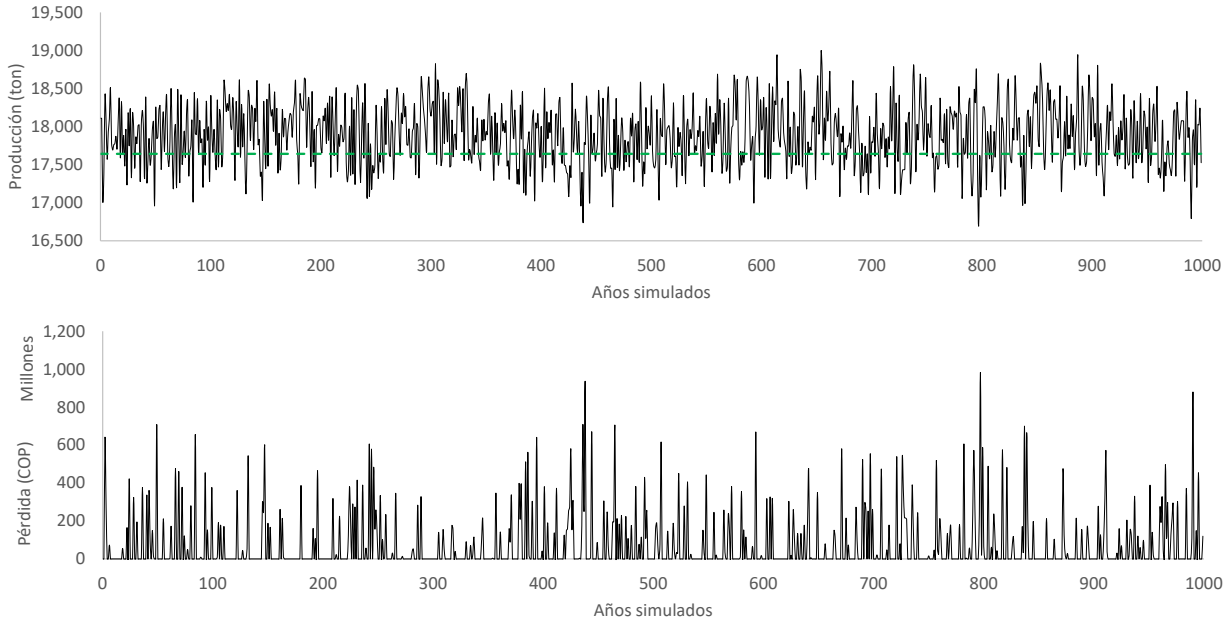


Figura 3-29. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Antioquia Ciclo B de menores de 20 ha, con un umbral de rendimiento protegido de percentil 70 (indicado en verde en el correspondiente nivel de producción)

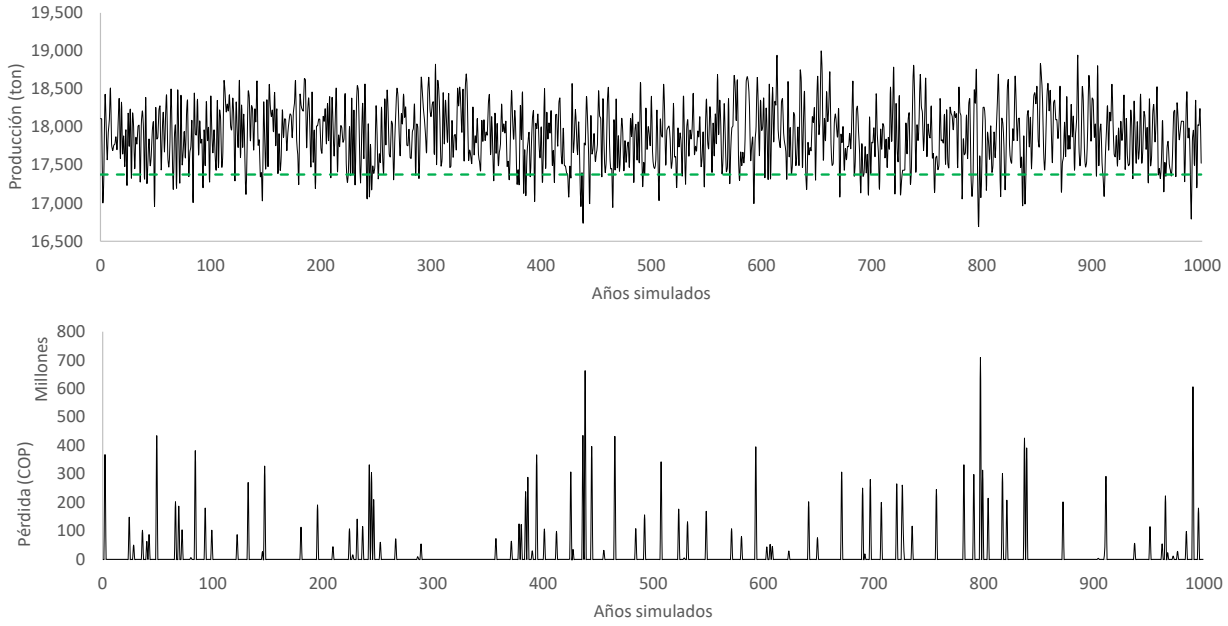


Figura 3-30. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Antioquia Ciclo B de menores de 20 ha, con un umbral de rendimiento protegido de percentil 90 (indicado en verde en el correspondiente nivel de producción)

3.2.2 Reclamaciones

El pago de reclamaciones procede luego de la verificación del rendimiento en el área de cobertura, el cual, en caso de ser inferior al rendimiento protegido, implica el pago de la reclamación, independientemente del rendimiento real a nivel de finca. Esto implica que el seguro cubre un portafolio entero (por ejemplo, Tolima Ciclo A menores de 20 ha), o una agregación de portafolios, de tal forma que las indemnizaciones se producen como compensación a pérdidas en el portafolio completo y no a nivel de finca. Esto marca una diferencia con respecto a lo estipulado en el Estudio de Factibilidad (Banco Mundial, 2017), en donde se consideró que los asegurados son directamente los productores.

La razón de ser de la diferencia planteada tiene que ver con la manera como se genera un aviso de siniestro y como se determina el monto de la indemnización asociada. En el Estudio de Factibilidad, se definió que el aviso de siniestro lo genera cada productor según las condiciones específicas de su producción en curso. Una vez generado el aviso de siniestro, se lleva a cabo el ajuste en finca mediante la medición del rendimiento y la verificación de si ese rendimiento observado es menor o no al rendimiento protegido. En caso de ser menor, procede el pago de una indemnización equivalente al costo de los insumos, valorados en ese estudio en USD 120/ha (Banco Mundial, 2017).

En este trabajo, se ha optado por estudiar una opción diferente, en la cual el tomador de la póliza es un ente institucional responsable del desarrollo agropecuario de la región en consideración (e.g. Secretarías de Agricultura Departamentales). En este sentido, es esa institución quien genera el aviso de siniestro, el cual es verificado para la totalidad del portafolio cubierto por medio de la modelación de la pérdida en producción esperada para el ciclo, sea que esté en curso o ya haya terminado. Una vez determinada la pérdida, se establece una proporción de esta, en función de la relación insumos/producción definida, con el fin de cubrir los insumos de la actividad agrícola para todo el portafolio. El costo estimado de los insumos corresponde al valor de la reclamación, sobre el cual aplica el deducible y demás condiciones de póliza.

Riesgo de base vs Riesgo moral

Los dos enfoques planteados (Banco Mundial, 2017, y este estudio) tienen ventajas y desventajas desde el punto de vista de la administración del riesgo. Ambos implican costos y condiciones de operación diferentes, cuyo estudio excede el alcance de esta consultoría. Sin embargo, puede realizarse un análisis general desde el punto de vista de la relación entre riesgo de base y riesgo moral.

En general se entiende que los instrumentos indemnizatorios basados en ajustes tienen un menor riesgo de base, dado que el proceso de ajuste permite una cuantificación menos incierta del monto de las reclamaciones. Por su parte, una cuantificación por pérdidas modeladas (como se presenta en este estudio) tiene necesariamente mayor riesgo de base, dado que, si bien la cuantificación de la pérdida es apropiada para un portafolio amplio y suficientemente bien diversificado geográficamente, no es posible establecer con precisión arbitraria el aporte de cada unidad productiva al monto total de la reclamación.

Ahora bien, desde la perspectiva del riesgo moral, los esquemas indemnizatorios por ajuste son en general menos transparentes para el tomador del riesgo, debido a que el monto de la reclamación está en cierta medida sujeto a las prácticas productivas del tomador de la póliza y, en ese sentido, a decisiones que se salen del control de la compañía de seguros y que pueden afectar el monto que esta debe cubrir. Por su parte, un esquema de pérdidas modeladas brinda mayor transparencia, y en consecuencia menor riesgo moral, debido a que el monto de la reclamación está sujeto a su cuantificación por medio de un modelo que se considera apropiado y suficiente, y que permite una estandarización del proceso de cuantificación de forma totalmente independiente a las practicas productivas. Una comparación de la relación entre riesgo de base y transparencia (inversa al riesgo moral) para diferentes tipos de instrumentos de protección financiera se presenta en la Figura 3-31.

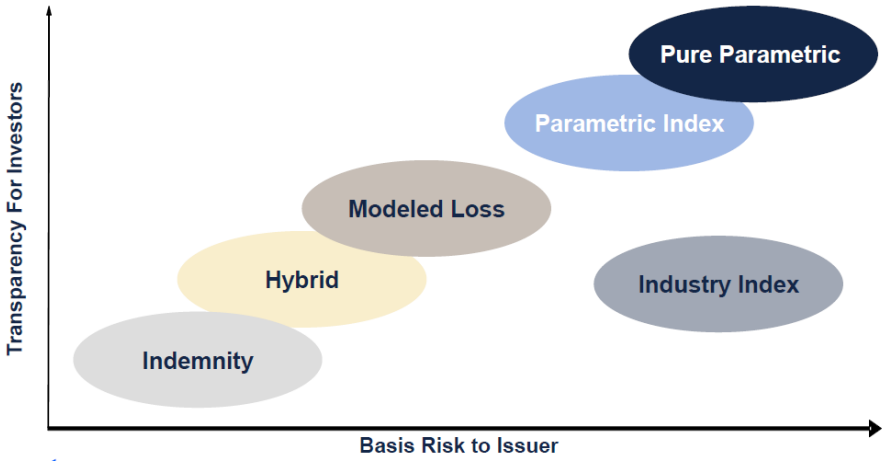


Figura 3-31. Relación entre riesgo de base y transparencia (Fuente: Bill Dubinsky, Willis Towers Watson)

No es objetivo de este estudio el definir el mecanismo final de operación del seguro y de valoración de las reclamaciones, sin embargo, dadas las características de los portafolios protegidos, el tipo de riesgo y el tipo de seguro, nuestra recomendación se sesga fuertemente a las pérdidas modeladas, dado el posiblemente muy alto costo de llevar a cabo ajustes a nivel de fincas individuales de los productores cubiertos, y al relativamente elevado riesgo moral que implica esa opción.

3.2.3 Esquema de seguro

Con el fin de evaluar la protección catastrófica, se define un esquema de seguro simple compuesto por 3 capas, como se ilustra en la Figura 3-32.

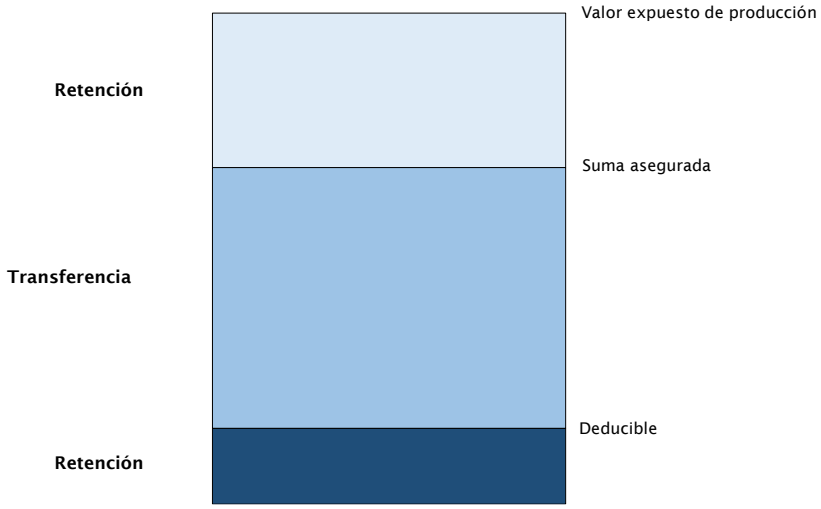


Figura 3-32. Esquema de seguro

En este esquema de seguro, los montos de pérdida entre el deducible y la suma asegurada serán cubiertos por la compañía de seguros, mientras que cualquier monto inferior al deducible, o superior a la suma asegurada se considera retención del tomador de la póliza.

Las condiciones finales de póliza deberán ser establecidas por la compañía de seguros que oferte el seguro agrícola catastrófico. Sin embargo, con el fin de hacer comparaciones de resultados, se definieron los siguientes criterios:

- Dado que la cobertura del seguro es a los insumos de la actividad agrícola, se determina la suma asegurada como el costo total estimado de dichos insumos. En base a lo indicado en el estudio de Factibilidad (Banco Mundial, 2017), se definió un costo de $ 450,000 COP/ha (aprox. USD 120/ha).
- Con el fin de estudiar su efecto, se realizaron los cálculos con diferentes deducibles: 0.5%, 1.5% y 3% de la suma asegurada.

3.2.4 Valoración del seguro

Las Figuras 3-33 a 3-47 muestran los resultados obtenidos para la totalidad de portafolios (incluyendo los agregados) por medio de fichas donde se presentan las principales métricas de riesgo y de valoración del seguro. La Tabla 3-4 presenta una descripción de las métricas y la ecuación que las define.

Tabla 3-4. Descripción y ecuación de métricas de valoración del seguro

Métrica	Unidades	Descripción	Ecuación
Área cultivada	ha	Área cultivada total del portafolio	A
Mínima producción simulada	Ton	Valor mínimo simulado de producción, asociado al evento de mayor pérdida en producción	-
Precio producto	COP/ton	Precio al productor (ver Tabla 3-2)	V
Costos de insumos	COP/ha	Costo asumido de los insumos. $450,000/ha (USD 120/ha)	C
Suma asegurada	COP millones	Valor total de costo de los insumos para el portafolio	$SA = A \cdot C$
Umbrales de rendimiento	-	Percentiles 50, 70 y 90 de las series de rendimiento simulado	-
Rendimiento protegido	ton/ha	Rendimiento correspondiente al percentil indicado	Y
Producción umbral	ton	Producción correspondiente al rendimiento protegido	$P = A \cdot Y$
Producción expuesta	COP millones	Producción total del portafolio para el rendimiento protegido	$PE = P \cdot V$
PML 1000 años	COP millones	PML para 1000 años de periodo de retorno	PML
Pérdida Anual Esperada	COP millones	Valor promedio de la pérdida en producción en la totalidad de la serie simulada	PAE
Prima Pura de Riesgo (Producción)	-	Corresponde a la PAE normalizada por la Producción Expuesta	$PP = PAE/PE$
Deducible	-	0.5%, 1.5% y 3% de la Suma Asegurada	-
Siniestralidad esperada	COP millones	Valor promedio del monto de las reclamaciones en la totalidad de la serie simulada	SE
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	-	Corresponde a la Siniestralidad Esperada normalizada por la Suma Asegurada	$PP_S = SE/SA$
Número de siniestros simulados	-	Número de eventos en los cuales se causa una reclamación en la totalidad de la serie simulada	NS
Tasa de siniestros	-	Tasa anual de ocurrencia de siniestros determinada de la serie de 1000 años	$TS = NS/1000$
Máxima reclamación	COP millones	Valor máximo de reclamación simulado	MR
ROL	-	Rate-On-Line. Métrica que establece el nivel de protección obtenido por el pago de las primas	$ROL = SE/MR$
Periodo de recuperación	Años	Inverso del ROL. Establece número promedio de años en el cual se compensan los siniestros con el pago de las primas.	$PR = 1/ROL$
Histogramas de distribución de la siniestralidad	-	Calculados para cada combinación de umbral de rendimiento y deducible. Muestran el número de reclamaciones para diferentes montos.	-
Curvas de PML de siniestralidad	-	Calculadas para las combinaciones de umbral de rendimiento y deducible. Muestran el riesgo catastrófico para la compañía de seguros.	-

Portafolios Base

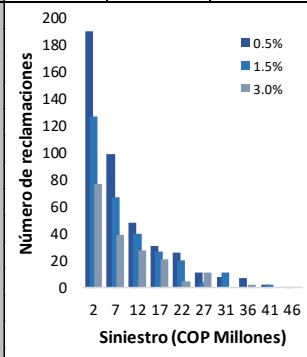
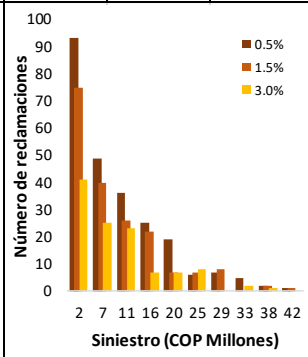
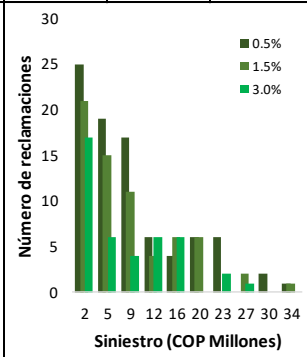
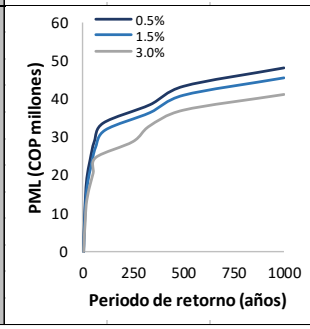
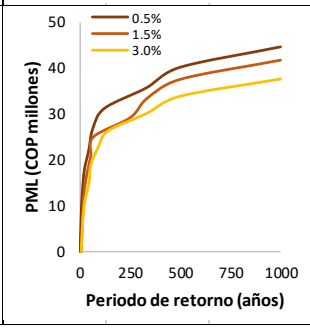
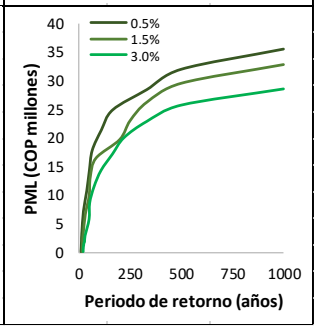
Portafolio	**ANTIOQUIA A MENOR**								
Área (ha)	634								
Mínima producción simulada (ton)	1,136								
Precio producto (COP/ton)	$1,036,800								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$285								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	2.17			2.14			2.06		
Producción umbral (ton)	1,376			1,355			1,306		
Producción expuesta (COP millones)	$1,427			$1,405			$1,354		
PML 1000 años (COP millones)	$248			$227			$176		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$22			$13			$4		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	1.52%			0.95%			0.32%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$3.7	$2.7	$1.7	$2.3	$1.7	$1.1	$0.8	$0.6	$0.3
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	1.29%	0.93%	0.580%	0.81%	0.59%	0.376%	0.27%	0.20%	0.118%
Número de siniestros simulados	423	300	185	243	188	114	86	66	42
Tasa de siniestros	0.42	0.30	0.185	0.24	0.19	0.1140	0.09	0.07	0.042
Máxima reclamación (COP millones)	$48	$45	$41	$45	$42	$38	$36	$33	$28
ROL	7.63%	5.86%	4.03%	5.17%	4.05%	2.86%	2.19%	1.73%	1.18%
Periodo de recuperación (años)	13	17	25	19	25	35	46	58	85
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-33. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio de Antioquia Ciclo A de menores de 20 ha.

