



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura



# Evaluación de los impactos del cambio climático en la agricultura en Paraguay





# **Evaluación de los impactos del cambio climático en la agricultura en Paraguay**

Cita requerida:

FAO. 2020. *Evaluación de los impactos del cambio climático en la agricultura en Paraguay*. Roma.

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, ni sobre sus autoridades, ni respecto de la demarcación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

The boundaries and names shown and the designations used on this map do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of FAO concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers and boundaries. Dashed lines on maps represent approximate borderlines for which there may not yet be full agreement.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

ISBN 978-92-5-131850-8

© FAO, 2020



Algunos derechos reservados. Esta obra se distribuye bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es>).

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: "La presente traducción no es obra de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La FAO no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en [idioma] será el texto autorizado".

Todo litigio que surja en el marco de la licencia y no pueda resolverse de forma amistosa se resolverá a través de mediación y arbitraje según lo dispuesto en el artículo 8 de la licencia, a no ser que se disponga lo contrario en el presente documento. Las reglas de mediación vigentes serán el reglamento de mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> y todo arbitraje se llevará a cabo de manera conforme al reglamento de arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI).

**Materiales de terceros.** Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

**Ventas, derechos y licencias.** Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (<http://www.fao.org/publications/es>) y pueden adquirirse dirigiéndose a [publications-sales@fao.org](mailto:publications-sales@fao.org). Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request). Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org).

# Índice

Componente cultivos - Proyecto AMICAF	iv
Abreviaturas y acrónimos	v

<b>1. Antecedentes</b>	<b>1</b>
1.1 AMICAF y AMICAF-SSC	2
1.2 MOSAICC (Componente 1)	3
<b>2. Introducción</b>	<b>5</b>
<b>3. Objetivos</b>	<b>7</b>
3.1 Objetivo general	7
3.2 Objetivo específico	7
<b>4. Metodología</b>	<b>9</b>
4.1 Datos climáticos	10
4.2 Datos de cultivos	12
4.3 Plataforma MOSAICC	18
4.4 Construcción de la función de rendimiento	18
<b>5. Resultados</b>	<b>23</b>
5.1 Arroz Secano	23
5.2 Arroz Irrigado	25
5.3 Caña de azúcar	27
5.4 Maíz	32
5.5 Mandioca	35
5.6 Poroto	38
5.7 Soja	43
5.8 Trigo	46
<b>6. Conclusiones</b>	<b>49</b>
<b>7. Recomendaciones</b>	<b>51</b>
<b>Anexo - Mapas de Proyección de los diferentes modelos y escenario en cuanto al comportamiento Anual de la Precipitación período 2020-2069</b>	<b>53</b>

## Componente cultivos - Proyecto AMICAF

### **Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)**

- Aldo Noguera (UGR).
- Diego Rodríguez (UGR).
- Karen J. Romero. Dirección de Extensión Agraria.
- Sasha Planas. Dirección Nacional de Coordinación y Administración de Proyectos.

### **Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Asunción**

- Soledad Armoa.

### **Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Católica sede Coronel Oviedo**

- Carlos Ayala.

### **FAO Paraguay**

- María José López Ortiz. Coordinación Nacional del proyecto AMICAF.
- César Balbuena.
- Muneyuki Nakata.

### **FAO HQ**

- Hiroki Sasaki. Coordinador Internacional del Proyecto AMICAF.
- Mariko Fujisawa.
- Maria Raffaella Vuolo.
- Hideki Kanamaru.

## Abreviaturas y acrónimos

ACDI/VOCA	Desarrollo Cooperativo Agrícola Internacional / Voluntarios en Asistencia Cooperativa en el Extranjero
AquaCrop	Modelo de crecimiento de cultivos
AMICAF	Análisis y Mapeo de Impactos ante el Cambio Climático para la Adaptación y la Seguridad Alimentaria
AMICAF-SSC	Análisis y Mapeo de Impactos ante el Cambio Climático para la Adaptación y la Seguridad Alimentaria a través de la Cooperación Sur-Sur
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CNRM	Comunicación y gestión de recursos naturales
DCEA	Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias del MAG
DCGE	Modelo económico
DEAg	Dirección de Extensión Agraria del MAG
DINAC	Dirección Nacional de Aeronáutica Civil
DINCAP-PPI	Dirección Nacional de Coordinación y Administración de Proyectos
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FCA/UNA	Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción
IPTA	Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria
MAFF	Ministerio de Agricultura, Bosques y Pesca del Japón
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MOSAICC	Sistema de Modelación de los Impactos del Cambio Climático sobre la Agricultura
PCA	Análisis de componentes principales
PET.	Herramientas de interpolación y una rutina de cálculo
PLD	Plantando Dekadal
STREAM	Modelo de precipitación-escorrentía
PET	Evapotranspiración Potencial
UGR/MAG	Unidad de Gestión de Riesgos del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Paraguay
MEA	Marco Estratégico Agrario
REGATTA	Estudio de vulnerabilidad de la agricultura y la ganadería en el chaco americano
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
VMA	Vice Ministerio de Agricultura
VMG	Vice Ministerio de Ganadería
UGR	Unidad de Gestión de Riesgos del MAG
WABAL	Modelo de cultivo







# 1. Antecedentes

El proyecto Análisis y Mapeo de Impactos ante el Cambio Climático para la Adaptación y la Seguridad Alimentaria a través de la Cooperación Sur-Sur (AMICAF-SSC) (GCP/INT/226/JPN) llevado adelante por la FAO y financiado por el gobierno del Japón se ha iniciado en Octubre de 2014 y tiene previsto finalizar en febrero de 2018.

Como antecedente del proyecto AMICAF-SSC, la FAO también con fondos del gobierno del Japón llevó adelante el proyecto Evaluaciones de los Impactos del Cambio Climático y Mapeo de la Vulnerabilidad a la Inseguridad Alimentaria bajo el Cambio Climático para Reforzar la Seguridad Alimentaria con Enfoque de Adaptación de los Medios de Subsistencia (AMICAF) (GCP/INT/126/JPN) el cual se desarrolló en Filipinas y Perú de Octubre de 2011 a Marzo de 2015.