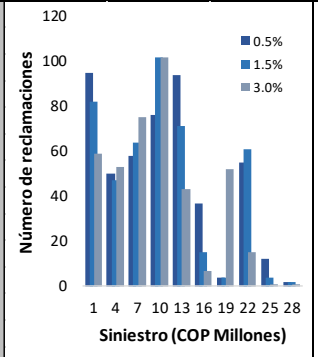
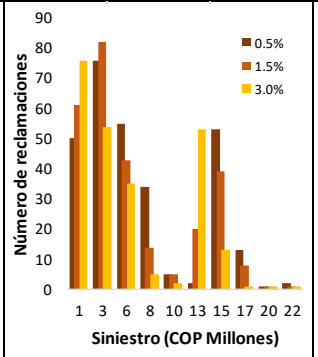
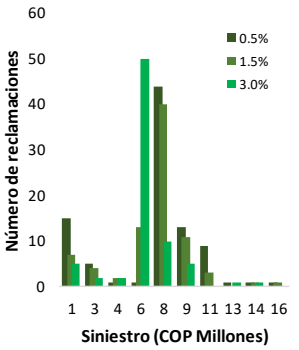
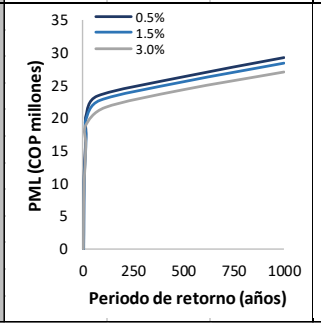
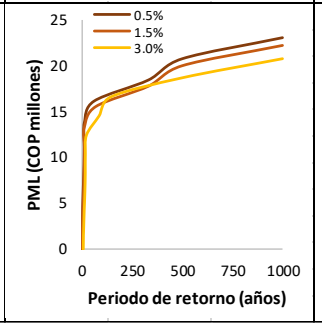
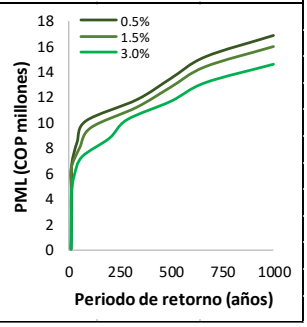
Portafolio	**ANTIOQUIA A MAYOR**								
Área (ha)	203								
Mínima producción simulada (ton)	221								
Precio producto (COP/ton)	$1,036,800								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$91								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	1.61			1.46			1.34		
Producción umbral (ton)	327			297			272		
Producción expuesta (COP millones)	$339			$308			$282		
PML 1000 años (COP millones)	$110			$79			$53		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$19			$7			$2		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	5.68%			2.38%			0.75%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$5.0	$4.5	$3.9	$2.0	$1.8	$1.4	$0.6	$0.6	$0.5
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	5.44%	4.97%	4.321%	2.24%	1.95%	1.568%	0.70%	0.61%	0.498%
Número de siniestros simulados	483	452	408	291	274	241	91	82	76
Tasa de siniestros	0.48	0.45	0.408	0.29	0.27	0.2410	0.09	0.08	0.076
Máxima reclamación (COP millones)	$29	$28	$27	$23	$22	$21	$17	$16	$15
ROL	16.98%	16.02%	14.64%	8.87%	8.07%	6.90%	3.79%	3.52%	3.12%
Periodo de recuperación (años)	6	6	7	11	12	14	26	28	32
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-34. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio de Antioquia Ciclo A de mayores de 20 ha.

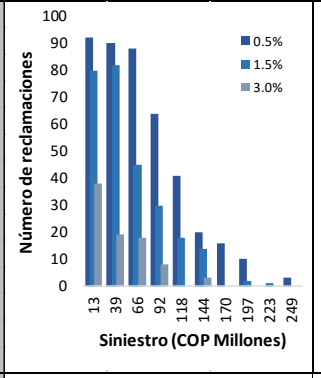
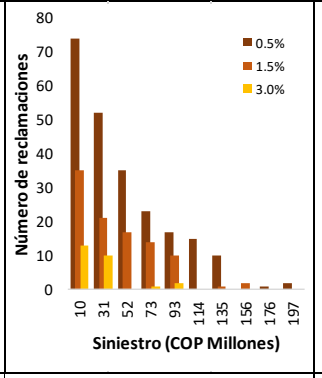
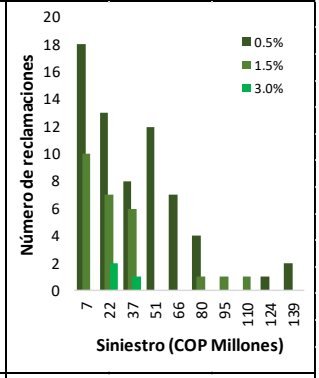
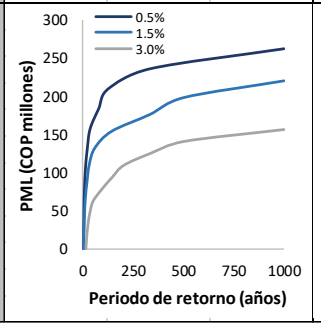
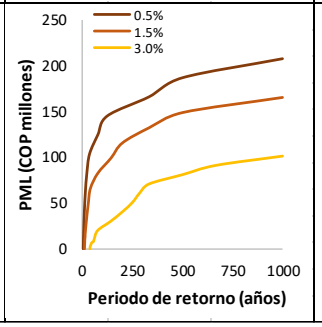
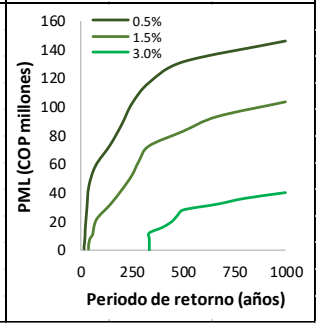
Portafolio	**ANTIOQUIA B MENOR**								
Área (ha)	9,450								
Mínima producción simulada (ton)	16,693								
Precio producto (COP/ton)	$1,036,800								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$4,253								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	1.89			1.87			1.84		
Producción umbral (ton)	17,884			17,641			17,377		
Producción expuesta (COP millones)	$18,542			$18,290			$18,016		
PML 1000 años (COP millones)	$1,235			$983			$709		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$171			$71			$18		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	0.92%			0.39%			0.10%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$29.4	$14.5	$3.5	$11.0	$4.2	$0.7	$2.5	$0.7	$0.1
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	0.69%	0.34%	0.082%	0.26%	0.10%	0.016%	0.06%	0.02%	0.002%
Número de siniestros simulados	424	272	86	229	100	26	65	26	3
Tasa de siniestros	0.42	0.27	0.086	0.23	0.10	0.0260	0.07	0.03	0.003
Máxima reclamación (COP millones)	$262	$220	$156	$207	$165	$101	$146	$104	$40
ROL	11.22%	6.62%	2.24%	5.28%	2.54%	0.67%	1.72%	0.69%	0.21%
Periodo de recuperación (años)	9	15	45	19	39	150	58	146	473
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-35. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio de Antioquia Ciclo B de menores de 20 ha.

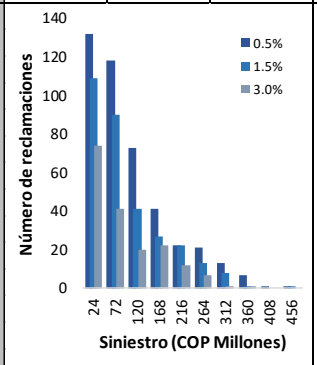
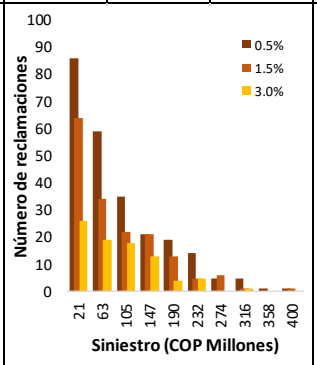
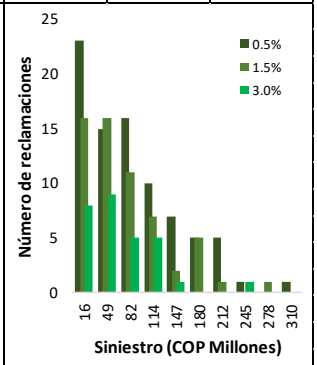
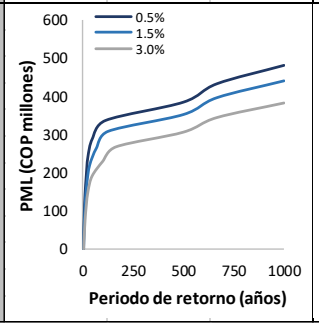
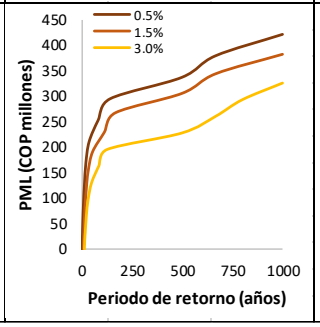
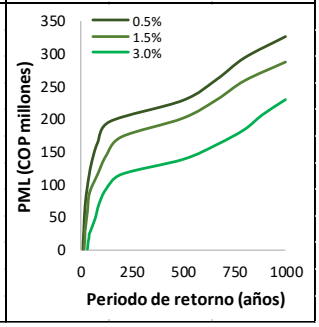
Portafolio	**ANTIOQUIA B MAYOR**								
Área (ha)	8,609								
Mínima producción simulada (ton)	14,605								
Precio producto (COP/ton)	$1,036,800								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$3,874								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	1.95			1.91			1.86		
Producción umbral (ton)	16,764			16,479			16,036		
Producción expuesta (COP millones)	$17,381			$17,085			$16,626		
PML 1000 años (COP millones)	$2,239			$1,943			$1,484		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$238			$122			$38		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	1.37%			0.72%			0.23%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$44.1	$29.7	$15.5	$22.4	$14.6	$7.4	$7.1	$4.4	$1.8
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	1.14%	0.77%	0.400%	0.58%	0.38%	0.192%	0.18%	0.11%	0.047%
Número de siniestros simulados	429	312	178	246	167	86	83	59	29
Tasa de siniestros	0.43	0.31	0.178	0.25	0.17	0.0860	0.08	0.06	0.029
Máxima reclamación (COP millones)	$480	$441	$383	$421	$382	$324	$326	$288	$230
ROL	9.19%	6.72%	4.05%	5.33%	3.81%	2.29%	2.17%	1.52%	0.79%
Periodo de recuperación (años)	11	15	25	19	26	44	46	66	126
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-36. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio de Antioquia Ciclo B de mayores de 20 ha.

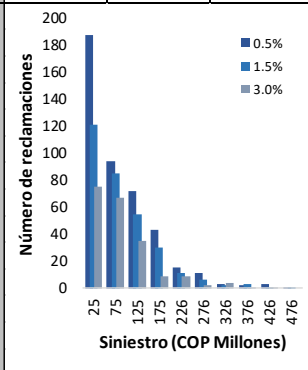
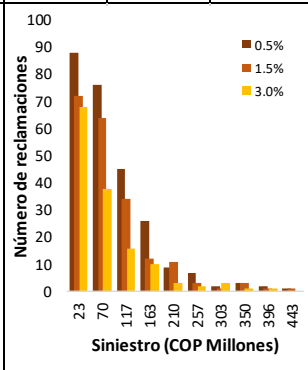
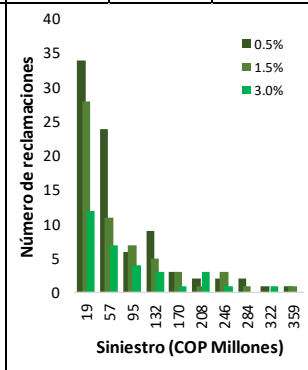
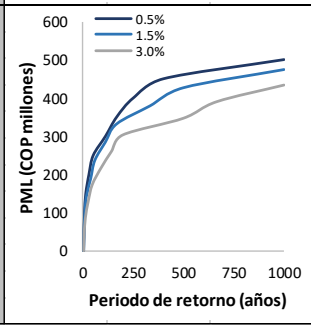
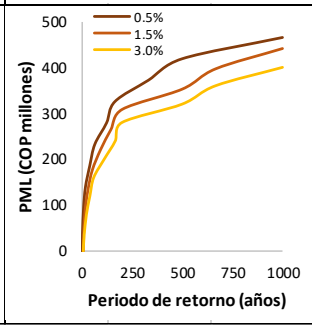
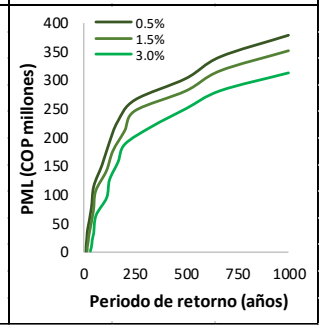
Portafolio	**TOLIMA A MENOR**								
Área (ha)	5,844								
Mínima producción simulada (ton)	12,048								
Precio producto (COP/ton)	$896,400								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$2,630								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	2.56			2.52			2.42		
Producción umbral (ton)	14,979			14,736			14,155		
Producción expuesta (COP millones)	$13,427			$13,209			$12,689		
PML 1000 años (COP millones)	$2,627			$2,409			$1,889		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$220			$134			$36		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	1.64%			1.02%			0.29%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$37.0	$27.3	$17.3	$23.1	$17.0	$10.2	$6.3	$4.4	$2.7
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	1.41%	1.04%	0.658%	0.88%	0.65%	0.389%	0.24%	0.17%	0.102%
Número de siniestros simulados	432	315	203	259	202	142	84	60	32
Tasa de siniestros	0.43	0.32	0.203	0.26	0.20	0.1420	0.08	0.06	0.032
Máxima reclamación (COP millones)	$501	$475	$436	$466	$440	$401	$378	$352	$313
ROL	7.38%	5.75%	3.97%	4.95%	3.87%	2.55%	1.67%	1.26%	0.86%
Periodo de recuperación (años)	14	17	25	20	26	39	60	79	116
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-37. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio de Tolima Ciclo A de menores de 20 ha.

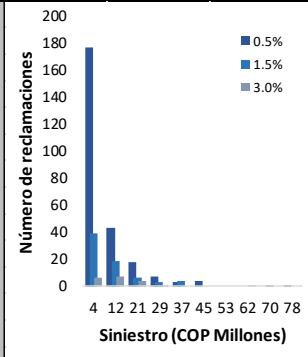
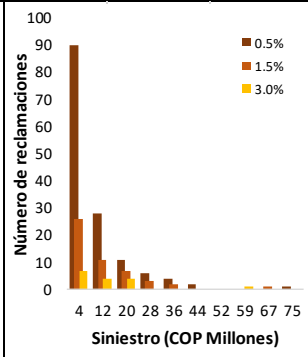
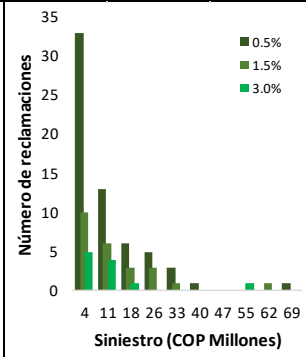
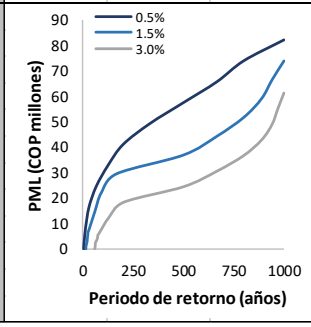
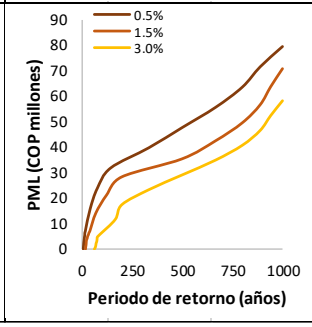
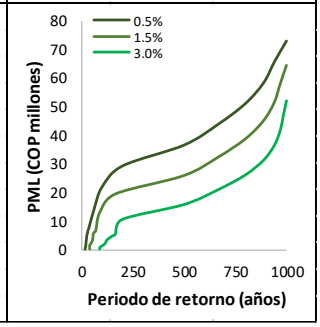
Portafolio	**TOLIMA A MAYOR**								
Área (ha)	1,869								
Mínima producción simulada (ton)	9,300								
Precio producto (COP/ton)	$896,400								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$841								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	5.55			5.53			5.48		
Producción umbral (ton)	10,364			10,324			10,239		
Producción expuesta (COP millones)	$9,290			$9,255			$9,178		
PML 1000 años (COP millones)	$954			$919			$842		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$38			$25			$11		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	0.41%			0.27%			0.12%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$1.9	$0.8	$0.3	$1.3	$0.6	$0.2	$0.7	$0.3	$0.1
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	0.23%	0.09%	0.031%	0.16%	0.07%	0.025%	0.08%	0.04%	0.015%
Número de siniestros simulados	253	72	19	142	50	16	62	24	11
Tasa de siniestros	0.25	0.07	0.019	0.14	0.05	0.0160	0.06	0.02	0.011
Máxima reclamación (COP millones)	$82	$74	$61	$79	$71	$58	$73	$65	$52
ROL	2.37%	1.05%	0.43%	1.68%	0.83%	0.36%	0.92%	0.51%	0.24%
Periodo de recuperación (años)	42	95	233	60	121	277	108	198	423
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-38. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio de Tolima Ciclo A de mayores de 20 ha.

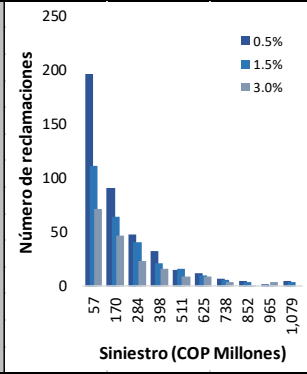
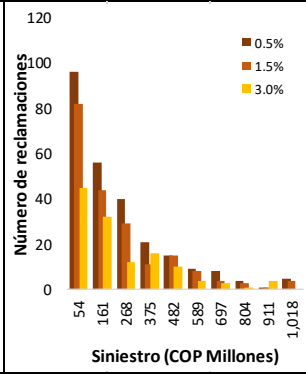
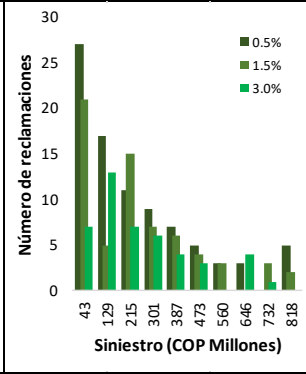
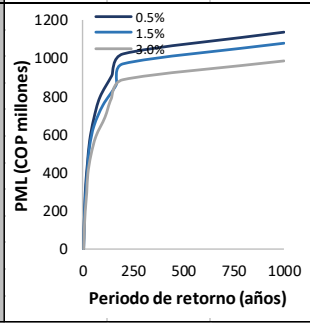
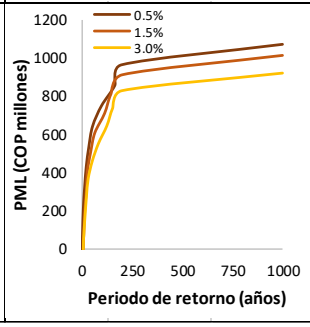
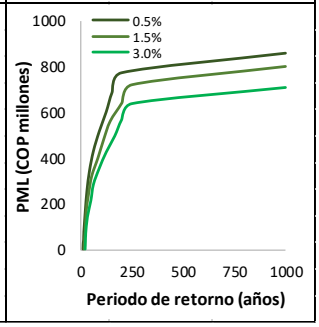
Portafolio	**TOLIMA B MENOR**								
Área (ha)	13,461								
Mínima producción simulada (ton)	27,345								
Precio producto (COP/ton)	$896,400								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$6,057								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	2.52			2.48			2.38		
Producción umbral (ton)	33,865			33,426			32,063		
Producción expuesta (COP millones)	$30,356			$29,963			$28,741		
PML 1000 años (COP millones)	$5,844			$5,451			$4,229		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$487			$331			$113		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	1.60%			1.11%			0.39%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$83.2	$62.5	$41.7	$58.6	$44.9	$30.3	$21.0	$16.4	$11.4
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	1.37%	1.03%	0.688%	0.97%	0.74%	0.500%	0.35%	0.27%	0.188%
Número de siniestros simulados	415	279	185	255	201	127	87	66	45
Tasa de siniestros	0.42	0.28	0.185	0.26	0.20	0.1270	0.09	0.07	0.045
Máxima reclamación (COP millones)	$1,136	$1,075	$984	$1,072	$1,011	$920	$861	$800	$709
ROL	7.33%	5.81%	4.23%	5.47%	4.44%	3.29%	2.43%	2.05%	1.61%
Periodo de recuperación (años)	14	17	24	18	23	30	41	49	62
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-39. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio de Tolima Ciclo B de menores de 20 ha.

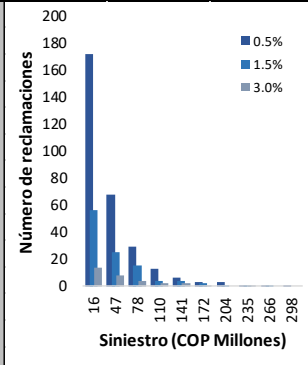
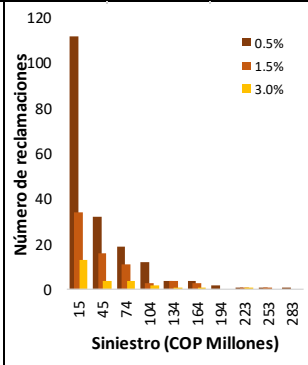
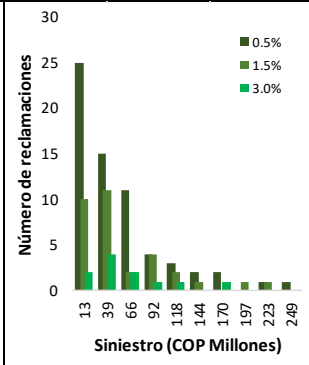
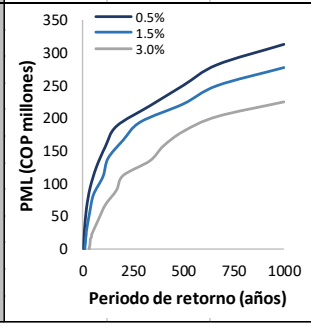
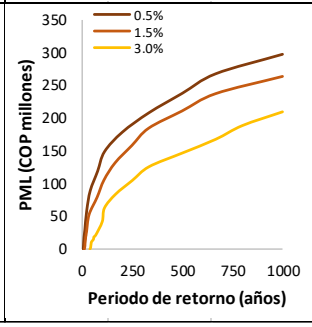
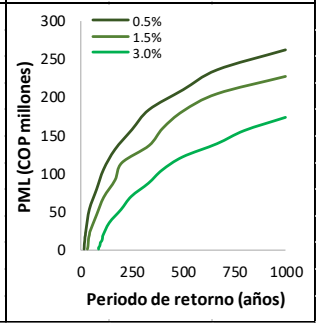
Portafolio	**TOLIMA B MAYOR**								
Área (ha)	7,852								
Mínima producción simulada (ton)	41,065								
Precio producto (COP/ton)	$896,400								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$3,534								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	5.77			5.74			5.68		
Producción umbral (ton)	45,307			45,090			44,597		
Producción expuesta (COP millones)	$40,614			$40,418			$39,976		
PML 1000 años (COP millones)	$3,803			$3,607			$3,165		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$212			$137			$55		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	0.52%			0.34%			0.14%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$11.7	$5.0	$1.8	$7.8	$3.6	$1.3	$3.4	$1.8	$0.7
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	0.33%	0.14%	0.051%	0.22%	0.10%	0.038%	0.10%	0.05%	0.020%
Número de siniestros simulados	297	109	32	188	73	26	64	32	11
Tasa de siniestros	0.30	0.11	0.032	0.19	0.07	0.0260	0.06	0.03	0.011
Máxima reclamación (COP millones)	$313	$278	$225	$298	$262	$209	$262	$227	$174
ROL	3.75%	1.81%	0.80%	2.61%	1.38%	0.64%	1.31%	0.78%	0.40%
Periodo de recuperación (años)	27	55	125	38	73	157	76	128	250
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-40. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio de Tolima Ciclo B de mayores de 20 ha.

Portafolios agrupados por ciclo

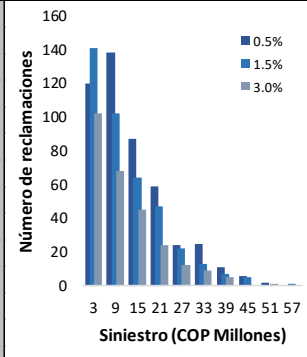
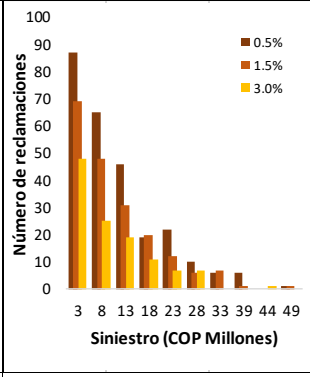
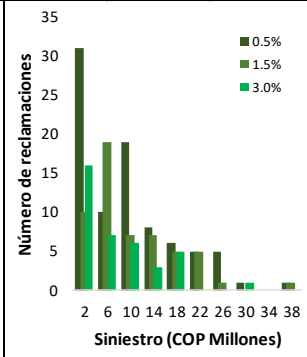
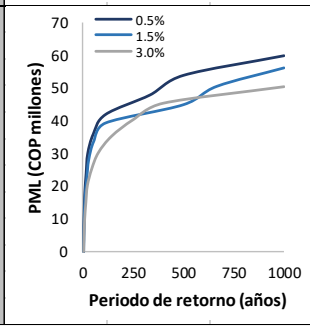
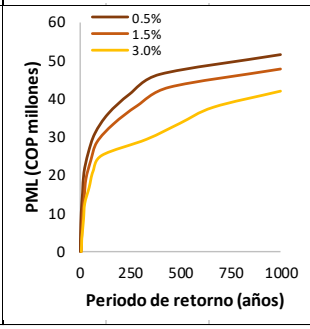
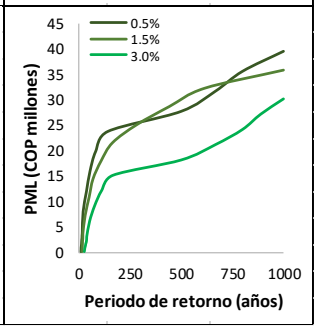
Portafolio	**ANTIOQUIA A**								
Área (ha)	837								
Mínima producción simulada (ton)	1,419								
Precio producto (COP/ton)	$1,036,800								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$377								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	2.03			1.98			1.91		
Producción umbral (ton)	1,697			1,654			1,595		
Producción expuesta (COP millones)	$1,759			$1,714			$1,654		
PML 1000 años (COP millones)	$288			$243			$182		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$34			$16			$4		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	1.94%			0.91%			0.26%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$6.4	$4.8	$2.9	$2.9	$2.0	$1.2	$0.8	$0.5	$0.3
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	1.70%	1.26%	0.762%	0.77%	0.54%	0.310%	0.21%	0.15%	0.075%
Número de siniestros simulados	473	402	266	262	195	118	86	55	38
Tasa de siniestros	0.47	0.40	0.266	0.26	0.20	0.1180	0.09	0.06	0.038
Máxima reclamación (COP millones)	$60	$56	$50	$51	$48	$42	$40	$36	$30
ROL	10.71%	8.49%	5.70%	5.64%	4.29%	2.77%	2.03%	1.52%	0.94%
Periodo de recuperación (años)	9	12	18	18	23	36	49	66	107
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-41. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio de Antioquia Ciclo A

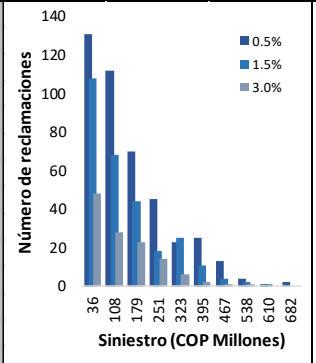
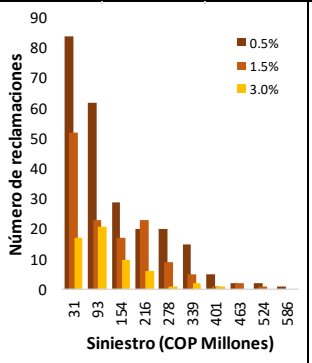
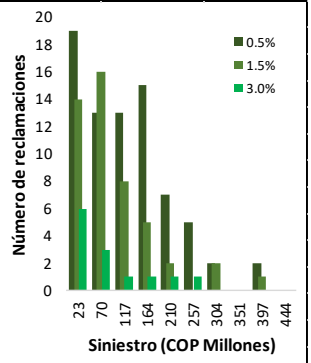
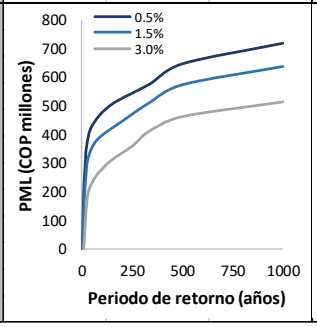
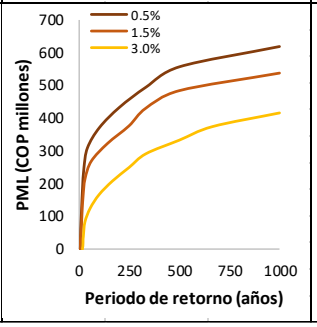
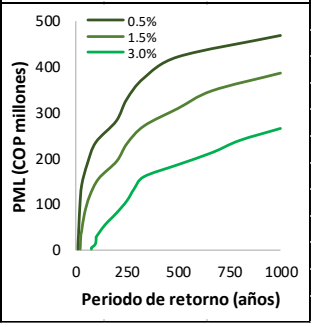
Portafolio	**ANTIOQUIA B**								
Área (ha)	18,059								
Mínima producción simulada (ton)	31,397								
Precio producto (COP/ton)	$1,036,800								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$8,126								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	1.92			1.89			1.85		
Producción umbral (ton)	34,628			34,160			33,490		
Producción expuesta (COP millones)	$35,903			$35,418			$34,723		
PML 1000 años (COP millones)	$3,350			$2,865			$2,170		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$381			$187			$56		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	1.06%			0.53%			0.16%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$67.5	$38.8	$15.3	$31.9	$17.3	$6.5	$9.7	$4.8	$1.1
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	0.83%	0.48%	0.189%	0.39%	0.21%	0.080%	0.12%	0.06%	0.013%
Número de siniestros simulados	426	281	123	240	133	58	77	48	13
Tasa de siniestros	0.43	0.28	0.123	0.24	0.13	0.0580	0.08	0.05	0.013
Máxima reclamación (COP millones)	$718	$636	$515	$617	$536	$414	$467	$386	$264
ROL	9.40%	6.10%	2.98%	5.17%	3.24%	1.57%	2.08%	1.23%	0.41%
Periodo de recuperación (años)	11	16	34	19	31	64	48	81	247
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-42. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio de Antioquia Ciclo B

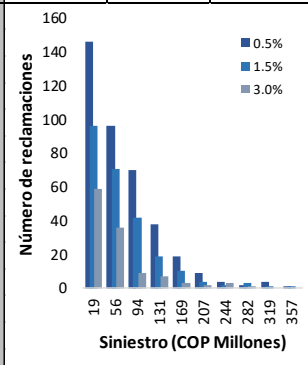
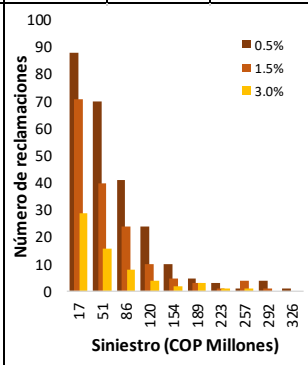
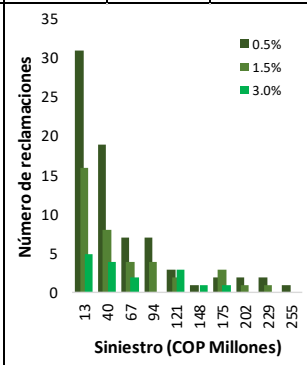
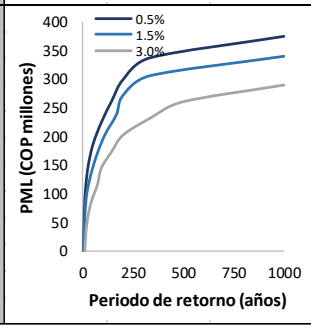
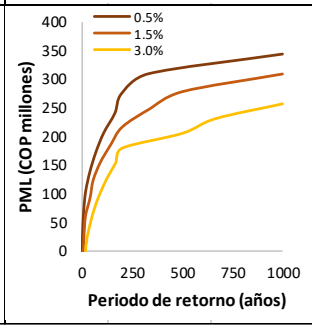
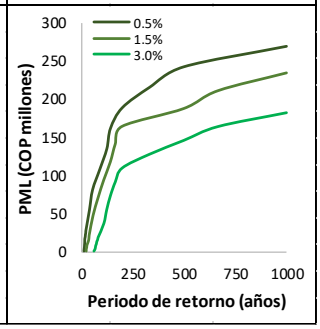
Portafolio	**TOLIMA A**								
Área (ha)	7,712								
Mínima producción simulada (ton)	22,458								
Precio producto (COP/ton)	$896,400								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$3,470								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	3.28			3.25			3.17		
Producción umbral (ton)	25,324			25,062			24,477		
Producción expuesta (COP millones)	$22,701			$22,465			$21,941		
PML 1000 años (COP millones)	$2,570			$2,334			$1,810		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$229			$136			$36		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	1.01%			0.60%			0.16%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$27.2	$16.4	$6.8	$16.3	$9.2	$3.7	$4.2	$2.3	$1.1
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	0.78%	0.47%	0.196%	0.47%	0.27%	0.106%	0.12%	0.07%	0.030%
Número de siniestros simulados	389	249	120	247	159	64	75	39	16
Tasa de siniestros	0.39	0.25	0.120	0.25	0.16	0.0640	0.08	0.04	0.016
Máxima reclamación (COP millones)	$375	$341	$289	$343	$309	$256	$269	$234	$182
ROL	7.25%	4.80%	2.35%	4.74%	2.98%	1.44%	1.57%	1.00%	0.58%
Periodo de recuperación (años)	14	21	42	21	34	69	64	100	173
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-43. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio de Tolima Ciclo A

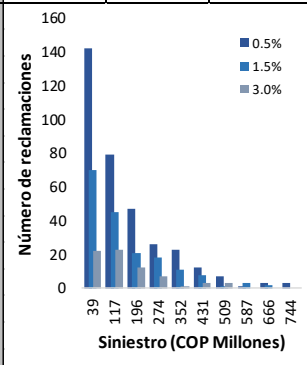
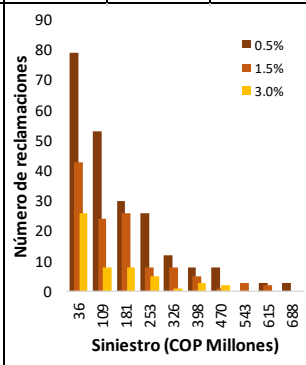
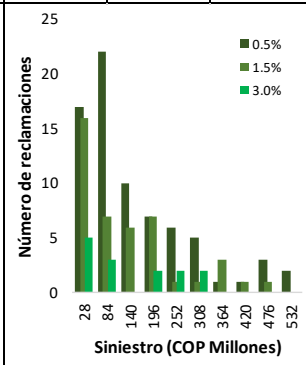
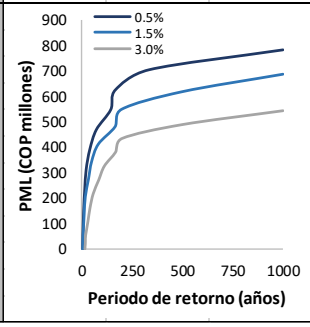
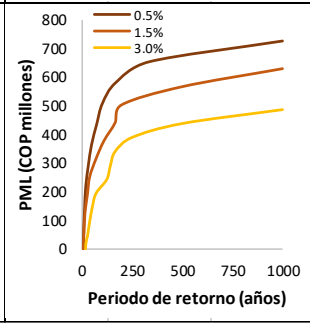
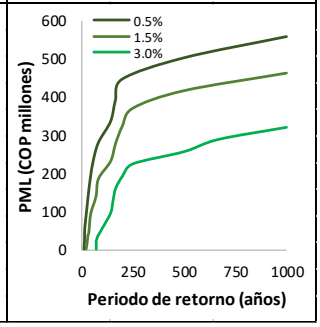
Portafolio	TOLIMA B								
Área (ha)	21,313								
Mínima producción simulada (ton)	72,122								
Precio producto (COP/ton)	$896,400								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$9,591								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	3.71			3.68			3.61		
Producción umbral (ton)	78,965			78,433			77,003		
Producción expuesta (COP millones)	$70,785			$70,308			$69,026		
PML 1000 años (COP millones)	$6,134			$5,657			$4,375		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$528			$343			$110		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	0.75%			0.49%			0.16%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$51.8	$27.9	$10.7	$34.4	$18.4	$7.0	$11.2	$5.7	$1.9
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	0.54%	0.29%	0.112%	0.36%	0.19%	0.073%	0.12%	0.06%	0.020%
Número de siniestros simulados	343	179	71	222	120	53	74	43	14
Tasa de siniestros	0.34	0.18	0.071	0.22	0.12	0.0530	0.07	0.04	0.014
Máxima reclamación (COP millones)	$783	$687	$543	$724	$628	$484	$560	$464	$320
ROL	6.61%	4.06%	1.97%	4.75%	2.94%	1.44%	1.99%	1.22%	0.60%
Periodo de recuperación (años)	15	25	51	21	34	70	50	82	167
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-44. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio de Tolima Ciclo B

Portafolios agrupados por departamento

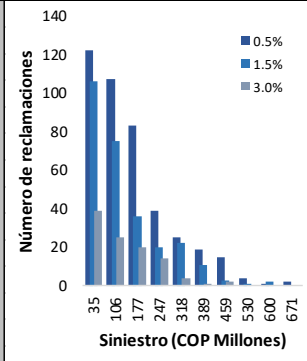
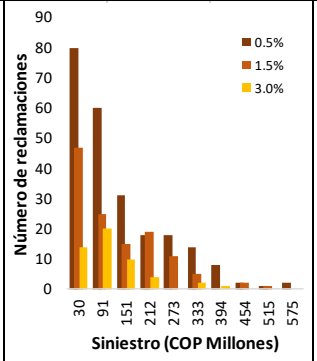
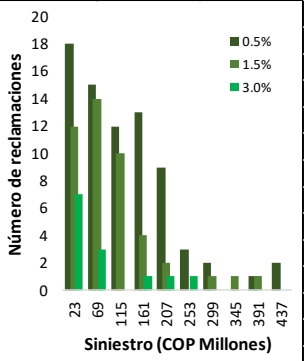
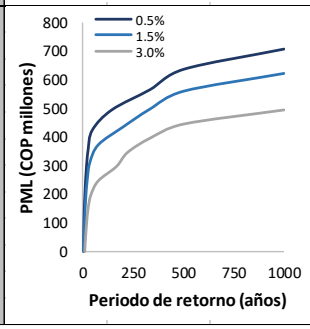
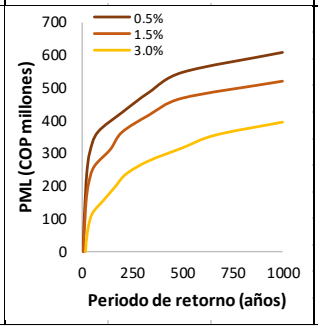
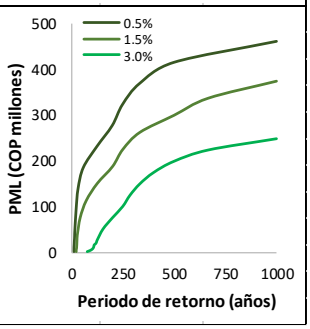
Portafolio	**ANTIOQUIA**								
Área (ha)	18,896								
Mínima producción simulada (ton)	33,110								
Precio producto (COP/ton)	$1,036,800								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$8,503								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	1.92			1.90			1.86		
Producción umbral (ton)	36,308			35,843			35,189		
Producción expuesta (COP millones)	$37,645			$37,162			$36,484		
PML 1000 años (COP millones)	$3,316			$2,833			$2,155		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$378			$185			$56		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	1.00%			0.50%			0.15%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$65.7	$36.4	$13.4	$30.9	$15.9	$5.6	$9.4	$4.4	$0.9
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	0.77%	0.43%	0.158%	0.36%	0.19%	0.065%	0.11%	0.05%	0.011%
Número de siniestros simulados	417	276	105	234	125	51	75	45	13
Tasa de siniestros	0.42	0.28	0.105	0.23	0.13	0.0510	0.08	0.05	0.013
Máxima reclamación (COP millones)	$706	$621	$494	$606	$521	$393	$460	$375	$247
ROL	9.30%	5.86%	2.72%	5.10%	3.06%	1.41%	2.05%	1.18%	0.37%
Periodo de recuperación (años)	11	17	37	20	33	71	49	85	268
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-45. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio de Antioquia