El objetivo del proyecto AMICAF-SSC, segunda fase del proyecto AMICAF, es ayudar a los países en desarrollo a abordar los impactos del cambio climático sobre la agricultura y la adaptación de tal manera a mejorar la seguridad alimentaria a través de un marco de Cooperación Sur-Sur (SSC por sus siglas en inglés). Este marco de cooperación permitirá unir la evaluación de los impactos del cambio climático sobre los medios de vida y la adaptación con el análisis de vulnerabilidad la seguridad alimentaria en condiciones cambiantes del clima. AMICAF-SSC se desarrolla en base a cuatro componentes integrados.

El componente 1 comprende la evaluación de los impactos del cambio climático sobre la agricultura y consiste en la utilización de varios modelos. El objetivo del componente es el de producir información relevante sobre los impactos del cambio climático sobre la agricultura a fin de ayudar a los planificadores de políticas, esto además sirve como base para el componente 2 (el cual analiza la vulnerabilidad de la seguridad alimentaria a nivel de los hogares). En este caso, la Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, campus Caaguazú a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias está trabajando como miembro del equipo de trabajo del componente 1 y elaborando las proyecciones de rendimiento de cultivos para el Paraguay, recibiendo entrenamiento en el uso del sistema MOSAICC y los modelos asociados, los cuales son utilizados para generar los resultados.

Para el logro de los objetivos correspondientes al componente 1, se contó con el apoyo de técnicos de diversas instituciones, y dependencias del Ministerio de Agricultura y ganadería liderada por la Unidad de Gestión de Riesgos del MAG (UGR), como la Dirección de Planificación del MAG, Vice Ministerio de Agricultura (VMA), Vice Ministerio de Ganadería (VMG), Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCA/UNA), Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA), Dirección Nacional de Coordinación y Administración de Proyectos (DINCAP-PPI), Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias del MAG (DCEA), Dirección de Extensión Agraria del MAG (DEAg), y ACDIVOCA-USAID.

Así también, cabe destacar el apoyo y la asistencia técnica tanto de técnicos de la FAO como de técnicos involucrados en la primera fase de AMICAF (Perú).

### 1.1 AMICAF y AMICAF-SSC

De octubre de 2011 a marzo de 2015, la FAO implementó la primera fase de AMICAF (GCP/INT/126/JPN) en Filipinas y Perú. El proyecto con sus cuatro componentes fue desarrollado en Filipinas mientras que en Perú se implementaron dos componentes de los cuatro. La primera fase de AMICAF ha logrado sus objetivos y se está evaluando la posibilidad que más países puedan recibir el apoyo para desarrollar el mismo esquema.

Es por esto que FAO ha iniciado un nuevo proyecto denominado Análisis y Mapeo de impactos ante el Cambio Climático para la adaptación y la seguridad alimentaria a través de la Cooperación Sur-Sur (AMICAF-SSC) (GCP/INT/226/JPN) con el apoyo económico del Ministerio de Agricultura, Bosques y Pesca del Japón (MAFF). De tal manera a maximizar los conocimientos, experiencias y lecciones aprendidas durante AMICAF y fortalecer el trabajo de la FAO un esquema de cooperación Sur-Sur es utilizado en esta segunda fase.

Al final de proyecto AMICAF-SSC los conocimientos, técnicas y experiencias obtenidas serán compartidas a través de materiales y guías con otros países que quieran utilizar la misma metodología.

Varias consideraciones han sido tenidas en cuenta al momento de diseñar AMICAF-SSC:

- Mejorar la vinculación de la evaluación de los impactos del cambio climático y el análisis de vulnerabilidad.
- Considerando la naturaleza multidisciplinaria del proyecto la coordinación con todas las instituciones más allá del Ministerio de Agricultura son claves.
- Enfatizar la construcción de capacidades en cada componente.
- Enfatizar en el manejo del conocimiento y en la disseminación de la información entre los países que forman parte del proyecto y el público.
- Cobertura de un amplio rango de escalas espaciales de información y acción desde el ámbito global (proyecciones de cambio climático) hasta el local (adaptación de los medios de subsistencia).
- El desarrollo de las capacidades de las instituciones en los países receptores del proyecto será desarrollado a través de talleres de capacitación, llevados adelante por expertos de AMICAF que han trabajado en la primera fase (como parte del esquema de Cooperación Sur-Sur), consultores internacionales de la FAO y oficiales técnicos.

## 1.2 MOSAICC (Componente 1)

El Sistema de Modelación de los Impactos del Cambio Climático sobre la Agricultura (MOSAICC, por sus siglas en inglés) es un paquete integrado de modelos para evaluar el impacto del cambio climático sobre la agricultura, incluyendo las variaciones en los rendimientos de los cultivos y su efecto sobre las economías nacionales. MOSAICC ha sido desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en el marco del programa CE/FAO sobre “Vinculación de la información y toma de decisiones para mejorar la seguridad alimentaria”

El ensamble de FAO-MOSAICC se basa en una metodología genérica definida para evaluar el impacto del cambio climático sobre la agricultura, abarcando proyecciones de rendimiento de los cultivos, estimaciones de recursos hídricos y modelación económica. El enfoque es a escala de país, sin embargo el sistema tiene cierta flexibilidad en términos de escala espacial y temporal. El sistema está diseñado para permitir que varios expertos puedan trabajar de forma continua en los mismos proyectos.

MOSAICC se compone de un conjunto de funciones para realizar simulaciones y procesar datos. El conjunto de funciones incluye una herramienta para modelar reducciones de escala de escenarios climáticos, dos modelos de cultivos (AQUACROP y WABAL), un modelo de precipitación-escorrentía (STREAM), un modelo económico y varios servicios, tales como algunas herramientas de interpolación y una rutina de cálculo PET. Estas funciones están organizadas en cuatro componentes principales, que corresponden a cuatro tipos de perfiles de usuario: clima, hidrología, cultivos y economía. Los perfiles de usuario permiten a los expertos de los estudios de diseño llevar a cabo experimentos y gestionar el flujo y la producción de datos.

Los modelos y servicios han sido seleccionados por su robustez y su simplicidad. Los datos necesarios para ejecutar el sistema incluyen proyecciones climáticas globales de MCG, series de tiempo histórico de variables climáticas e hidrológicas, así como las estadísticas sobre productos agrícolas y mapas de suelo. Para los modelos económicos se necesitan datos de referencia y escenarios económicos.

Todos los modelos y herramientas trabajan en un servidor central que permite a los usuarios comunicarse a través de interfaces web. Todos los modelos están conectados a una base de datos única que facilita el intercambio de datos. Esta arquitectura resuelve barreras de plataforma cruzada y permite a los usuarios hacer un seguimiento del flujo de datos.

MOSAICC está diseñado para ser distribuido a las instituciones nacionales (servicios meteorológicos, departamentos de agricultura, universidades, etc.) que tienen la capacidad de alojar el servidor, mantener el sistema y coordinar los estudios sobre el impacto del cambio climático sobre la agricultura a nivel de país. Los diferentes modelos deben ser operados por los investigadores con la experiencia pertinente, posiblemente, de instituciones distintas de la institución de acogida.

Teniendo en cuenta que el cambio climático afecta a la agricultura a través de una combinación de factores (climáticos, fisiológicos, tecnológicos e hidrológicos) con interacciones complejas entre ellos, la incorporación de diferentes modelos en un único sistema de modelación ofrece varias ventajas.

El intercambio de datos entre los modelos permite abordar diferentes aspectos de los impactos del cambio climático de una manera consistente. Por otra parte, el intercambio de datos es más fácil, más eficiente y más transparente.

El tiempo de procesamiento necesario para las simulaciones se reduce y la información se puede compartir fácilmente con usuarios externos a través de interfaces web. Por último, la formación de un grupo de trabajo multidisciplinario, facilitado por la plataforma común, fomenta la cooperación entre expertos.

El modelo forestal y el modelo económico de MOSAICC no son utilizados en este caso en particular.





## 2. Introducción

La insuficiente gestión del riesgo del sector agrícola cada año, está produciendo importantes pérdidas económicas para el país, así como el debilitamiento de la seguridad alimentaria, sobre todo, de los productores locales.

Considerando a la planificación sectorial como estrategia fundamental para la reducción y gestión de riesgos en países vulnerables a desastres, la Unidad de Gestión de Riesgos del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Paraguay - UGR/MAG, con el apoyo de la FAO, el diseño del *Plan nacional para la gestión del riesgo y adaptación al cambio climático en el sector agrícola del Paraguay*, considerando la exposición del sector a los riesgos, especialmente, los generados por el clima y el mandato que asume el MAG en su Marco Estratégico Agrario – MEA, que plantea como uno de sus ejes estratégicos la gestión de riesgos asociada a la variabilidad y el cambio climático.

La agricultura es uno de los sectores con mayor crecimiento económico en el país. Según el reporte del 2015 del Banco Central del Paraguay, es la principal fuente de ingresos de Paraguay. Sin embargo, éste sector está afectado de manera importante por la condición de riesgo del país, debido a su dependencia de las condiciones del clima. En el período del 2008 al 2009 se registró la mayor cantidad de daños por sequías y heladas afectando a la agricultura familiar con pérdidas de hasta US\$ 800 millones, según datos de la Unidad de Gestión del Riesgo (UGR) del MAG. Por otro lado, en el invierno del 2017 se tuvieron importantes pérdidas en el sector por un evento extremo de heladas, las más fuertes en los últimos 45 años, esta situación, además, estuvo precedido de un exceso importante de lluvias en los últimos meses del verano y los primeros del otoño de ese mismo año.

En estudios anteriores realizados con apoyo de organismos internacionales, como ser análisis del impacto en el cambio de rendimientos asociados al CC en cultivos de renta y de autoconsumo y producción ganadera (BID), estudio de vulnerabilidad de la agricultura y la ganadería en el chaco americano (REGATTA), la gestión de riesgos en el sector agropecuario del Paraguay (BM), entre otros, se pudo visualizar que el impacto del CC en algunos rubros va ser importante, tanto en pérdidas como en algunos casos podría llegar a ser beneficioso.

La implementación del MOSAICC, se articula con la Política Nacional de Gestión y Reducción de Riesgos, aprobada por Decreto del Poder Ejecutivo N° 1402/14, con la cual se busca construir la base para elaborar planes y programas de gestión y reducción de riesgos en las instituciones gubernamentales a nivel nacional, departamental y municipal, considerando la variabilidad y el cambio climático. Y se adhiere a lo definido por la Estrategia Nacional de Adaptación al Cambio Climático (ENACC) que hace referencia explícita, en su componente 5, a la implementación de políticas de adaptación y gestión del riesgo a diferentes niveles territoriales y sectoriales.

La gestión del riesgo se presenta como primera línea estratégica para disminuir los riesgos que genera el cambio climático. La gestión de riesgos de desastre y la adaptación al cambio climático se centran en la reducción de la vulnerabilidad y la reducción de la exposición de poblaciones, bienes y recursos, así como en el aumento de la resiliencia a los posibles impactos adversos de los fenómenos climáticos extremos.

En Paraguay, con la implementación del MOSAICC, el Ministerio de Agricultura y Ganadería, contara con una herramienta, que servirá como soporte para la toma de decisiones, teniendo en cuenta los escenarios futuros y su relación con impactos generados por el cambio climático, especialmente en los sectores más vulnerables como lo es la Agricultura Familiar (AF).





## 3. Objetivos

### 3.1 Objetivo general

El objetivo del componente es el de generar información relevante referente a que como el cambio climático influye sobre los impactos del cambio climático sobre la producción agrícola, las fluctuaciones a corto y a largo plazo de las pautas del clima – variabilidad del clima y cambio climático pueden tener repercusiones extremas en la producción agrícola, estos datos son de suma utilidad a los planificadores para que puedan generar políticas que se adapten a las necesidades del país así poder lograr reducir los impactos de estos eventos, esto además sirve como base para el componente 2 (el cual analiza la vulnerabilidad de la seguridad alimentaria a nivel de los hogares).