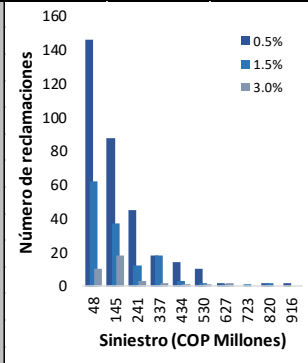
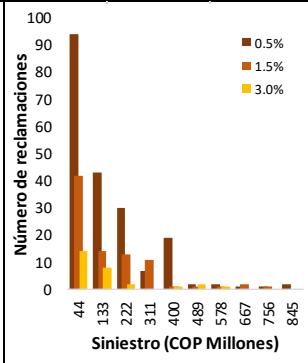
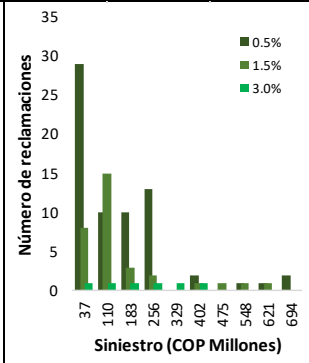
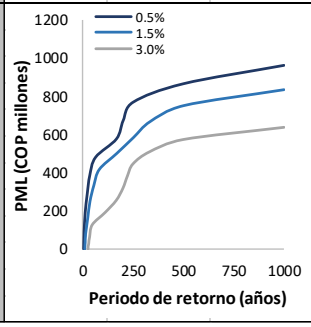
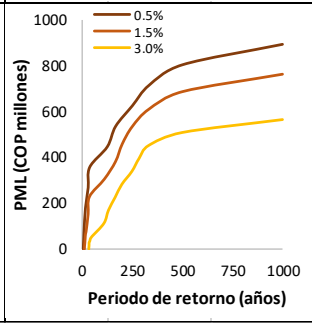
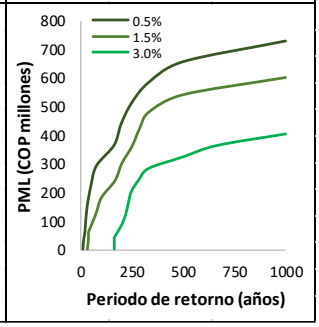
Portafolio	**TOLIMA**								
Área (ha)	29,025								
Mínima producción simulada (ton)	95,880								
Precio producto (COP/ton)	$896,400								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$13,061								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	3.59			3.56			3.52		
Producción umbral (ton)	104,084			103,445			102,105		
Producción expuesta (COP millones)	$93,301			$92,728			$91,527		
PML 1000 años (COP millones)	$7,354			$6,781			$5,580		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$552			$330			$113		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	0.59%			0.36%			0.12%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$50.9	$21.9	$6.4	$30.7	$13.5	$4.0	$10.7	$4.9	$1.4
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	0.39%	0.17%	0.049%	0.23%	0.10%	0.030%	0.08%	0.04%	0.011%
Número de siniestros simulados	327	138	37	201	86	28	68	32	6
Tasa de siniestros	0.33	0.14	0.037	0.20	0.09	0.0280	0.07	0.03	0.006
Máxima reclamación (COP millones)	$964	$834	$638	$890	$759	$563	$731	$600	$404
ROL	5.27%	2.63%	1.01%	3.44%	1.77%	0.70%	1.46%	0.81%	0.35%
Periodo de recuperación (años)	19	38	99	29	56	142	68	123	287
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-46. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio de Tolima

Portafolio total (todos los portafolios)

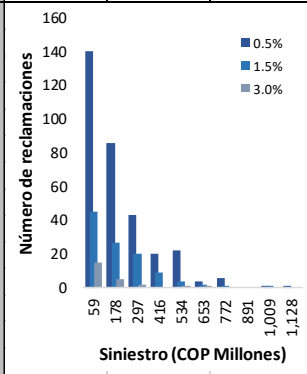
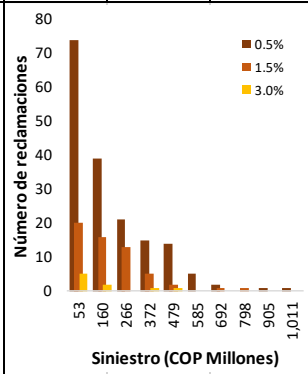
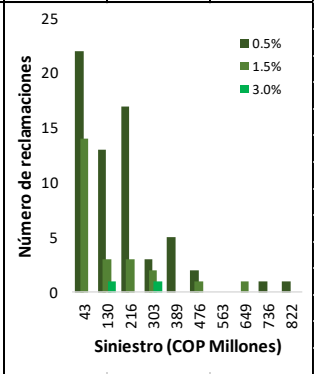
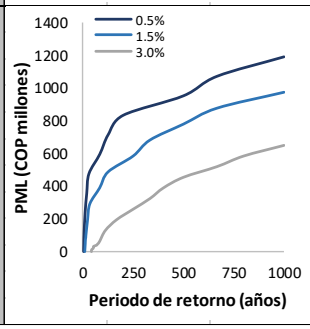
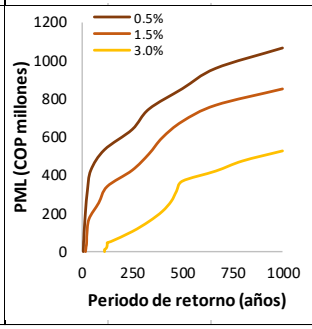
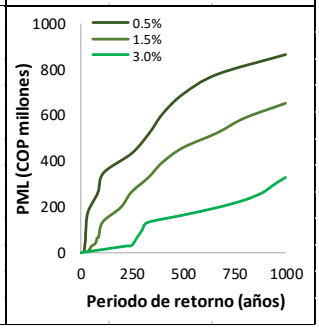
Portafolio	**TOTAL**								
Área (ha)	47,921								
Mínima producción simulada (ton)	131,876								
Precio producto (COP/ton)	$966,600								
Costos de insumos (COP/ha)	$450,000								
Suma asegurada (COP millones)	$21,564								
Umbrales de rendimiento	50%			70%			90%		
Rendimiento protegido (ton/ha)	2.93			2.91			2.88		
Producción umbral (ton)	140,303			139,455			138,110		
Producción expuesta (COP millones)	$135,617			$134,797			$133,497		
PML 1000 años (COP millones)	$8,146			$7,326			$6,026		
Pérdida Anual Esperada (COP millones)	$686			$365			$125		
Prima Pura de Riesgo (Producción)	0.51%			0.27%			0.09%		
Deducible	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%	0.5%	1.5%	3.0%
Siniestralidad esperada (COP millones)	$65.1	$21.3	$3.2	$33.5	$10.9	$1.5	$11.5	$3.1	$0.5
Prima Pura de Riesgo (Siniestralidad)	0.30%	0.10%	0.015%	0.16%	0.05%	0.007%	0.05%	0.01%	0.002%
Número de siniestros simulados	323	109	24	172	58	9	64	24	2
Tasa de siniestros	0.32	0.11	0.024	0.17	0.06	0.0090	0.06	0.02	0.002
Máxima reclamación (COP millones)	$1,187	$972	$648	$1,064	$849	$525	$866	$650	$326
ROL	5.48%	2.19%	0.50%	3.15%	1.28%	0.28%	1.33%	0.47%	0.15%
Periodo de recuperación (años)	18	46	202	32	78	355	75	213	654
Histogramas de distribución de la siniestralidad									
Curvas de PML de siniestralidad									

Figura 3-47. Métricas de valoración del seguro catastrófico calculadas para el portafolio total

Los cálculos presentados muestran múltiples posibles variaciones en la valoración de un seguro catastrófico para el portafolio de maíz blanco en Antioquia y Tolima. Los diferentes resultados deben ser interpretados a la luz del marco general de daños y pérdidas previamente mencionado. En este sentido, se puede afirmar que, en el contexto del riesgo agroclimático, todas las pérdidas evaluadas corresponden a flujos económicos que dejan de ser recibidos por el sector. Esto marca

una diferencia con las evaluaciones tradicionales de riesgo a propiedad, dado que no se trata, en este caso, de pérdidas en activos fijos. Por lo tanto, las pérdidas evaluadas tienen dos características fundamentales:

- Sus montos son relativamente bajos. El valor de la producción anual es en general menor en comparación al valor de activos fijos de la producción agropecuaria, como la maquinaria o el costo de la tierra.
- Sus frecuencias son altas. La producción agrícola genera flujos económicos anuales, fluctúa de forma significativa y es altamente sensible a las condiciones climáticas del ciclo, por lo cual es altamente probable que se causen siniestros y pérdidas como consecuencia normal de las dinámicas del clima.

Dadas estas características inherentes al tipo de riesgo bajo análisis, es altamente recomendable la conformación de portafolios de orden nacional. Esto permitiría dimensionar un seguro que sea competitivo en el mercado y que permita una mayor diversificación geográfica del riesgo.

4 Piloto de pérdidas modeladas

Con el fin de establecer un procedimiento para la verificación de los montos de las reclamaciones del seguro agrícola catastrófico siguiendo un esquema de perdidas modeladas, se definió un piloto a modo de ejemplo en el cual se simulan las perdidas sobre los portafolios definidos en Antioquia y Tolima, haciendo uso del modelo de riesgo catastrófico con el cual se determinaron las métricas presentadas anteriormente.

La implementación de un esquema de pérdidas modeladas implica la existencia de un agente *modelador*, imparcial e independiente de la compañía de seguros y de los asegurados, que se encarga de mantener y ejecutar el modelo de cálculo para obtener el monto de la reclamación.

En términos generales, el proceso de modelar la pérdida requiere de los siguientes pasos:

- *Emisión de un aviso de siniestro por parte del asegurado*. Este proceso permite dar conocimiento de manera formal a la compañía de seguros de la ocurrencia de un siniestro cubierto por la póliza.
- *Descarga de la información climática*. El modelador obtiene la mejor información climática posible para la parametrización del modelo de pérdidas. Este proceso puede ocurrir una vez terminado el ciclo productivo o durante este, según el momento en que se dé el aviso de siniestro y lo estipulado en el contrato de seguro. En caso de requerirse el cálculo para un ciclo productivo no concluido, la información climática deberá ser complementada con simulaciones que incorporen pronósticos estacionales oficiales del IDEAM.
- *Cálculo de la reclamación*. Usando el modelo catastrófico de los portafolios cubiertos, se modela la pérdida con la información climática completa del ciclo, o parcial complementada con simulaciones ajustadas al pronóstico estacional de IDEAM. El modelo catastrófico da cuenta del rendimiento simulado con la información climática en la totalidad del portafolio, la cual se compara con el rendimiento protegido y, en caso de ser menor a este, procede el pago de la reclamación. Sobre el monto de la pérdida calculado, el modelador aplica las condiciones de la póliza (deducible, límite, etc.) con el fin de determinar el monto de la reclamación. En seguida, el modelador informa de manera formal a la compañía de seguros del monto calculado, para que esta inicie los procesos internos asociados al pago.

4.1 Información climática

Se requiere de información climática a escala diaria de precipitación y temperatura del aire (promedio, máxima y mínima del día), desde por lo menos 30 días previos a la fecha prevista de siembra, hasta el momento en que se da el aviso de siniestro. La información debe ser obtenida de bases de información con puntos de información dispuestos en las mismas ubicaciones del modelo base de cálculo catastrófico. La Figura 4-1 muestra la ubicación de las estaciones usadas en la modelación. En el Anexo 2 se listan las ubicaciones requeridas como entrada al modelo.

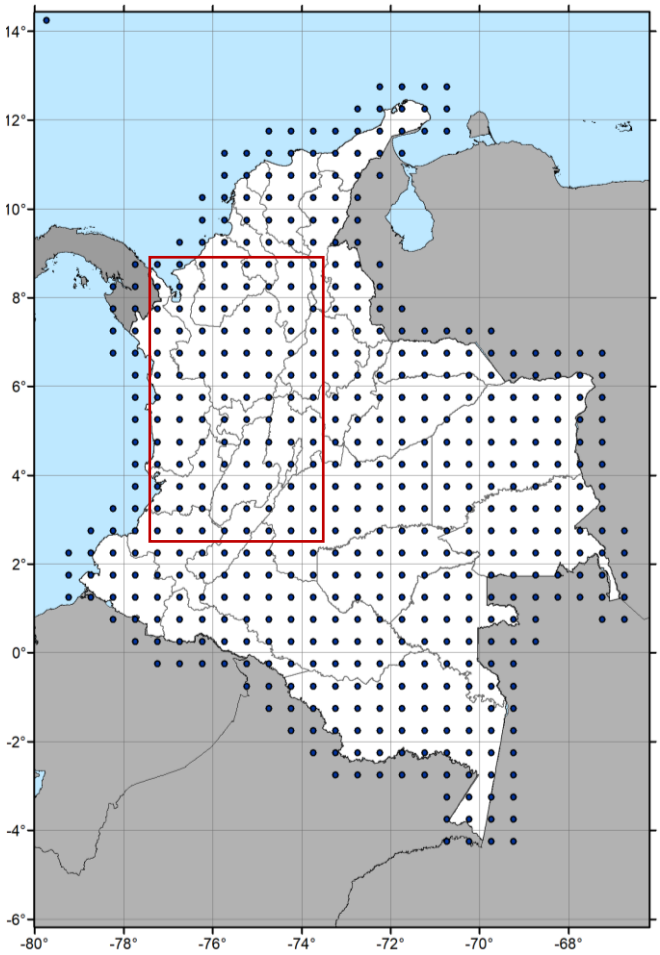


Figura 4-1. Ubicaciones de información meteorológica usadas en el modelo de riesgo catastrófico. Para los portafolios de Antioquia y Tolima solo se requieren las ubicaciones en el recuadro rojo.

Dado que el aviso de siniestro dispara una secuencia de procesos para la estimación del monto de la reclamación, se recomienda el uso de la información climática disponible en el dataset de ERA5 Copernicus, el cual se encuentra disponible para las mismas ubicaciones requeridas por el modelo catastrófico, y se publica con tan solo 5 días de retraso. Otros servicios de información, como CHIRPS o Universidad de Princeton presentan retrasos mayores (de varias semanas o meses), y la información climática registrada en estaciones en tierra del IDEAM no tiene la uniformidad espacial requerida, e implica un procesamiento importante a los datos con el fin de acomodarla a las ubicaciones del modelo.

4.1.1 ERA5 Copernicus

El Servicio de Cambio Climático Copernicus, financiado por la Unión Europea, publica un dataset meteorológico global para la modelación y monitoreo del clima. Esta base de datos provee

información meteorológica resultado del reanálisis desarrollado por el European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, siendo ERA5 la 5ta generación del modelo generado.

ERA5 se produce utilizando la asimilación de datos 4D-Var en CY41R2 del Sistema de pronóstico integrado (IFS) de ECMWF, con 137 niveles de presión vertical, con el nivel superior en 0.01 hPa. Los datos atmosféricos están disponibles en estos niveles y también se encuentran disponibles datos de superficie, que contienen parámetros como precipitación y temperatura a 2 m. El IFS está acoplado a un modelo de suelo, cuyos parámetros también se designan como parámetros de superficie y un modelo de olas del océano (Hersbach et al., 2020).

La información publicada está disponible desde el año 1979, con un retraso en publicación de registros de 5 días, frecuencia horaria y una malla de resolución de 0.25°. Se puede descargar de forma gratuita del sitio https://cds.climate.copernicus.eu/ en formato raster tipo grid o NetCDF.

En el Anexo 3 se presenta un tutorial para la descarga de información climática de ERA5 Copernicus una vez se dé el aviso de siniestro.

4.2 Modelo de cálculo

El modelo de cálculo ha sido construido en el software Drought Pro (Bernal et. al., 2018) y es el mismo con el cual se determinaron las métricas probabilistas y de valoración de seguro presentadas anteriormente. Este sistema permite la conformación de modelos de riesgo climático para portafolios agropecuarios. En base a estas capacidades, el sistema incluye una herramienta de cálculo por pérdidas modeladas con el objetivo de dimensionar montos de reclamaciones de seguros siguiendo un esquema de Índices de Area-Rendimiento.

4.2.1 Drought Pro

Drought Pro implementa todos los procesos de simulación de clima, cambio climático, y cálculo de respuesta al agua de cultivos en los cuales se ha basado el desarrollo completo de esta consultoría.

Drought Pro es un software desarrollado para la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo agroclimático. Permite estimar las pérdidas en los cultivos expuestos a eventos climáticos, haciendo uso de modelos de vulnerabilidad que relacionan la humedad disponible en el suelo, salinidad, fertilidad y temperatura del aire con el desarrollo de cultivos y la producción de cosecha. Drought Pro permite almacenar, editar y actualizar la información de amenazas, exposición, vulnerabilidad y riesgo. El programa calcula para múltiples escenarios de clima y cultivos las principales métricas probabilistas de riesgo de forma simultánea. Se obtienen entonces resultados tanto para el portafolio completo de cultivos, como desagregado por producto.

Drought Pro ha sido desarrollado por INGENIAR CAD/CAE Ltda. Implementa la metodología probabilista de evaluación del riesgo agroclimático propuesta por Bernal et.al. (2017). Drought Pro hace uso de AquaCrop .NET como motor de cálculo de respuesta al agua de cultivos.

AquaCrop .NET es un desarrollo independiente de INGENIAR CAD/CAE Ltda., basado en el software *AquaCrop-OS*, desarrollado por Foster et.al (2017).

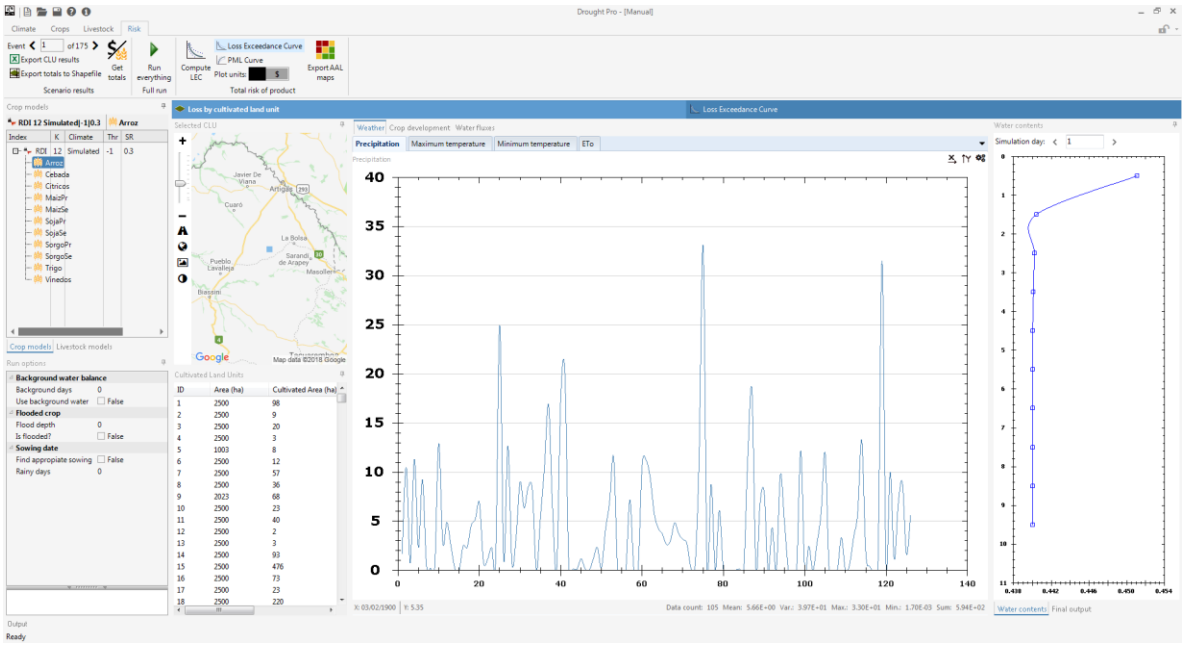


Figura 4-2. Software Drought Pro para estimación de pérdidas en producción agropecuaria por eventos climáticos.