### 3.2 Objetivo específico

- Mejorar las capacidades nacionales para la evaluación de impactos del CC (suelo, agua, cultivos, otros), mediante cursos, talleres y sesiones de trabajo.
- Promover la visión sectorial de seguridad alimentaria y cambio climático en los sistemas productivos agrarios del país a fin de recomendar medidas que orienten procesos y acciones institucionales.
- Fortalecer la articulación intersectorial para la adaptación al cambio climático mediante la reducción de la vulnerabilidad del sector agropecuario.







©FAO/ITmedich

## 4. Metodología

El proceso de análisis fue realizado a través de reuniones semanales entre todos los actores participantes del proyecto, los mismos fueron capacitados en los cursos referentes al análisis de cultivos utilizando la plataforma MOSAICC, la cual ha sido desarrollada por FAO. Dicha plataforma cuenta con diversas herramientas para el cálculo del balance hídrico (WABAL) de cada cultivo, y que pueden ser:

1. De acuerdo a las estaciones meteorológicas definidas según el período histórico de datos; y
2. Con datos modelizados para distintos escenarios. A su vez estos cálculos pueden realizarse por puntos de observación o mediante de una interpolación en cuadrículas (grillas).

En la Tabla 1 se detalla las actividades realizadas por etapas y los resultados obtenidos.

**Tabla 1 | Actividades y resultados por etapas**

Etapas	Sub-etapas	Resultados obtenidos
Diagnostico	Desarrollo de talleres	Selección de datos a implementar en la plataforma MOSAICC
	Reuniones del grupo de trabajo	
Preparación		Selección de cultivos
	Reuniones del grupo de trabajo	Planilla de rendimiento por cultivos a nivel nacional.
		Determinación de datos culturales
	Preparación de la metodología	Manual paso a paso
Ejecución		Determinación de tendencias y anomalías de rendimiento por cultivo por departamento
		Análisis en la plataforma por cultivos
		Determinación de PET, por departamento a nivel país
	Implementación de la plataforma MOSAICC	Determinación de PLD y simulación de variables de balance hídrico con WABAL por cultivo y por departamento a nivel país, considerando los modelos y escenarios definidos
		Análisis de correlación y regresión
		Proyección de rendimiento

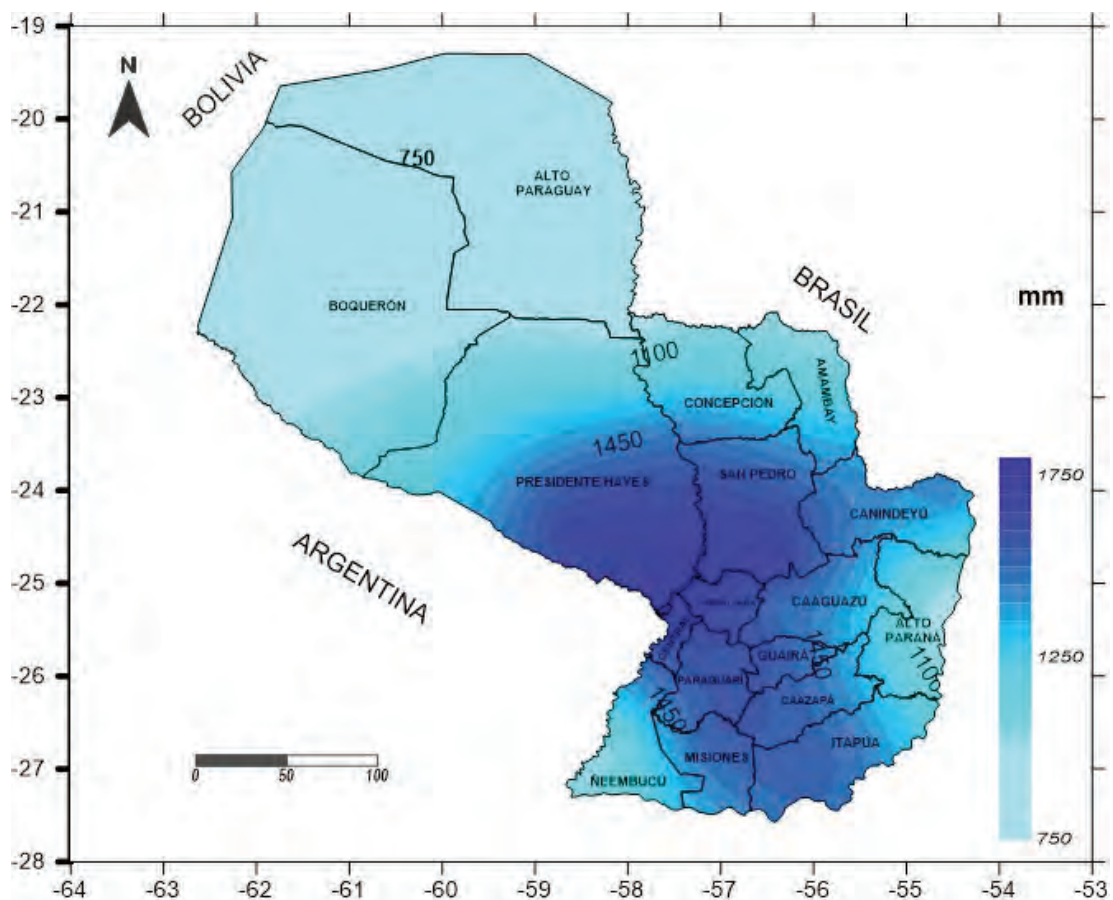
Durante el período de análisis y procesamiento de datos, surgieron diferentes tipos de problemas en relación a los siguientes puntos:

- Base de datos (datos faltantes).
- Falta de control de calidad de los datos históricos de cultivos.
- Escasa cobertura de estaciones meteorológicas (número de estaciones a nivel país y período disponible de datos).
- Datos faltantes en el área de fenología de cultivos a nivel nacional.
- Problemas de acceso, manejo y modificaciones dentro de la plataforma.
- Baja experiencia en el campo de modelaciones agronómicas a nivel nacional.

#### 4.1 Datos climáticos

Para el análisis de los datos climáticos fueron seleccionadas 12 estaciones meteorológicas que cumplieran con el mínimo de períodos de datos observados requeridos para un análisis estadístico robusto de la relación entre el rendimiento y el clima (30 años), siendo la  $t_{max}$ ,  $t_{min}$ ,  $prec$ , los utilizados para el cálculo de diversas variables. A continuación como materiales de discusión se presentan mapas de  $t_{max}$ ,  $t_{min}$ ,  $prec$ ,  $t_{med}$  elaborados por el equipo técnico utilizando los datos proveídos por la DINAC.