4.2.2 Pronósticos estacionales

El IDEAM, en asocio con el Instituto Internacional de Investigación para el Clima y la Sociedad-IRI, de la Universidad de Columbia, ha implementado recientemente un Sistema de Predicción Climática Estacional de segunda generación (NextGen) para Colombia. NextGen se basa en la estimación probabilista de los totales estacionales de precipitación (2.5 meses), incorporando la variabilidad climática de gran escala e identificando cambios proyectados en variables climatológicas a nivel regional y local. NextGen se basa en un conjunto de modelos climáticos globales, escalados estadísticamente a ubicaciones sobre una malla, para estaciones meteorológicas o datos derivados de satélites (e.g. CHIRPS), que permite tener mejores resultados de predicción climática estacional en escala nacional, con una resolución espacial aceptable.

La Figura 4-3 muestra el mapa de distribución del valor medio de la precipitación total pronosticada para los meses de diciembre de 2020 a febrero de 2021, calculada en noviembre de 2020. El pronóstico probabilista de una ubicación arbitraria en Tolima se presenta también en la Figura 4-3. Como se puede observar, NextGen devuelve a nivel puntual una distribución de probabilidad de la precipitación total del periodo donde el pronóstico es válido.

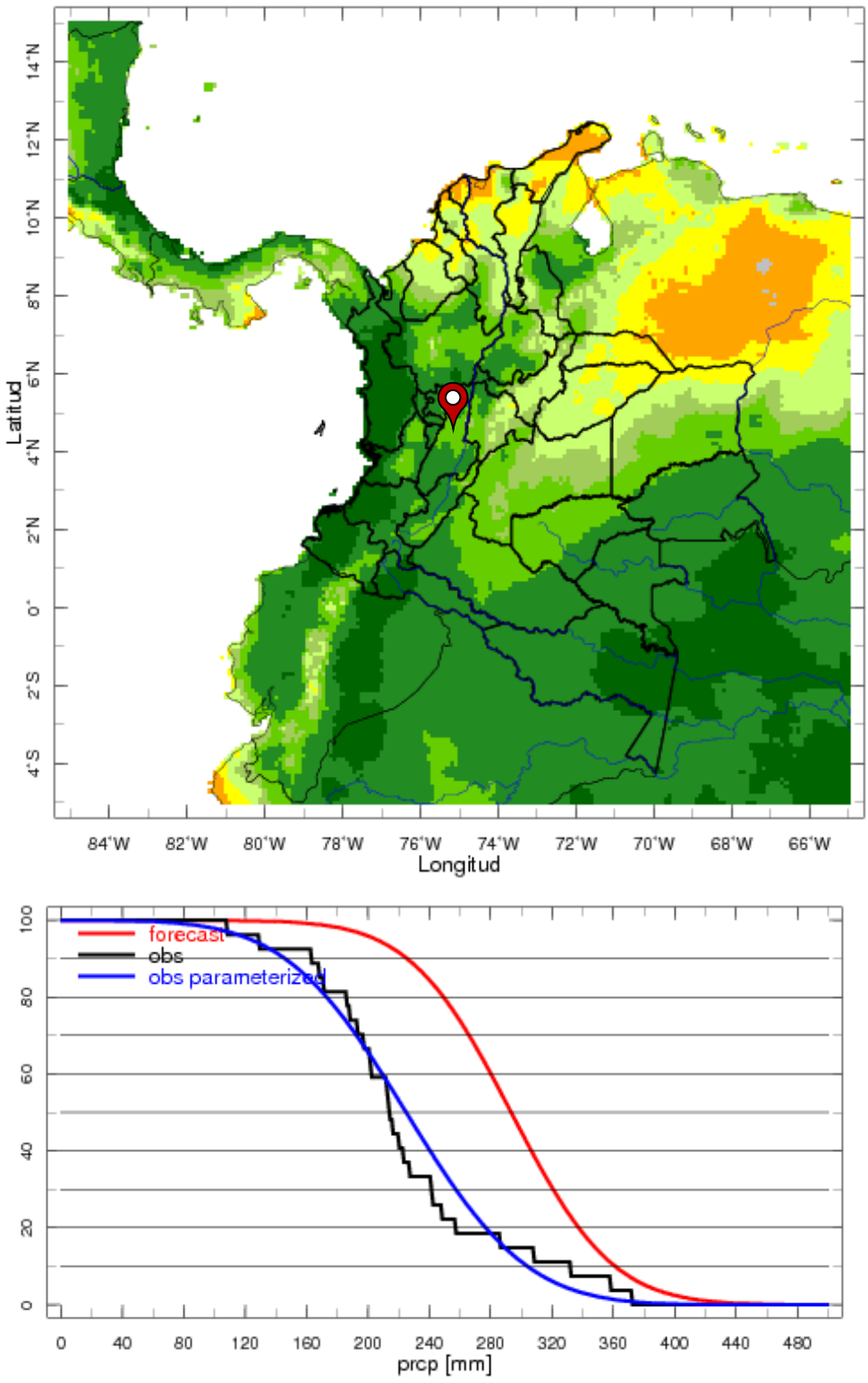


Figura 4-3. Pronósticos estacionales NextGen. Arriba: mapa de distribución de la precipitación media del periodo. Abajo: Distribución de probabilidad del pronóstico estacional para una ubicación arbitraria en Tolima.

En caso de realizarse el cálculo de las pérdidas durante un ciclo productivo en curso, el clima simulado usado para complementar la información no registrada aún debe ser ajustado al pronóstico estacional de IDEAM, mediante la simulación de la precipitación del periodo pronosticado y el ajuste de las series meteorológicas a dichos totales. El sistema Drought Pro usado en la modelación del riesgo catastrófico en esta consultoría incorpora los pronósticos estacionales NextGen de IDEAM de forma automática cuando la información climática ingresada no cubre el periodo productivo completo.

4.3 Ejemplo de pérdidas modeladas

Con el objetivo de demostrar el tipo de resultados obtenidos de la modelación de pérdidas, se simulan avisos de siniestro bajo diferentes climas. Con respecto a las condiciones de seguro, por facilidad, se fijaron las siguientes para este ejemplo:

- Rendimiento protegido del 50%.
- Deducible del 1.5% de la suma asegurada.

Con respecto al clima para la simulación, se seleccionaron 3 años históricos con diferentes cantidades de precipitación. En particular:

- Año 2011 – Condiciones de mucha lluvia
- Año 2013 – Condiciones de clima intermedias
- Año 2015 – Condiciones de clima seco

La selección de estos años permite simular diferentes condiciones de cantidad de precipitación con el objetivo de ver las variaciones en los montos de las reclamaciones simuladas. Se simularon dentro de cada año ambos ciclos productivos, con 3 momentos de aviso de siniestro por ciclo, de la siguiente manera:

- Ciclo A:
  - Aviso en el primer tercio del ciclo (A1): el aviso ocurre el 20 de abril.
  - Aviso en el segundo tercio del ciclo (A2): el aviso ocurre el 20 de mayo.
  - Aviso tras la culminación del ciclo (A3): el aviso ocurre el 30 de junio.
- Ciclo B:
  - Aviso en el primer tercio del ciclo (A1): el aviso ocurre el 20 de octubre.
  - Aviso en el segundo tercio del ciclo (A2): el aviso ocurre el 20 de noviembre.
  - Aviso tras la culminación del ciclo (A3): el aviso ocurre el 30 de diciembre.

La Tabla 4-1 muestra los valores calculados de las reclamaciones haciendo uso del modelo de riesgo catastrófico, para las condiciones presentadas. Es posible ver el efecto que tiene el uso de información climática incompleta (sin culminar el ciclo) en el resultado obtenido. Por ejemplo, con el clima del año 2013, se ve una tendencia al alza en los valores de las reclamaciones al incluir más información histórica, es decir al darse el aviso de siniestro hacia el final del ciclo productivo. Se puede afirmar que entre más información histórica componga el clima simulado, menor riesgo de base tiene la estimación de la reclamación. En este sentido, lo ideal sería verificar las pérdidas

en producción una vez culminado el ciclo, independientemente del momento en el cual se emita el aviso de siniestro.

Es posible ver también como con el clima del año 2011, que en general presenta mayores cantidades de precipitación en ambos departamentos, no se causan reclamaciones en todos los portafolios, mientras que, con el clima de 2015, se obtienen montos de reclamación importantes. Esto permite concluir que los eventos climáticos que inducen estrés hídrico en las plantas (como las sequías) conllevan las mayores pérdidas en producción y, por lo tanto, las mayores reclamaciones.

Tabla 4-1. Montos de reclamaciones modeladas para todos los portafolios y las condiciones indicadas anteriormente. Valores en COP millones

Portafolios	2011			2013			2015		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
ANTIOQUIA									
Antioquia A mayor	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
Antioquia A menor	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$53	$50	$50
Antioquia B mayor	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$31	$65
Antioquia B menor	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$30	$41
Antioquia Ciclo A	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$53	$50	$50
Antioquia Ciclo B	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$60	$106
Antioquia	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$53	$110	$156
TOLIMA									
Tolima A mayor	$0	$0	$0	$0	$38	$55	$0	$193	$295
Tolima A menor	$0	$0	$0	$47	$48	$70	$0	$39	$158
Tolima B mayor	$0	$0	$0	$0	$13	$27	$382	$599	$618
Tolima B menor	$0	$0	$0	$39	$26	$19	$353	$308	$334
Tolima Ciclo A	$0	$0	$0	$47	$86	$124	$0	$232	$453
Tolima Ciclo B	$0	$0	$0	$39	$39	$46	$735	$907	$951
Tolima	$0	$0	$0	$86	$125	$170	$735	$1,139	$1,404
TODOS LOS PORTAFOLIOS									
Total	$0	$0	$0	$86	$125	$170	$789	$1,249	$1,560

Una vez calculada una reclamación, es posible distribuir el monto espacialmente a nivel de municipios, como se muestra en la Figura 4-4 para el clima del año 2015 con el aviso A3. Aunque es numéricamente posible, no se recomienda desagregar las pérdidas a unidades menores a municipios (e.g. veredas o UPAs), debido a que la simulación tiene sentido para una agrupación grande de unidades de cálculo, lo que significa que en menores escalas geográficas el riesgo de base aumenta significativamente.

Del ejemplo presentado puede concluirse que, para que el seguro sea atractivo desde el punto de vista comercial, dado el monto de las reclamaciones en comparación al monto de las primas que se cobrarían (que pueden aproximarse como la siniestralidad esperada por un factor amplificador que contenga los gastos administrativos y utilidad de la compañía), debería considerarse la posibilidad de ampliar el portafolio para incluir todos los tipos de maíz en todos

los departamentos en los que se produce. Como se demostró en el ejercicio de diversificación, esto implica un menor riesgo catastrófico, mayores primas y menor siniestralidad relativa.

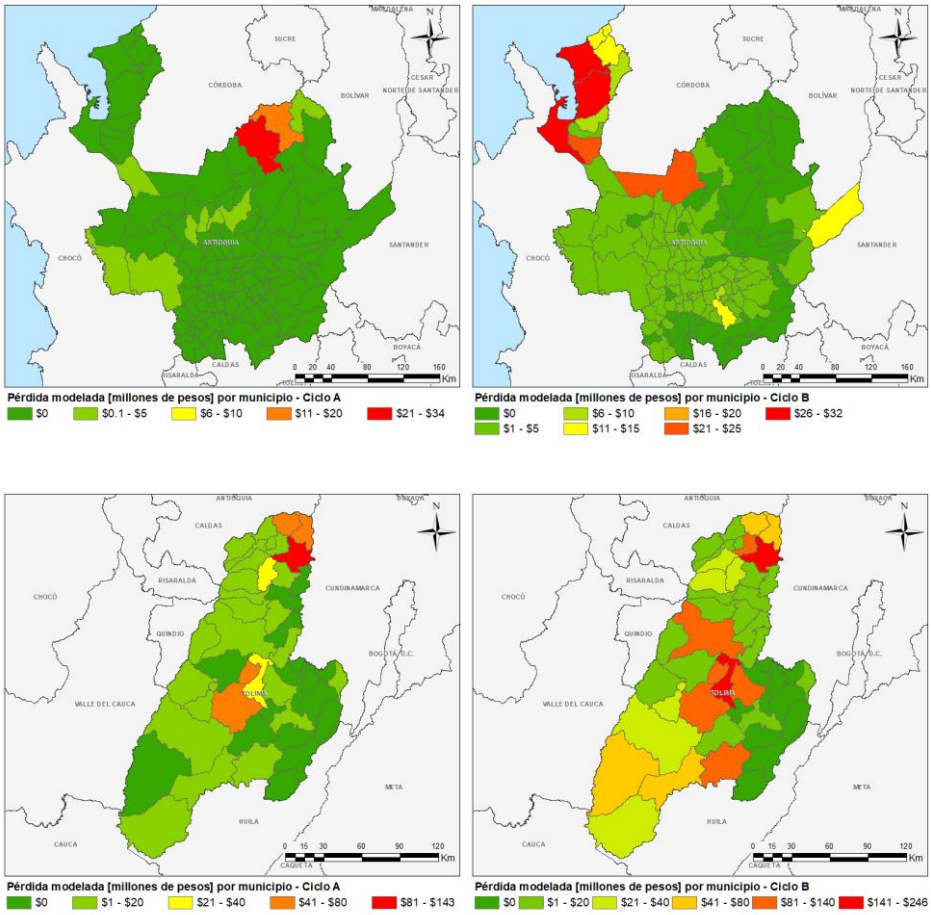


Figura 4-4. Mapas de pérdidas modeladas totalizados a nivel municipal por departamento y ciclo.

5 Abreviaciones

CHIRPS	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (UC Santa Barbara)
CV	Coeficiente de variación
ECMRWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
FAO	Food and Agriculture Organization
FENALCE	Federación Nacional de Cultivadores de Cereales
ha	Hectárea
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IFS	Integrated Forecast System
NextGen	Pronósticos estacionales de IDEAM de nueva generación
PAE	Pérdida Anual Esperada
PML	Probable Maximum Loss
PP	Prima Pura
P_Q	Probabilidad de quiebra
RCP	Representative Concentration Pathway
ROL	Rate-On-Line
SA	Suma Asegurada
SE	Siniestralidad Esperada
ton	Tonelada
UNDRR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction
UPA	Unidad Productora Agropecuaria

6 Referencias

Banco Mundial. (2017). Seguro Agrícola Catastrófico en Colombia. Estudio de Factibilidad. Bogotá. Preparado para FINAGRO.

Bernal, G. A., Escovar, M. A., Zuloaga, D., & Cardona, O. D. (2017). Agricultural Drought Risk Assessment in Northern Brazil: An Innovative Fully Probabilistic Approach. En V. Marchezini, B. Wiesner, S. Saito, & L. Londe (Eds.), Reduction of Vulnerability to Disasters: from Knowledge to Action (RiMa Edito, pp. 331–356).

Bernal, G., Rincon, D., & Cardona, O. D. (2018). Drought Pro: Computer program for probabilitic drought risk assessment of crops and livestock systems.

Bernal, G., Cardona, O. D., Marulanda, M.C, Carreño, M.L. (2021). Dealing with Uncertainty using Fully Probabilistic Risk Assessment for Decision Making. Saeid Eslamian & Faezeh Eslamian (Eds): Handbook of Disaster Risk Reduction for Resilience. Springer Nature (In Press).

Copernicus Climate Change Service. (2017). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS). Tomado de https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home

FENALCE. (2019). Precios del mercado. Ingenieros Regionales. www.fenalce.org

Foster, T., Brozović, N., Butler, A.P., Neale, C.M.U., Raes, D., Steduto, P., Fereres. E., Hsiao, T.C. (2017) AquaCrop-OS: An open source version of FAO's crop water productivity model. Agricultural Water Management. 181: 18-22.

Gobernación de Antioquía. (2019). Anuario Estadístico del Sector Agropecuario Departamento Antioquía 2018. Medellín.

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Simmons, A. (2020). The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146(730), 1999-2049.

IDEAM, IRI. Sistema de Predicción Climática Estacional de segunda generación NextGen. http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/ACToday/Colombia/NextGen_Precip.html.

A. 1 Series de pérdida en producción

A. 1.1 Antioquia

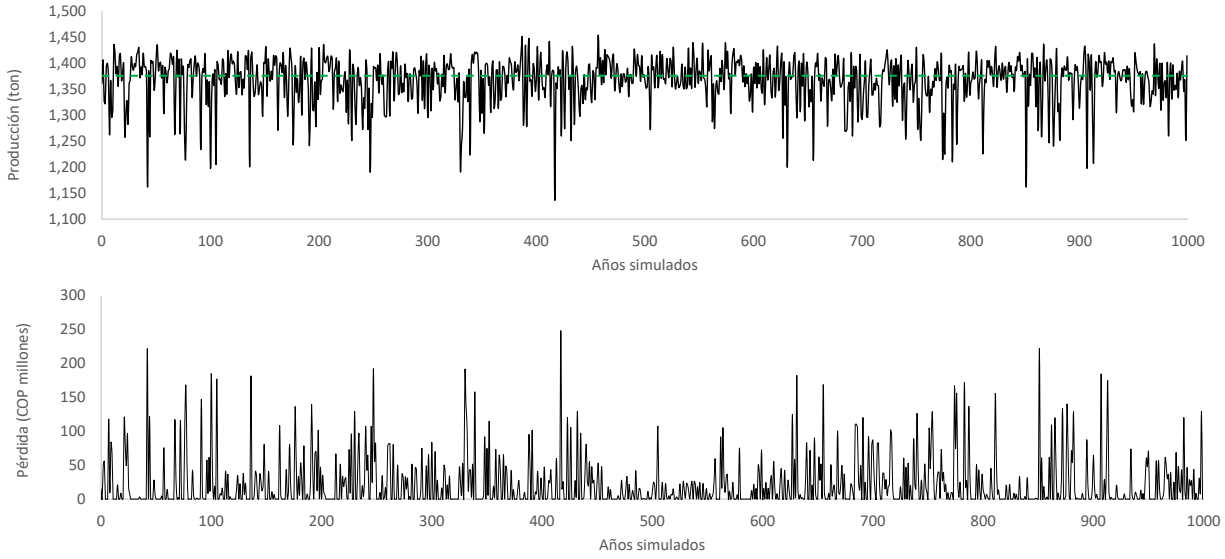


Figura A 1. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Antioquia Ciclo A de menores de 20 ha. En verde la producción umbral.