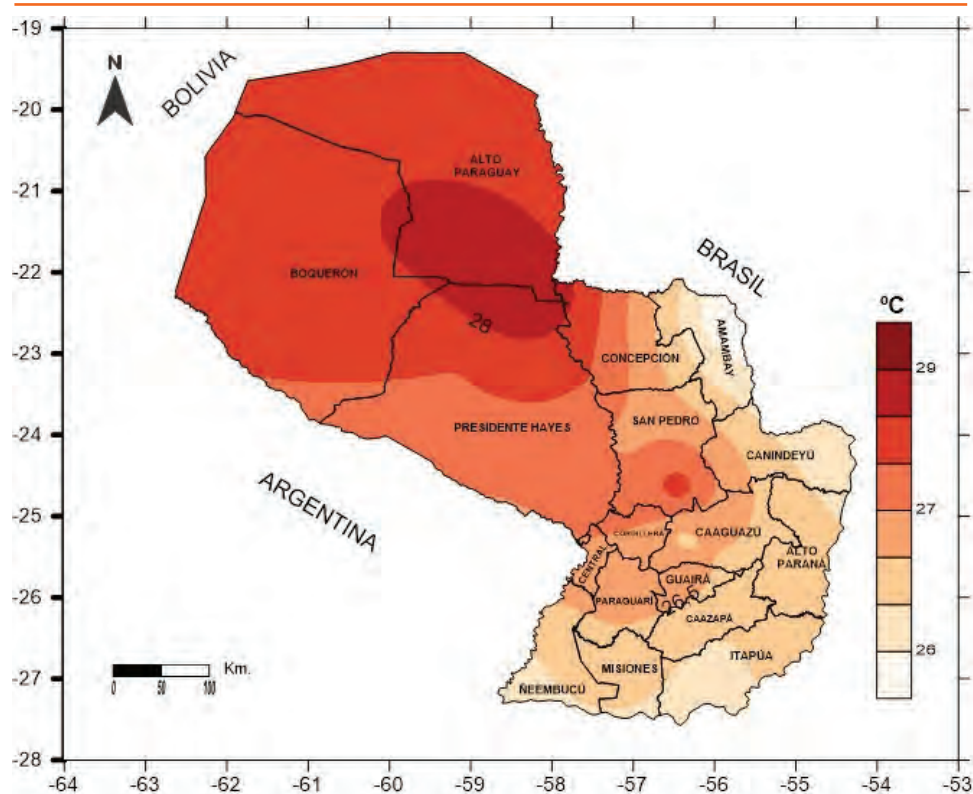
**Figura 1.** | Comportamiento anual histórico de la precipitación período 1980-2015



Fuente: Equipo técnico – Proyecto AMICAF.