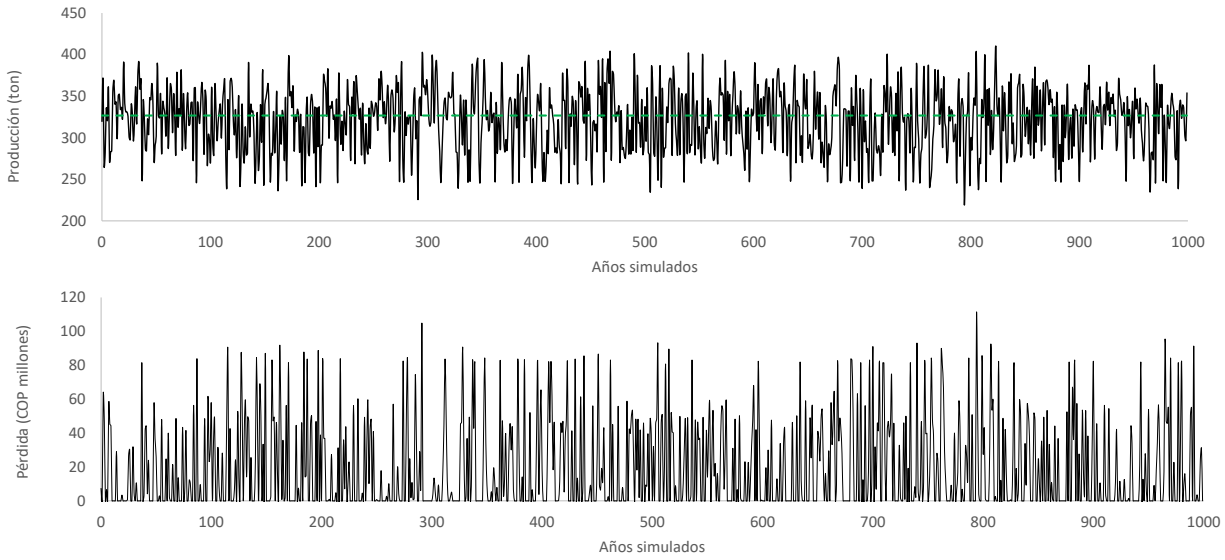


Figura A 2. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Antioquia Ciclo A de mayores de 20 ha. En verde la producción umbral.

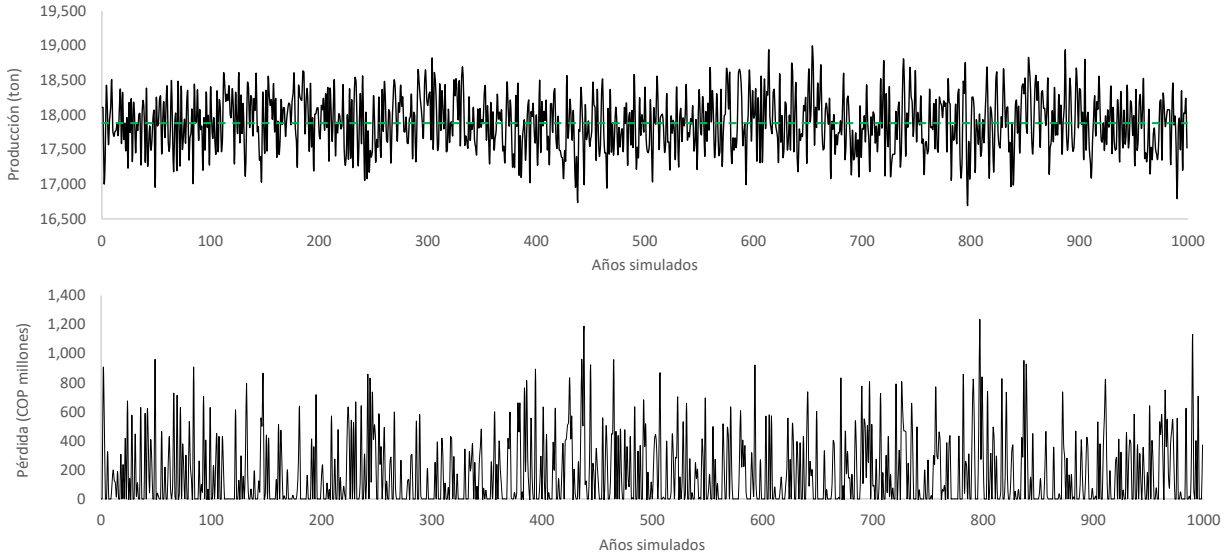


Figura A 3. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Antioquia Ciclo B de menores de 20 ha. En verde la producción umbral.

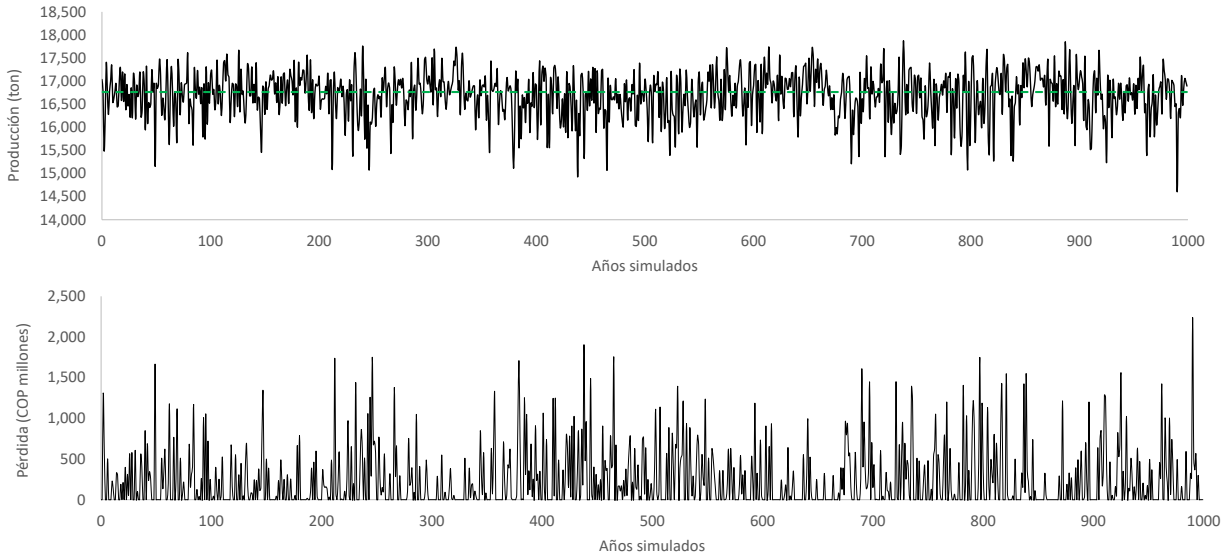


Figura A 4. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Antioquia Ciclo B de mayores de 20 ha. En verde la producción umbral.

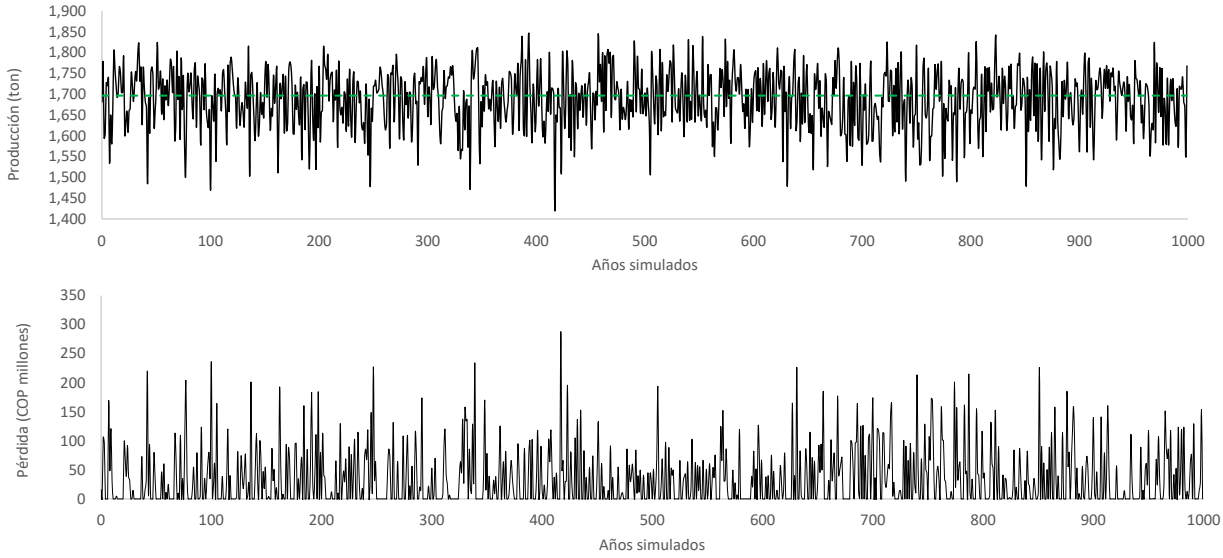


Figura A 5. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Antioquia Ciclo A. En verde la producción umbral.

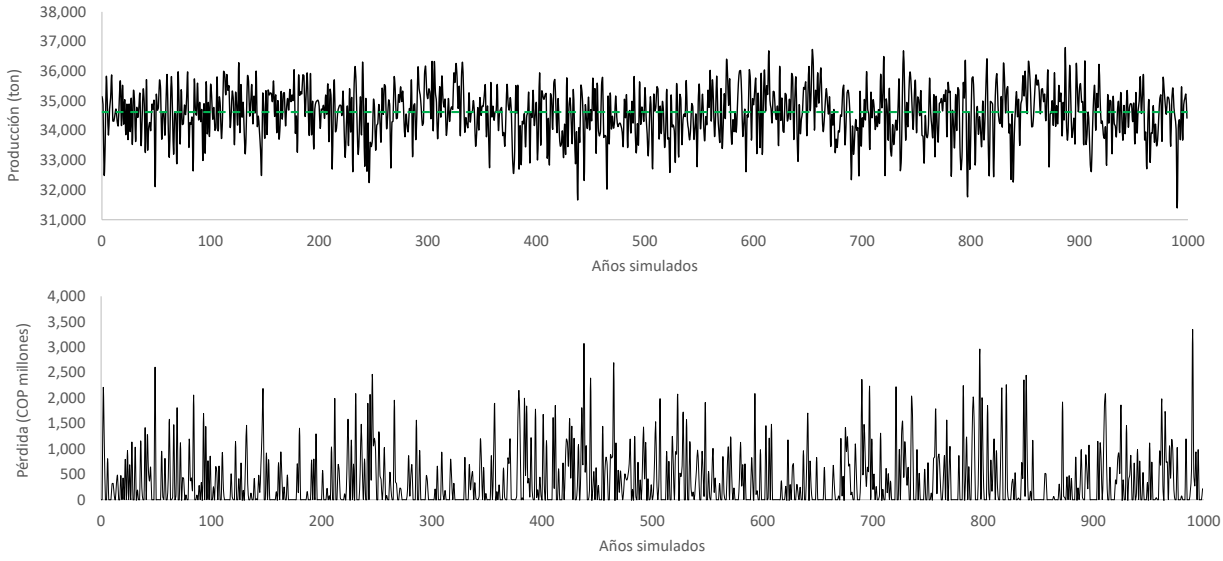


Figura A 6. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Antioquia Ciclo B. En verde la producción umbral.

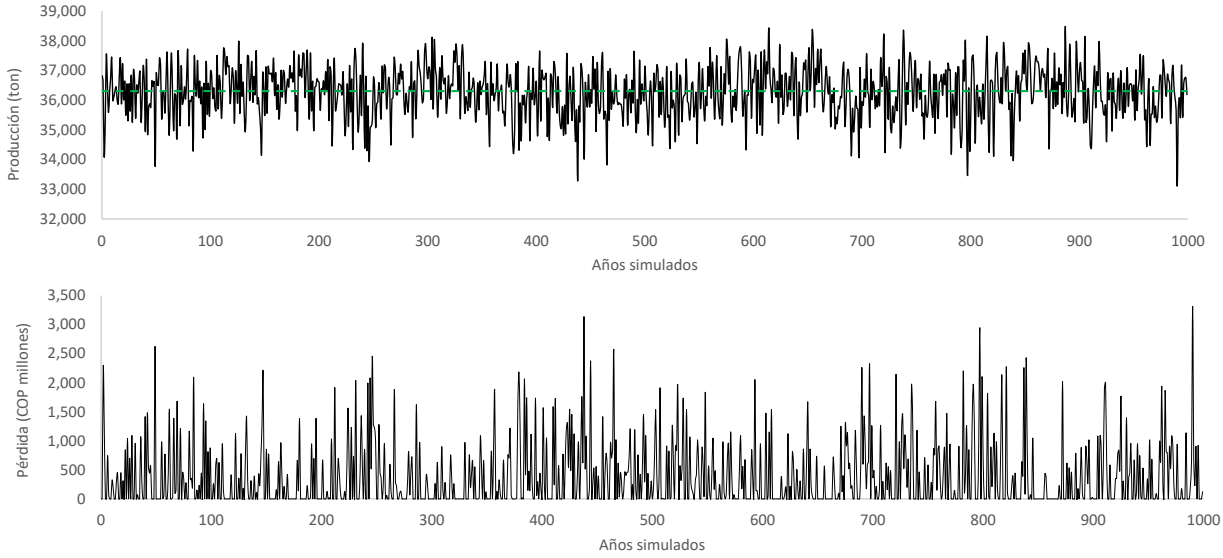


Figura A 7. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Antioquia total. En verde la producción umbral.

A. 1.2 Tolima

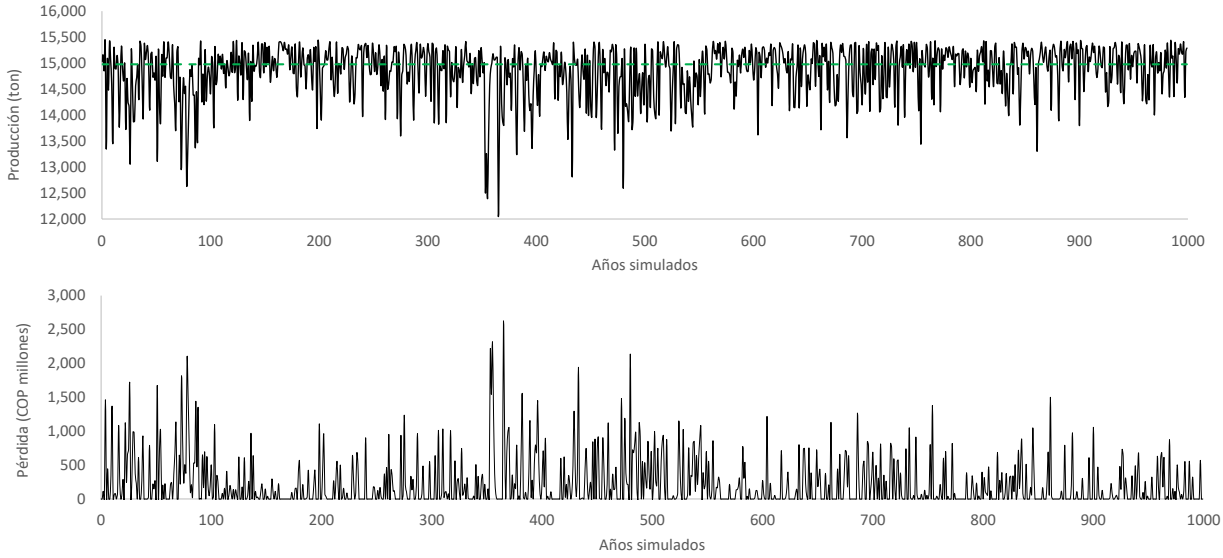


Figura A 8. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Tolima Ciclo A de menores de 20 ha. En verde la producción umbral.

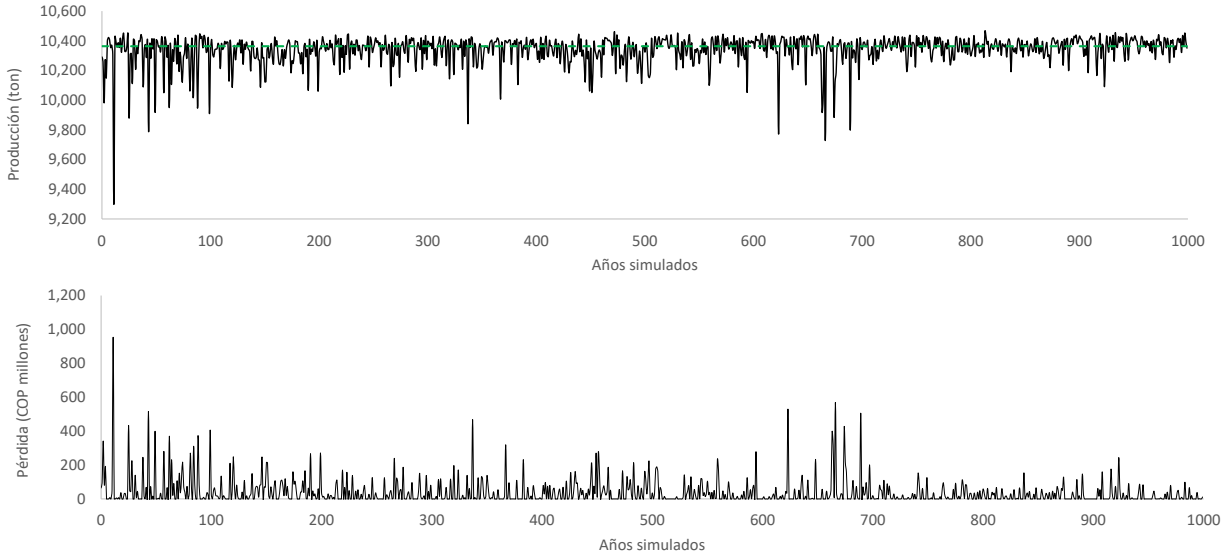


Figura A 9. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Tolima Ciclo A de mayores de 20 ha. En verde la producción umbral.

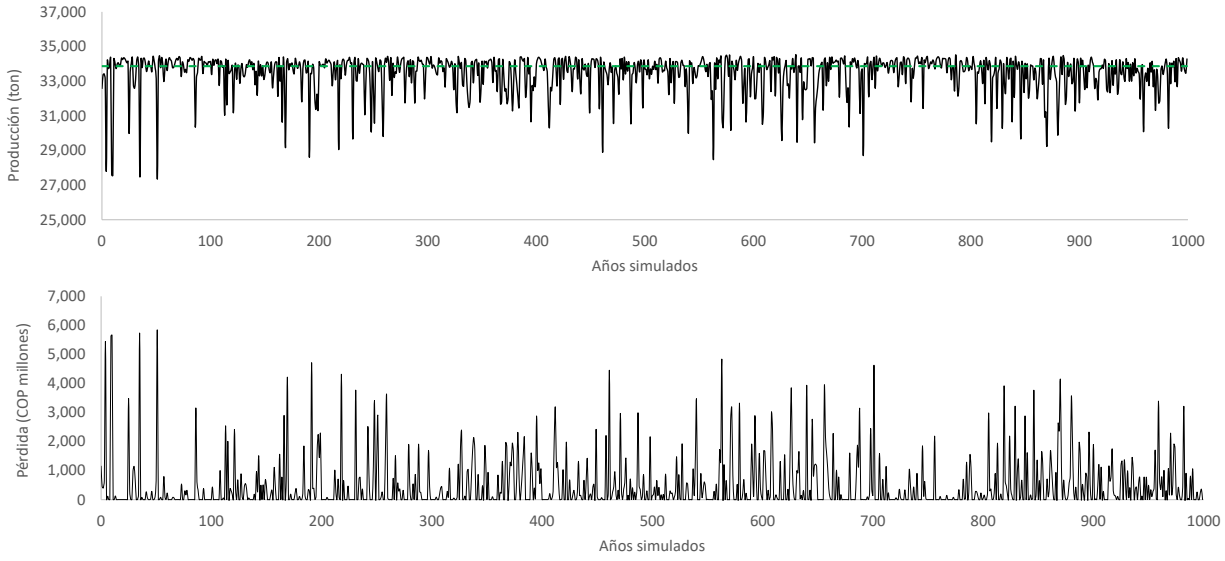


Figura A 10. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Tolima Ciclo B de menores de 20 ha. En verde la producción umbral.