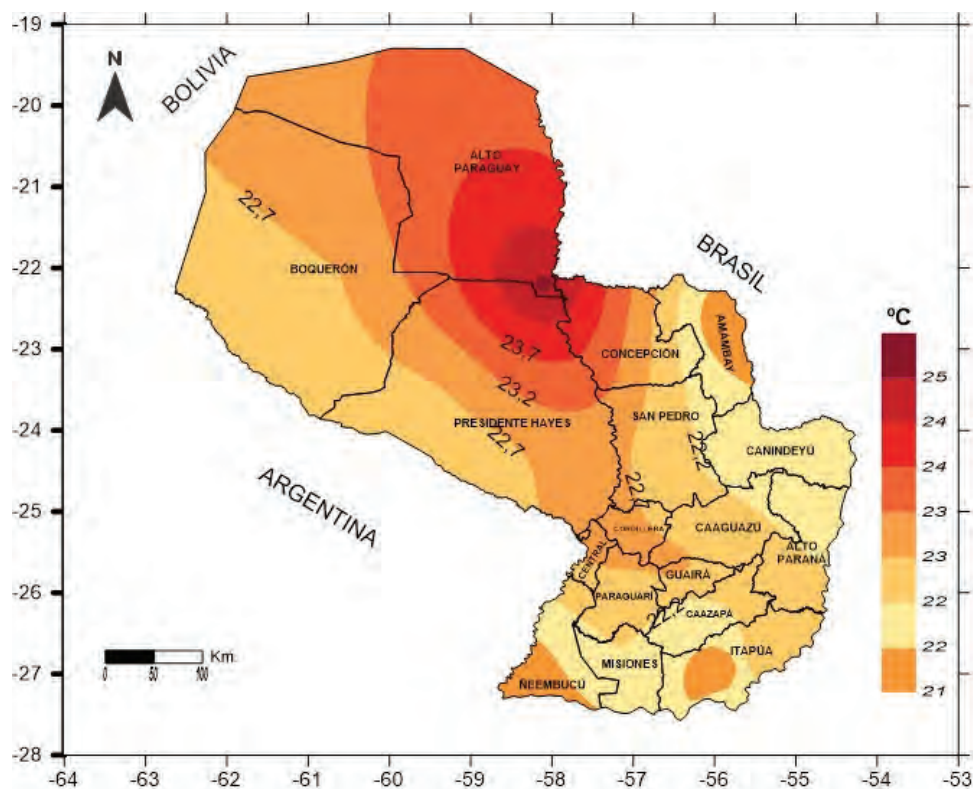


**Figura 2.** | Comportamiento anual histórico de la temperatura media 1980-2015



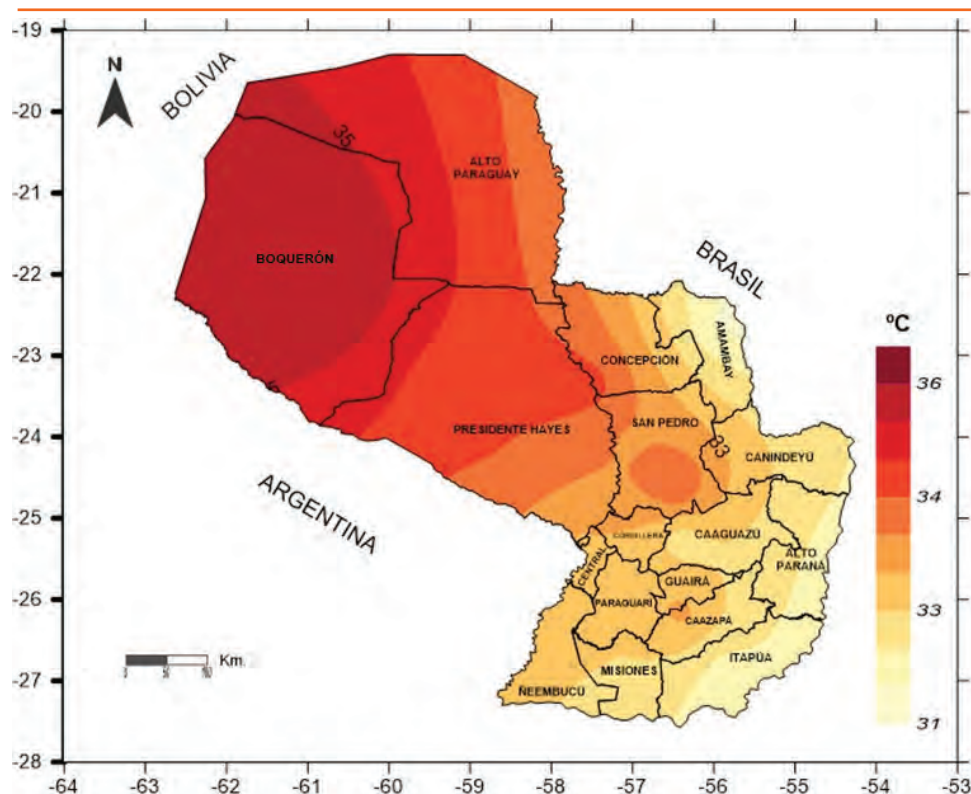
Fuente: Equipo técnico - Proyecto AMICAF.

**Figura 3.** | Comportamiento anual histórico de la temperatura mínima media 1980-2015



Fuente: Equipo técnico - Proyecto AMICAF.

**Figura 4.** | Comportamiento anual histórico de la temperatura máxima media 1980–2015



Fuente: Equipo técnico – Proyecto AMICAF.

Para la elaboración de los mapas climáticos se utilizaron la base de datos históricas observadas de la red de estaciones del Servicio Meteorológico Nacional período (1980-2015), en el mapa se ven claramente reflejadas las zonas más húmeda del país, extendiéndose desde el extremo sur-este de la Región Oriental, como así también la parte más seca del territorio nacional abarcando hacia el extremo nor-oeste de la Región Oriental y en donde también históricamente se registran los valores extremos de temperatura máxima

## 4.2 Datos de cultivos

Los trabajos de análisis de datos fueron iniciados a través del cálculo de la tendencia del rendimiento y la anomalía del mismo utilizando los datos históricos de la Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias del MAG. La tendencia representa la dinámica del rendimiento a futuro considerando posibles cambios de políticas, situación económica, entre otros aspectos que podrían aumentar o disminuir el rendimiento en un tiempo determinado. La hipótesis planteada es que la anomalía representa los cambios de rendimiento debidos principalmente a las variables climáticas.

Se procedió a la selección de los cultivos a ser trabajados dentro de la plataforma, los mismos fueron seleccionados de común acuerdo entre varias instituciones públicas y privadas, organismos internacionales y la sociedad civil en general, en varios talleres participativos organizados en el marco del *Proyecto de construcción de mapas de gestión de riesgos*. Los cultivos seleccionados fueron maíz, soja, trigo, arroz secano, arroz irrigado, mandioca, poroto, sésamo y caña de azúcar, los criterios de selección considerados fueron:

- Importancia dentro de la agricultura familiar
- De gran impacto social
- Cultivos de exportación
- Disponibilidad de datos en relación al área sembrada y rendimiento.

A fin de dar seguimiento a las acciones ya iniciadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAG, el Proyecto AMICAF ha tomado los mencionados cultivos como prioritarios para el análisis.

Los datos históricos de superficie, de producción y rendimiento utilizados corresponden a los proveídos por la Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias del MAG y el período contempla desde el año 1981 al 2016, cabe mencionar que no todos los Departamentos y cultivos del país cuentan con datos en el período de referencia.

Considerando la cantidad de años necesarios para obtener resultados más confiables en relación a cambio climático (30 años), los cultivos de sésamo y mandioca no fueron analizados dentro del componente de cultivos del Proyecto, por no contar con datos suficientes (cantidad de años) para el análisis dentro de la plataforma MOSAICC.

En cuanto datos de parámetros del cultivo (Tabla 2), se recurrió a diversos materiales con fuentes de información, para ello han sido seleccionadas variedades que se asemejan a las utilizadas en Paraguay, como ciclo del cultivos y épocas de siembra, ya que a nivel nacional no existen materiales que proporcionen informaciones sobre el coeficiente de cultivos, y las etapas fenológicas fueron calculadas por el equipo técnico en base a la cantidad de días que se definieron para cada etapa fenológica del cultivo.

**Tabla 2 | Datos de cultivos empleados en la plataforma MOSAICC para la obtención del balance hídrico del cultivo (WABAL)**

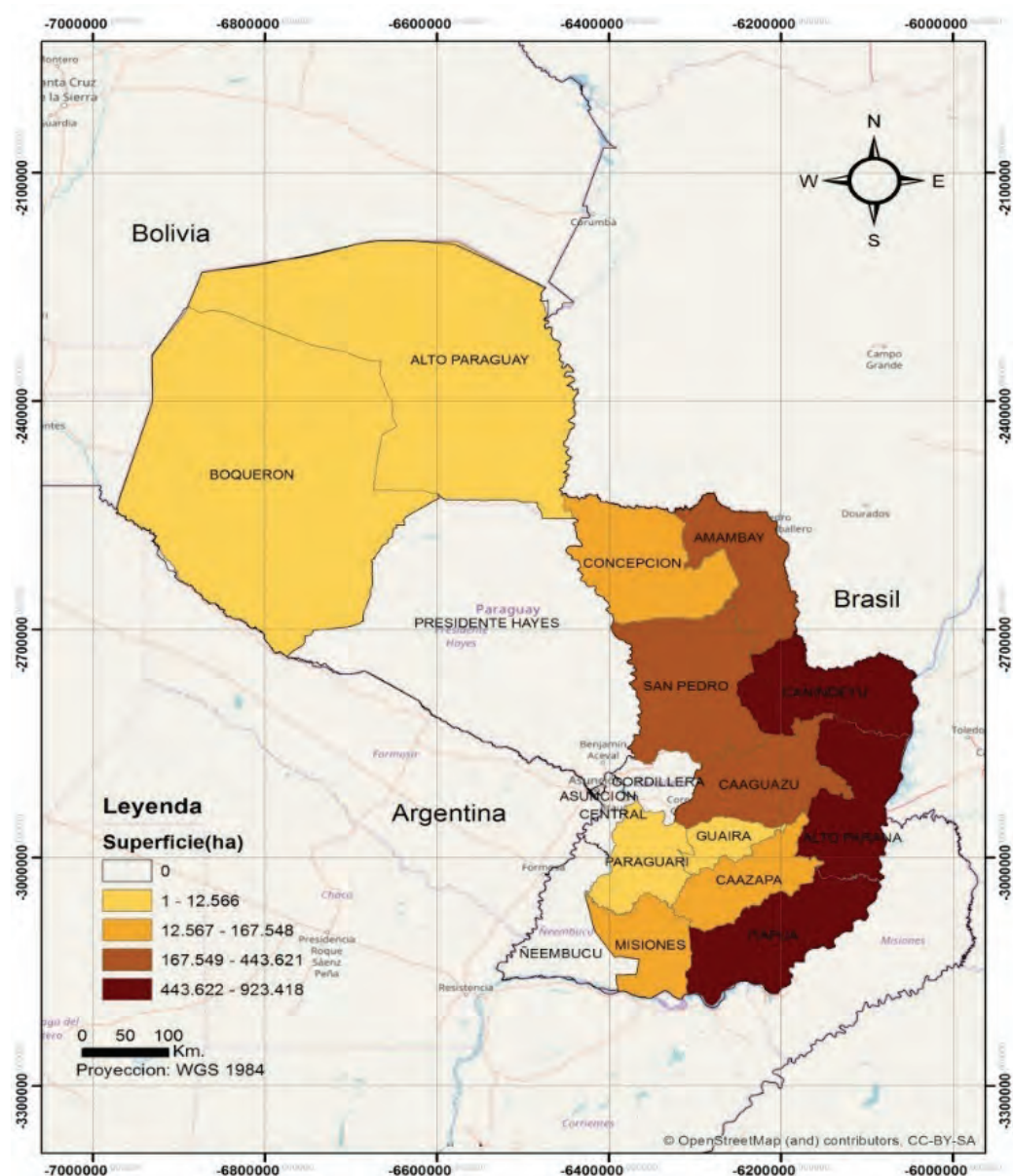
Cultivo	Fecha de Siembra	Decadal de siembra	Ciclo (días)	Ciclo (decadal)	F1	F2	F3	Kc <sub>ini</sub>	Kc <sub>med</sub>	Kc <sub>fin</sub>
Soja <sup>1</sup>	01-oct	27	120	12	0,17	0,42	0,79	0,15	1,10	0,30
Maíz <sup>2</sup>	20-ago	23	130	13	0,15	0,42	0,77	0,30	1,20	0,35
Trigo <sup>2</sup>	20-may	14	120	12	0,17	0,46	0,79	0,50	1,10	0,30
Arroz seco <sup>4</sup>	15-sep	27	120	12	0,16	0,50	0,83	0,40	0,90	1,30
Poroto <sup>2</sup>	17-sep	26	120	12	0,17	0,42	0,79	0,4	1,20	0,35
Arroz irrigado <sup>2</sup>	01-oct	28	140	14	0,18	0,50	0,89	0,7	1,24	0,9
Caña de Azúcar <sup>3</sup>	05-jul	19	360	36	0,08	0,25	0,72	0,15	0,96	0,79
Mandioca <sup>2</sup>	15-ago	23	120	12	0,17	0,46	0,83	0,35	1,10	0,25

<sup>1</sup>Datos de Kc citados por Armoa, MS (2017), <sup>2</sup>Datos de Kc citados por Allen *et al.* (2017), <sup>3</sup>Datos de Kc citados por Silvia *et al.* (2017), <sup>4</sup>Datos de Kc citados por Heinemann *et al.* (2017).

Los datos del cultivo de mandioca no son actualizados debido a que no se ha podido ingresar a la plataforma.

A modo de ejemplo en la Figura 5 se puede observar la distribución de la superficie de soja cultivada a nivel nacional, para el período 2015-2016. Estos datos corresponden a los proveídos por la Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias del MAG.

**Figura 5.** | Distribución de la superficie de soja, período 2015-2016

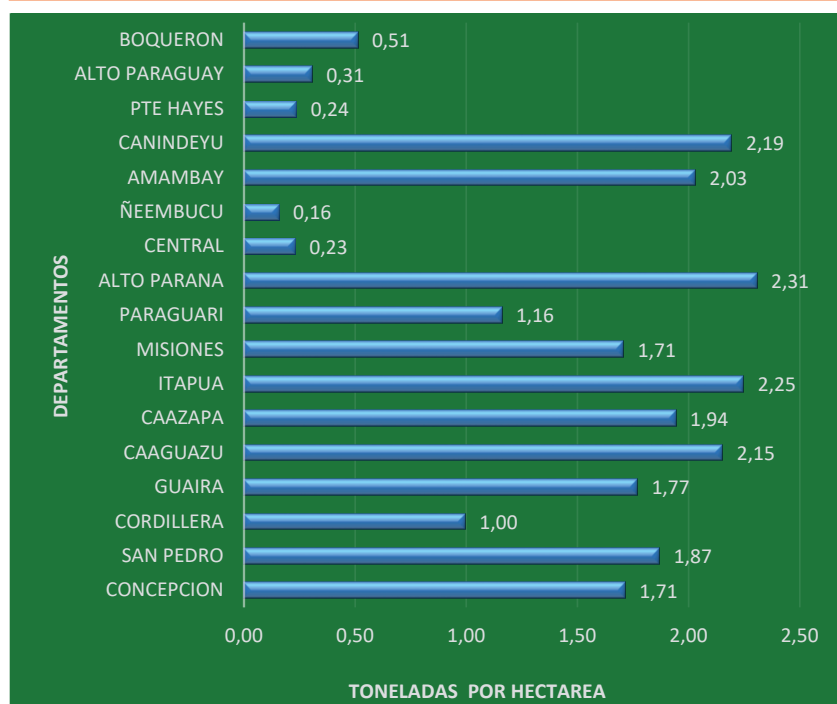


Fuente: Proyecto AMICAF.