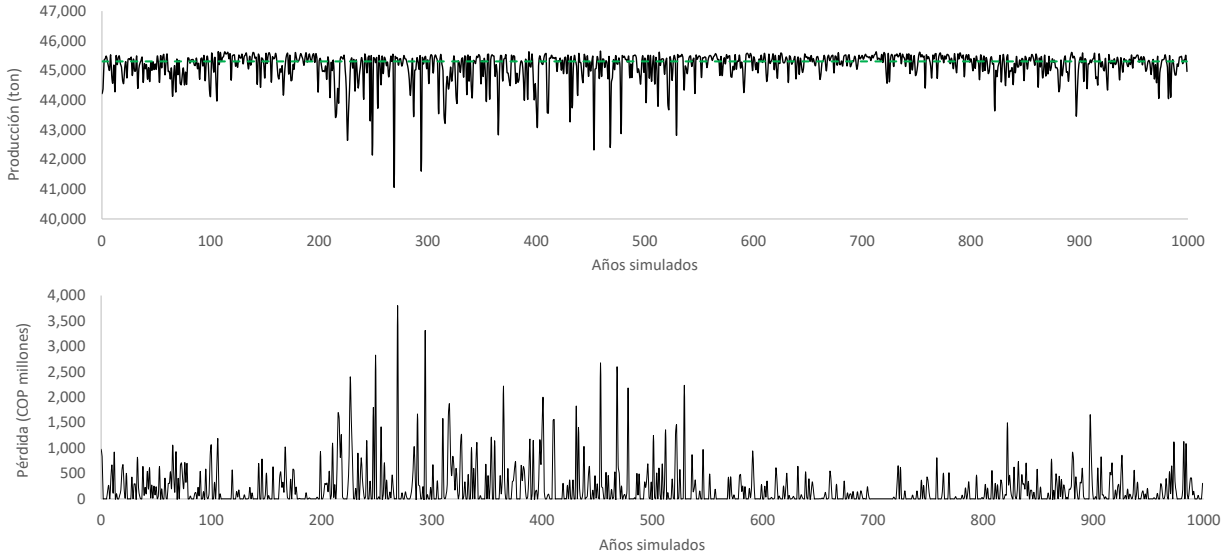


Figura A 11. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Tolima Ciclo B de mayores de 20 ha. En verde la producción umbral.

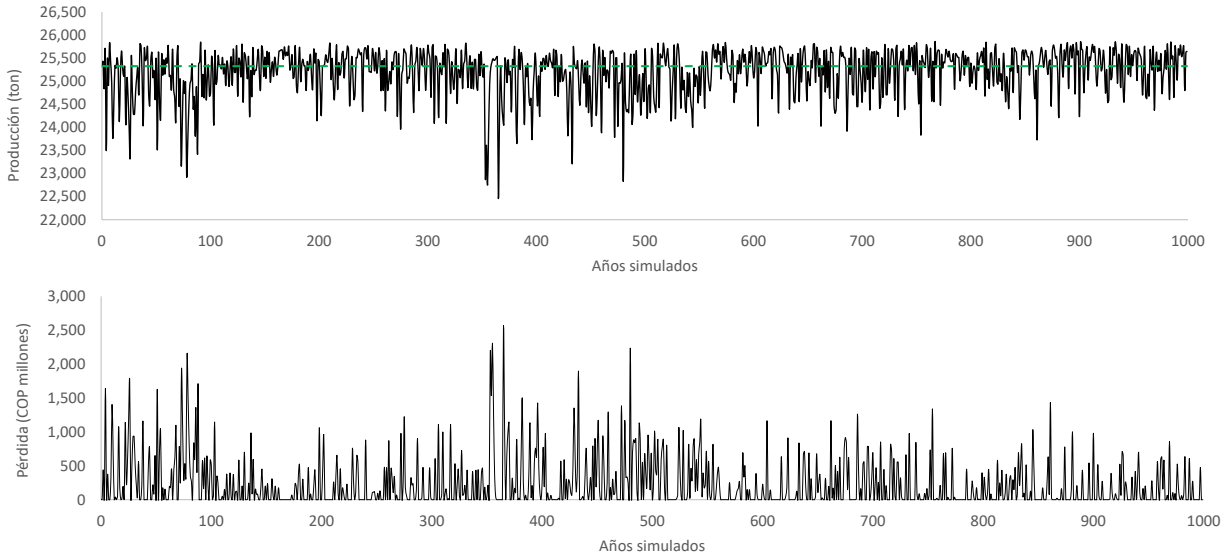


Figura A 12. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Tolima Ciclo A. En verde la producción umbral.

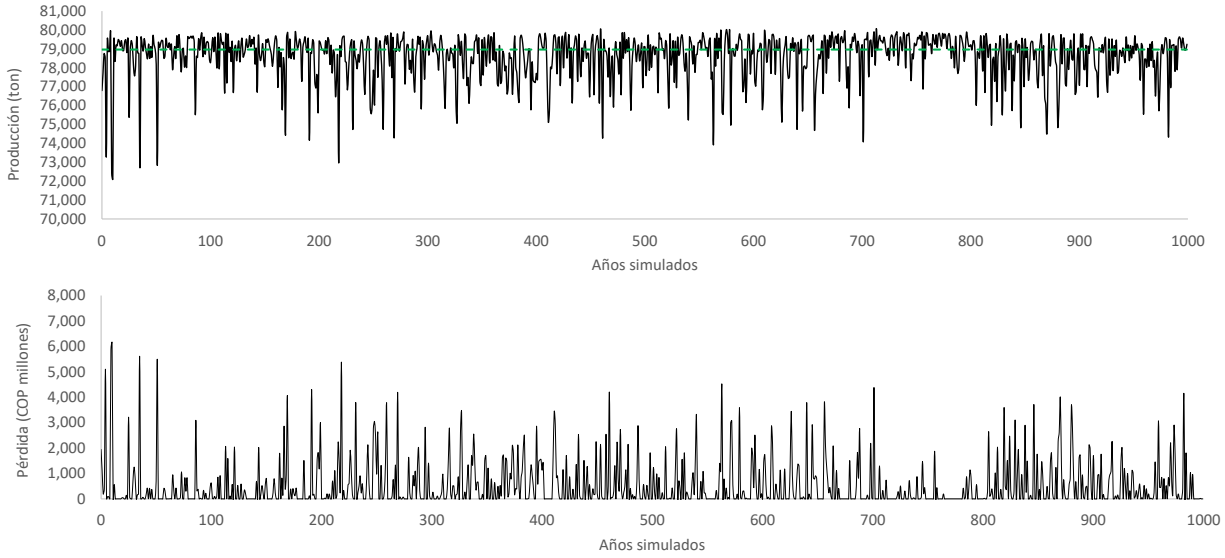


Figura A 13. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Tolima Ciclo B. En verde la producción umbral.

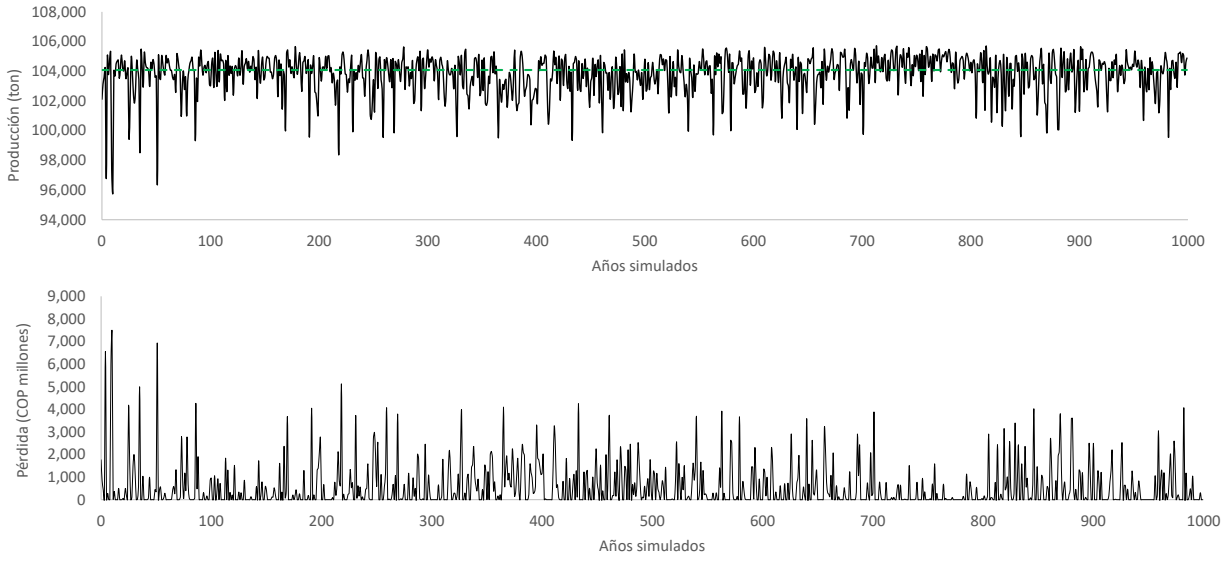


Figura A 14. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para el portafolio de Tolima total. En verde la producción umbral.

A. 1.3 Todos los portafolios

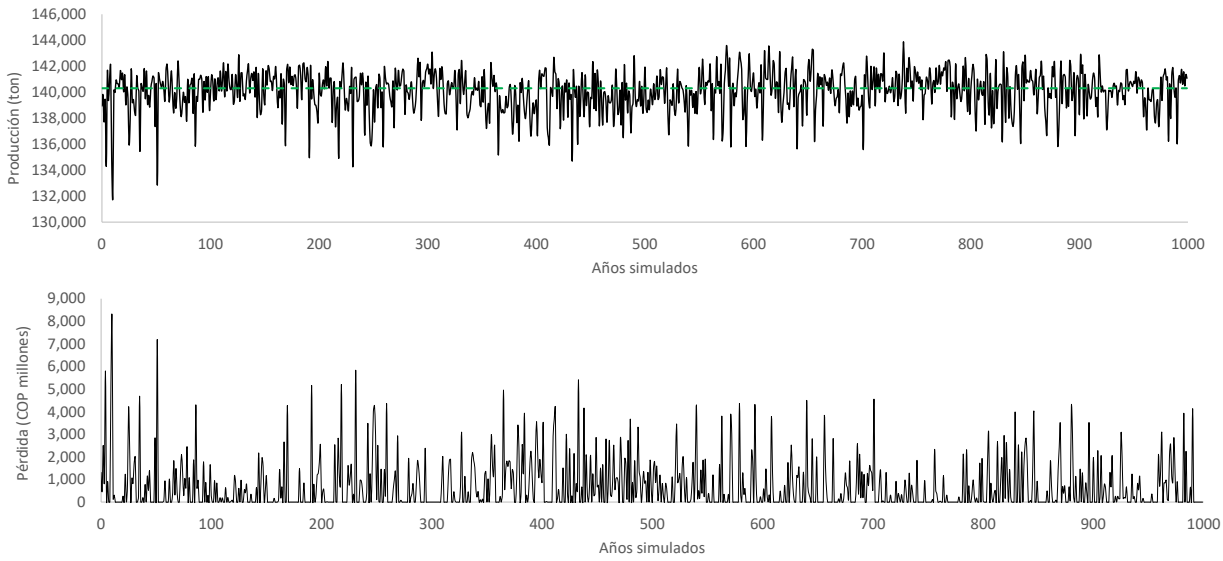


Figura A 15. Serie de producción (arriba) y pérdida en producción (abajo) para todos los portafolios. En verde la producción umbral.

A. 2 Ubicación de estaciones climáticas para la modelación

Código	Longitud (º)	Latitud (º)
C_249	-76.25	2.75
C_250	-75.75	2.75
C_251	-75.25	2.75
C_252	-74.75	2.75
C_253	-74.25	2.75
C_274	-76.25	3.25
C_275	-75.75	3.25
C_276	-75.25	3.25
C_277	-74.75	3.25
C_278	-74.25	3.25
C_299	-76.25	3.75
C_300	-75.75	3.75
C_301	-75.25	3.75
C_302	-74.75	3.75
C_303	-74.25	3.75
C_323	-76.25	4.25
C_324	-75.75	4.25
C_325	-75.25	4.25
C_326	-74.75	4.25
C_327	-74.25	4.25
C_347	-76.25	4.75
C_348	-75.75	4.75
C_349	-75.25	4.75
C_350	-74.75	4.75
C_351	-74.25	4.75
C_369	-76.75	5.25
C_370	-76.25	5.25
C_371	-75.75	5.25
C_372	-75.25	5.25
C_373	-74.75	5.25
C_374	-74.25	5.25
C_392	-77.25	5.75
C_393	-76.75	5.75
C_394	-76.25	5.75
C_395	-75.75	5.75
C_396	-75.25	5.75
C_397	-74.75	5.75
C_398	-74.25	5.75
C_399	-73.75	5.75
C_416	-77.25	6.25
C_417	-76.75	6.25
C_418	-76.25	6.25
C_419	-75.75	6.25
C_420	-75.25	6.25

Código	Longitud (º)	Latitud (º)
C_421	-74.75	6.25
C_422	-74.25	6.25
C_423	-73.75	6.25
C_441	-77.25	6.75
C_442	-76.75	6.75
C_443	-76.25	6.75
C_444	-75.75	6.75
C_445	-75.25	6.75
C_446	-74.75	6.75
C_447	-74.25	6.75
C_448	-73.75	6.75
C_465	-77.75	7.25
C_466	-77.25	7.25
C_467	-76.75	7.25
C_468	-76.25	7.25
C_469	-75.75	7.25
C_470	-75.25	7.25
C_471	-74.75	7.25
C_472	-74.25	7.25
C_473	-73.75	7.25
C_486	-77.75	7.75
C_487	-77.25	7.75
C_488	-76.75	7.75
C_489	-76.25	7.75
C_490	-75.75	7.75
C_491	-75.25	7.75
C_492	-74.75	7.75
C_493	-74.25	7.75
C_494	-73.75	7.75
C_504	-77.75	8.25
C_505	-77.25	8.25
C_506	-76.75	8.25
C_507	-76.25	8.25
C_508	-75.75	8.25
C_509	-75.25	8.25
C_510	-74.75	8.25
C_511	-74.25	8.25
C_518	-77.75	8.75
C_521	-76.25	8.75
C_522	-75.75	8.75
C_523	-75.25	8.75
C_524	-74.75	8.75
C_525	-74.25	8.75
C_535	-75.75	9.25

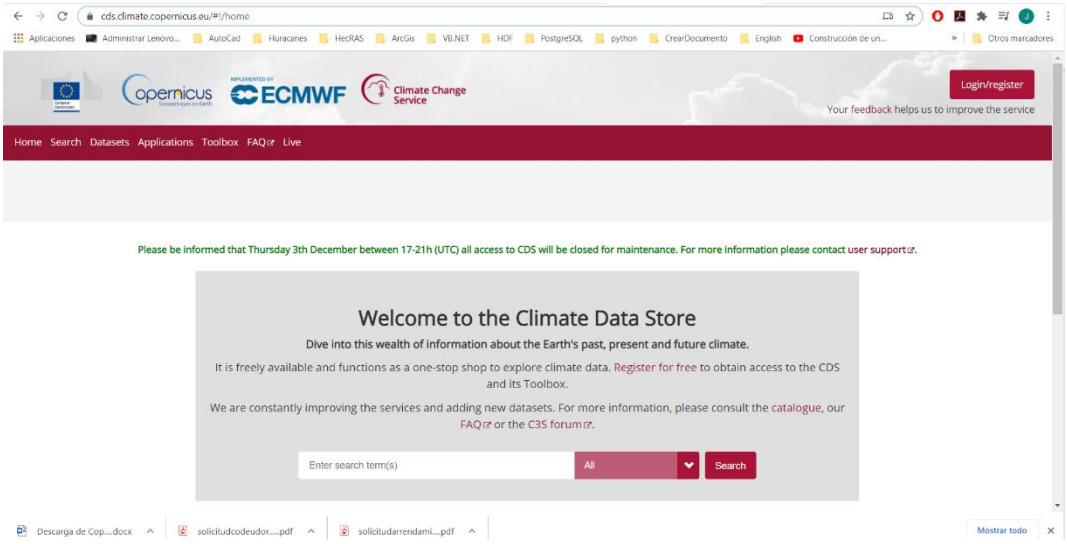
A. 3 Tutorial de descarga de información climática de ERA5 Copernicus

Este tutorial tiene como fin orientar el proceso de descarga y preprocesamiento de la información de datos climáticos requerida por el programa Drought Pro. El proceso se divide en 2 partes. Primero, la solicitud y descarga de la información, la cual se lleva a cabo en la página web de ERA5 Copernicus y, segundo, el preprocesamiento de la información, el cual se desarrolla en el sistema IDE R Studio para lenguaje R. Para esta última parte, se provee el código fuente en lenguaje R del script necesario para el preprocesamiento

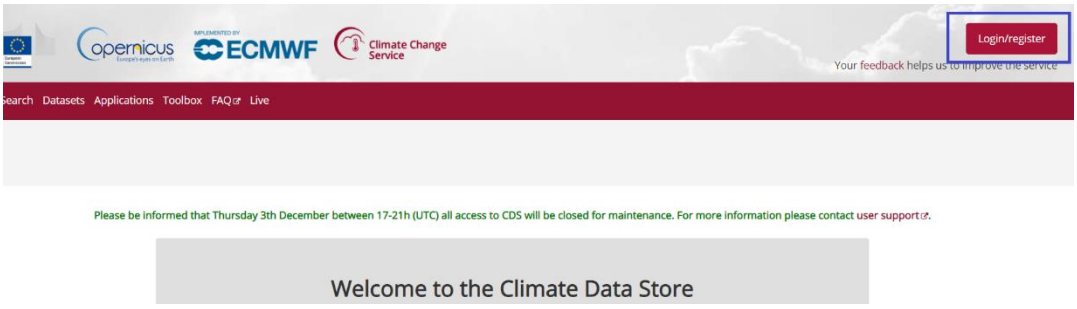
Descarga de información

Registro

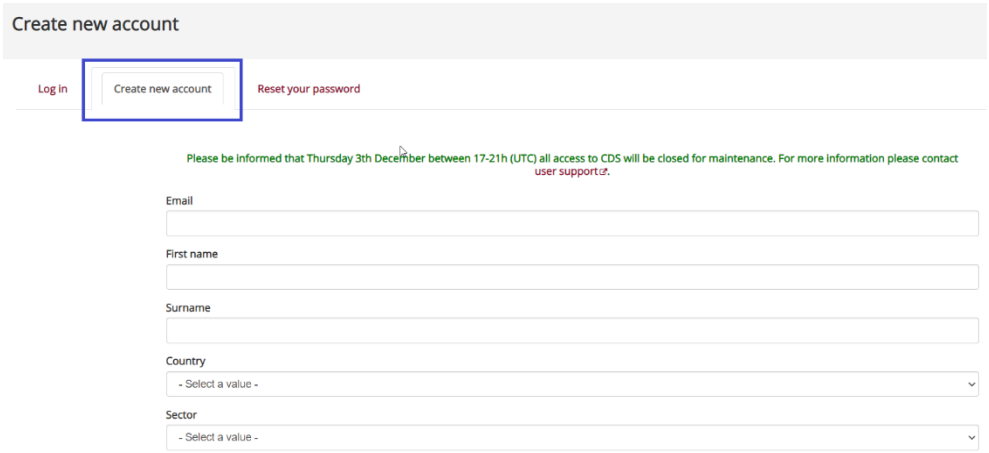
a. Para descargar la información requerida se debe ingresar a la siguiente página web: https://cds.climate.copernicus.eu/#!/home



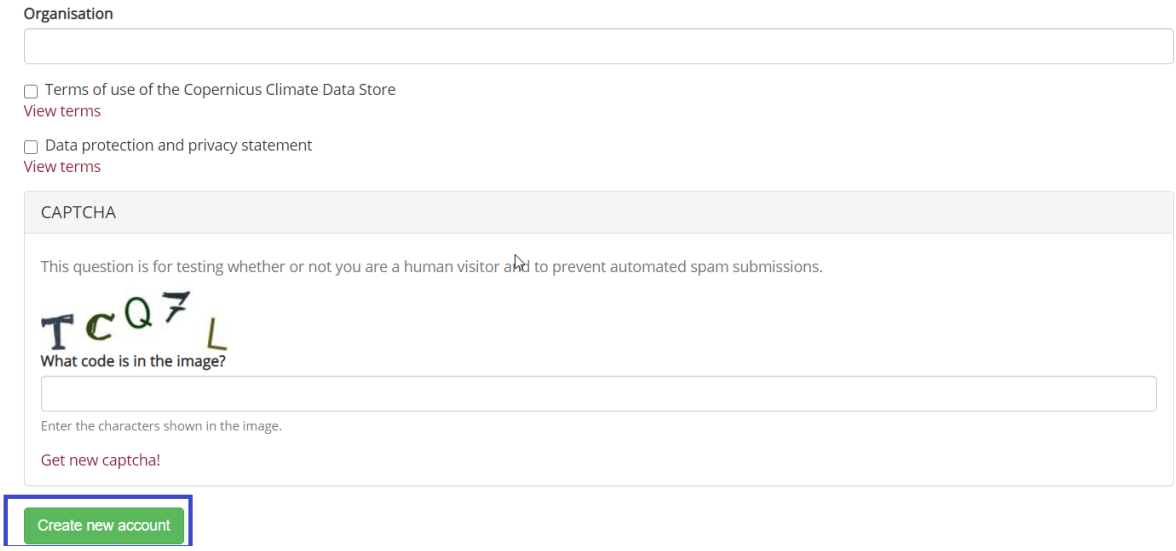
b. Para poder tener acceso a la información se debe realizar el debido registro y obtener una cuenta. Esto se hace dando clic sobre el botón "**Login/register**" ubicado en la parte superior derecha de la página web.



c. Estando en la nueva ventana de la página web, damos clic sobre la pestaña "**Create new account**". Allí se deben suministrar datos de usuario con los cuales se creará la cuenta.



Una vez diligenciados todos los campos solicitados, en la parte final del formulario se encuentra en botón "**Create new account**", se debe dar clic sobre este. Pasados unos segundos o minutos, se debe revisar el correo electrónico suministrado al cual Copernicus enviara un correo de confirmación y aceptación de su registro.



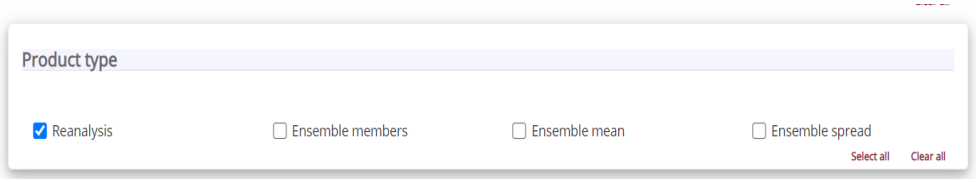
Descarga

a. Se debe ingresar a la siguiente página web:

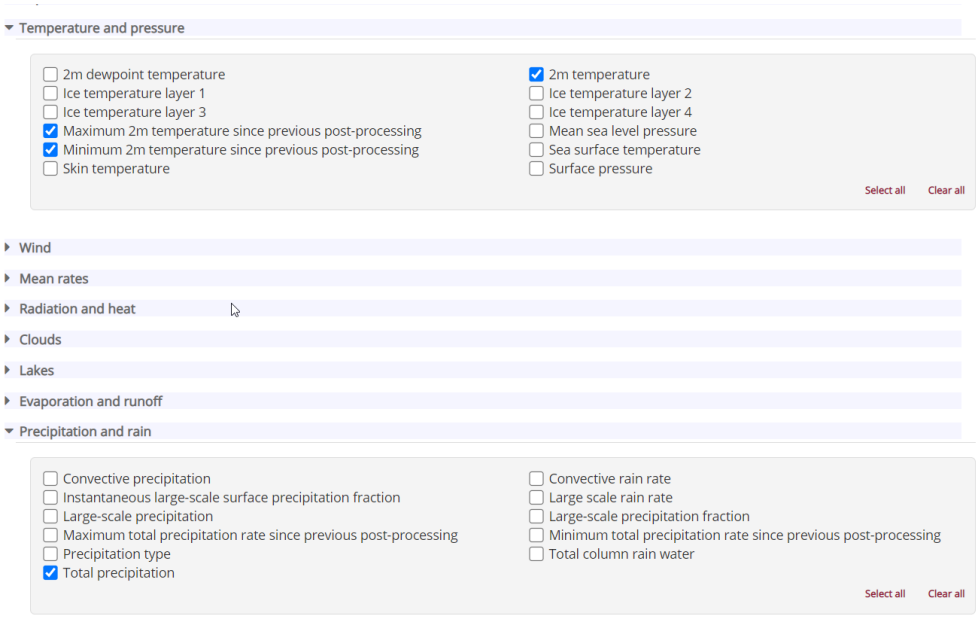
https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form.

b. Luego se debe dar clic sobre la pestaña "**Download data**", donde se encuentra un formulario en el cual simplemente se selecciona la información a utilizar.

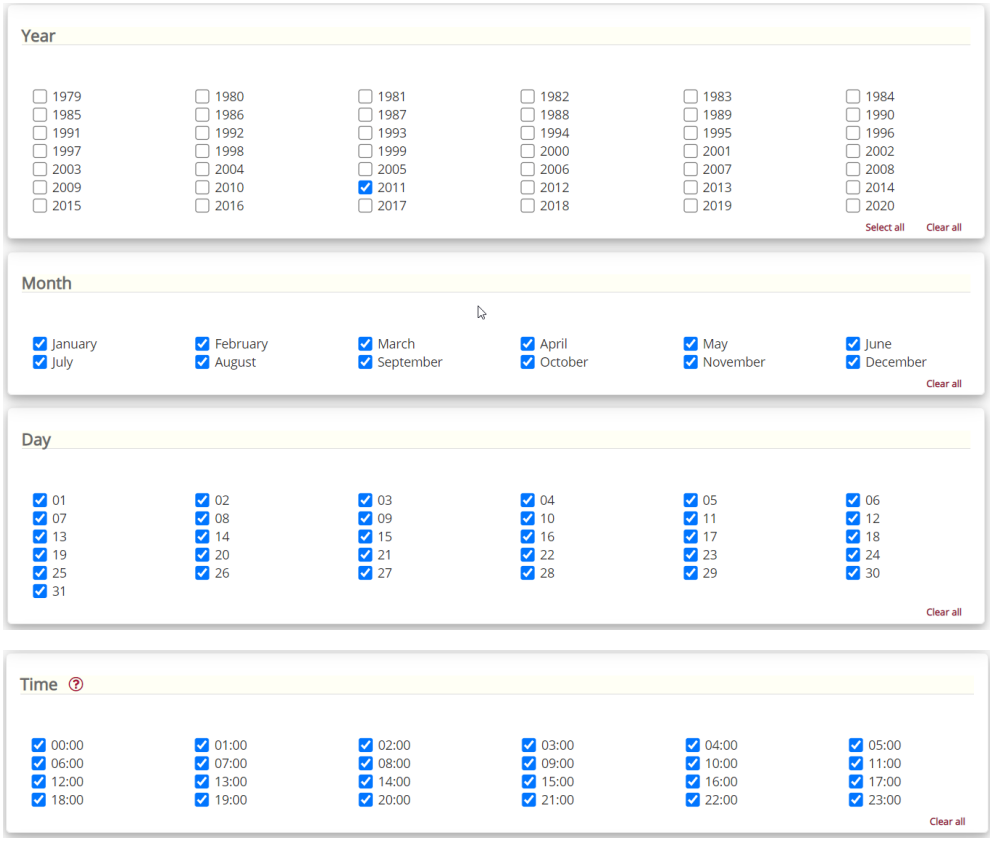
i. **Product Type**: se debe seleccionar "**Reanalysis**".



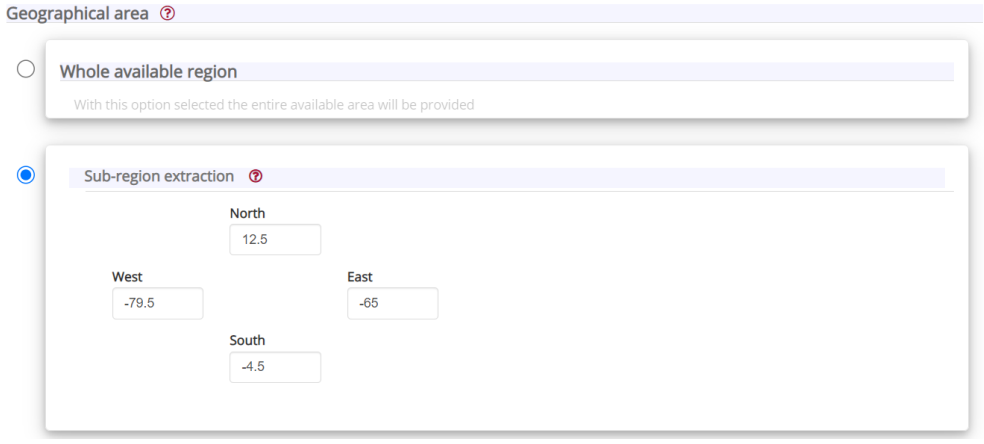
ii. **Variable**: Se debe seleccionar: **2m temperature**; **Maximum 2m temperature since previous post-processing**; **Minimum 2m temperature since previous post-processing; Total precipitation.**



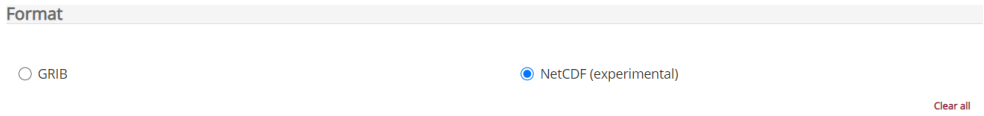
iii. A continuación, se debe seleccionar los años, meses, días y horas en las cuales se requiere la información.



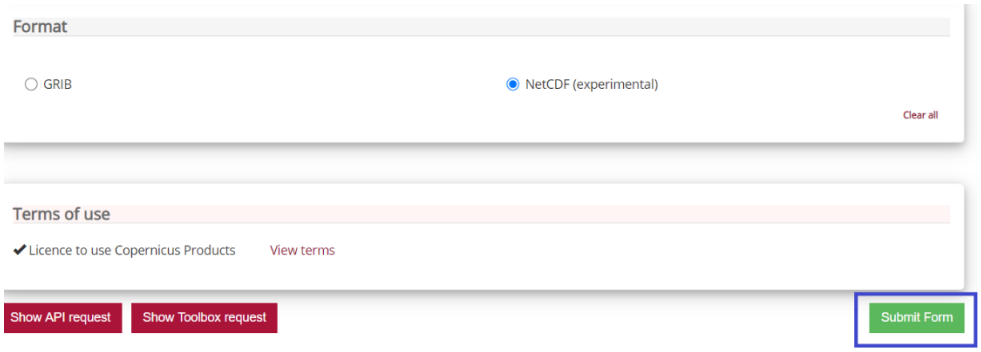
iv. Posteriormente se debe seleccionar el área de donde se requiere la información, se sugiere que se seleccione “Sub-region extraction”, pues es más eficiente para almacenamiento.



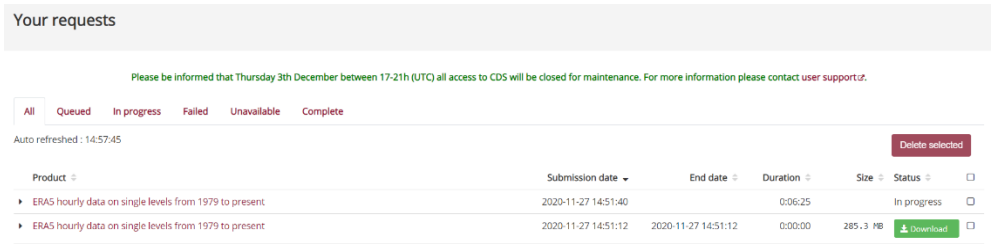
v. Por último, se debe seleccionar el formato en el cual se descargará la información, para este caso el formato será “**NetCDF**”.



c. Luego de tener el formulario completo, dar clic sobre el botón "**Submit Form**".



d. La siguiente ventana nos muestra un tiempo de conteo el cual indica que se está generando el archivo con la información y el formato que se especificó, esto puede tardar varios minutos dependiendo de la cantidad de información solicitada. Luego de tener el archivo se habilita el botón **Download** en el cual debemos dar clic para descargar la información.



Preprocesamiento

Debido a que Copernicus suministra la información en formato NetCDF, se debe hacer un preprocesamiento ya que el modo en el que se debe ingresar la información al Drought Pro es diferente.

Este procesamiento es realizado por medio de un Script desarrollado en el IDE R Studio en lenguaje R. Para su correcta operación basta con ejecutarlo en el IDE R Studio en cualquier computador de escritorio con sistema operativo Windows. A continuación, se presenta el script desarrollado.

```
#Script para extraer información de archivo NETCDF de Temp,Tmax,Tmin y precipitacion descargado de ERA5 de Copernicus

library(raster)
library(rgdal)
library(dplyr)
library(ncdf4)
library(sf)

#Directorio de trabajo
path<-("D:/OneDrive/ingeniar/NetCDF/Scrips/pruebasnov/")
setwd(path)

#Abrir archivo con info. Este tiene información de:
# 2m temperature, Total precipitation
#para cada hora 00:00, 01:00, 02:00, 03:00, 04:00, 05:00, 06:00, 07:00, 08:00, 09:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00,
15:00, 16:00, 17:00, 18:00, 19:00, 20:00, 21:00, 22:00, 23:00

file.name<-"Sept_2020" #nombre del archivo
nc.file<-nc_open(paste0(file.name,".nc"))
print(nc.file)
#ncdf names
lon<-nc.file$dim[[1]]$name
lat<-nc.file$dim[[2]]$name
time<-nc.file$dim[[3]]$name


var<-names(nc.file[['var']]) #listo of variable names
time.tx<-seq(0,length(ncvar_get(nc.file,time))-1,1)
ptime<-ncvar_get(nc.file,time)
days<-ptime/24
cont<-0
Fech<-vector("numeric",0)
for (j in 1:length(days)){
  cont<-cont+1
  if (cont==24){
    Fech<-c(Fech,days[j])
    cont<-0
  }
}
YEARMODA<-as.Date(Fech,'1900-01-01 00:00:00')

ndims   <- nc.file$ndims
count<-nc.file$var[[1]]$size # begin w/count=(nx,ny,nz,...,nt), reads entire var
count[ndims] <- 1  # change to count=(nx,ny,nz,...,1) to read 1 tstep
#_____________________________________________________________________________
#Extraer la información para todas las variables en puntos de interes.
ptos<-read.csv("Stations.csv")  #Lista de estaciones incluidas en el análisis
crop_extent <- extent(-79, -66, -4, 12) #límites del raster en zona de interés (LON=(0,360), LAT= (-90+90))
crs=CRS("+proj=longlat +ellps=WGS84 +datum=WGS84 +no_defs+ towgs84=0,0,0")

for (v in 1:length(var)){
  #v<-1
  data.var<-ptos
  #data.var$LON<-data.var$LON+360 #límites del raster en zona de interés (LON=(0,360), LAT= (-90+90))
  coordinates(data.var)= ~ LON + LAT
  proj4string(data.var)=crs

  for (t in 1:length(ncvar_get(nc.file,time))){

   #Leo la información del archivo nc de la variable v
    a<-ncvar_get(nc.file,var[v], start=c(1,1,t), count=count)
    #La convierto en raster
    a_r<-raster(t(a), xmn=min(ncvar_get(nc.file, lon)), xmx=max(ncvar_get(nc.file, lon)), ymn=min(ncvar_get(nc.file, lat)),
ymx=max(ncvar_get(nc.file, lat)), crs=crs)
    #Recorto el raster al área de interés
    nc.crop <- crop(a_r, crop_extent)

    #Extraigo la información en los puntos de interés
    eq<-paste0("data.var$data.",t-1, "<-extract(a_r, data.var)")
    eval(parse(text=eq))

  }
  write.csv(data.var,paste0(file.name,"_",var[v],"_hour.csv"), row.names = F)
  print(v)
  if (v==1){
```

```
    Temp<-data.var
  }
  if (v==4){
    prec<-data.var
  }

  if (v==2){
    Tmax<-data.var
  }
  if (v==3){
    Tmin<-data.var
  }


}

 #_____________________________________________________________
#TEMPERATURA
Data.Temp<-as.data.frame(YEARMODA)
Temp2<-as.data.frame(Temp)

for (j in 1:length(Temp$STATION.NAME)){
  StAux<-Temp2[j,]
 # print(paste("j=",j))
  SumT<-0
  cont<-0
  Sta<-vector("numeric",0)
  for (i in 1:length(days)){
    #print(paste("i+6=",6+i))
    if(i==length(days)){

      SumT<-SumT+(StAux[1,6+i]-273.15)
      AvgTemp<-SumT/24
      Sta<-c(Sta,AvgTemp)

    }else{
      if (cont<24){
        SumT<-SumT+(StAux[1,6+i]-273.15)
        cont<-cont+1
      }
      else{
        AvgTemp<-SumT/24
       # print(paste("prom=",AvgTemp))
        cont<-0
        SumT<-0
        Sta<-c(Sta,AvgTemp)
        SumT<-(StAux[1,6+i]-273.15)
        cont<-1
      }
    }

  }
  eq<-paste0("Data.Temp$",Temp$STATION.NAME[j], "<-Sta")
  eval(parse(text=eq))
}

write.csv(Data.Temp,paste0(file.name,"_Temp_day.csv"), row.names = F)

#_____________________________________________________________________________________

#_____________________________________________________________________________________
#PRECIPITACION

Data.Prec<-as.data.frame(YEARMODA)
Prec2<-as.data.frame(prec)

for (j in 1:length(Temp$STATION.NAME)){
  StAux<-Prec2[j,]
  # print(paste("j=",j))
  SumT<-0
  cont<-0
  Sta<-vector("numeric",0)
  for (i in 1:length(days)){
    #print(paste("i+6=",6+i))
    if(i==length(days)){
```

```
      SumT<-SumT+(StAux[1,6+i]*1000)
      Sta<-c(Sta,SumT)

    }else{
      if (cont<24){
        SumT<-SumT+(StAux[1,6+i]*1000)
        cont<-cont+1
      }
      else{

        # print(paste("prom=",AvgTemp))
        cont<-0
        Sta<-c(Sta,SumT)
        SumT<-0
        SumT<-(StAux[1,6+i]*1000)
        cont<-1

      }
    }

  }
  eq<-paste0("Data.Prec$",Temp$STATION.NAME[j], "<-Sta")
  eval(parse(text=eq))
}

write.csv(Data.Prec,paste0(file.name,"_Prec_day.csv"), row.names = F)

#_____________________________________________________________
#TEMPERATURA Max
Data.Tmax<-as.data.frame(YEARMODA)
TMax1<-as.data.frame(Tmax)

for (j in 1:length(Tmax$CODE)){

  StAux<-TMax1[j,]
  cont<-0

  Sta<-vector("numeric",0)
  for (i in 1:length(days)){

    cont<-cont+1
    if (cont<24){

      if(cont==1){
        val<-StAux[1,6+i]
      }else{
        val2<-StAux[1,6+i]
        if (val<val2){
          val<-val2
        }
      }
    }else{
      cont<-0
      val2<-StAux[1,6+i]
      if (val<val2){
        val<-val2
      }

      val<-val-273.15
      Sta<-c(Sta,val)
      val<-0
    }

  }
  eq<-paste0("Data.Tmax$",Tmax$CODE[j], "<-Sta")
  eval(parse(text=eq))
}

write.csv(Data.Tmax,paste0(file.name,"_Tmax_day.csv"), row.names = F)

#_____________________________________________________________________________________

#_____________________________________________________________________________________
#TEMPERATURA MIN
```

```
Data.Tmin<-as.data.frame(YEARMODA)
TMIN1<-as.data.frame(Tmin)

for (j in 1:length(Tmin$CODE)){
  StAux<-TMIN1[j,]
  cont<-0
  # print(paste("j=",j))
  Sta<-vector("numeric",0)
  for (i in 1:length(days)){
    #print(paste("i+6=",6+i))
    cont<-cont+1
    if (cont<24){

      if(cont==1){
        val<-StAux[1,6+i]
        #print(paste("i=1",val))
      }else{
        val2<-StAux[1,6+i]
        if (val>val2){
          val<-val2
        }
      }
    }else{
      val2<-StAux[1,6+i]
      if (val>val2){
        val<-val2
      }
      #print(paste("cont=24",val))
      val<-val-273.15
      Sta<-c(Sta,val)
      val<-0
      cont<-0
    }

  }
  eq<-paste0("Data.Tmin$",Tmin$CODE[j], "<-Sta")
  eval(parse(text=eq))
}

write.csv(Data.Tmin,paste0(file.name,"_Tmin_day.csv"), row.names = F)
```