Cabe resaltar que el rendimiento histórico de soja ha variado desde la década del 80, las zonas con más producción son los Departamentos de Canindeyú, Alto Paraná, Amambay, Itapúa, Caaguazú y San Pedro, el promedio del rendimiento varía entre los 0,31 y 2,31 tn/ha. En la Figura 6 se presenta el rendimiento promedio de la soja por departamento a nivel nacional para el período 1981-2016.



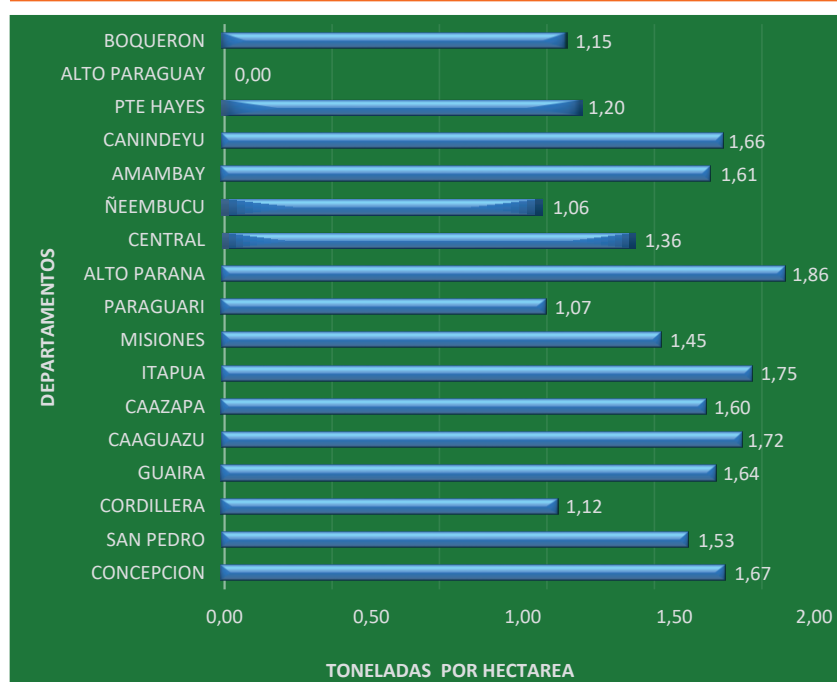
**Figura 6. |** Promedio de rendimiento de la soja por Departamento, período 1981-2016



Fuente: Equipo técnico – Proyecto AMICAF.

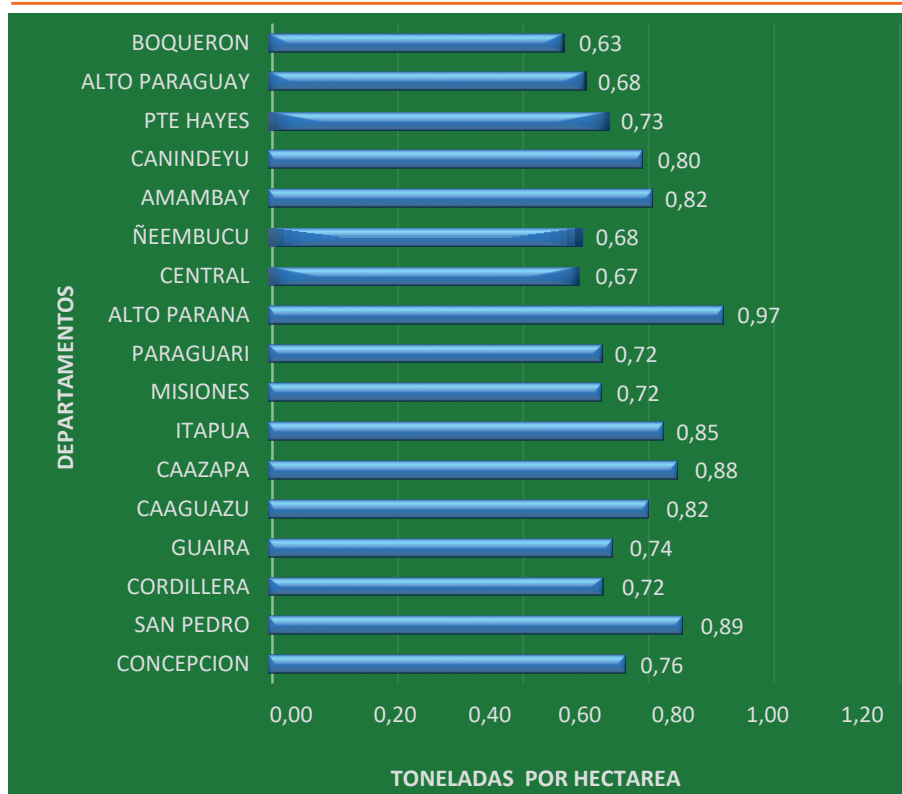
El rendimiento histórico del Trigo ha variado desde la década del 80, las zonas con más producción son los departamentos de Canindeyú, Alto Paraná, Amambay, Itapúa, Caaguazú y San Pedro, el promedio del rendimiento varía entre los 0,31 y 2,31 tn/ha. En la Figura 6 se presenta el rendimiento promedio de la soja por departamento a nivel nacional para el período 1981-2016.

**Figura 7. |** Promedio de rendimiento del trigo por Departamento, período 1981-2016



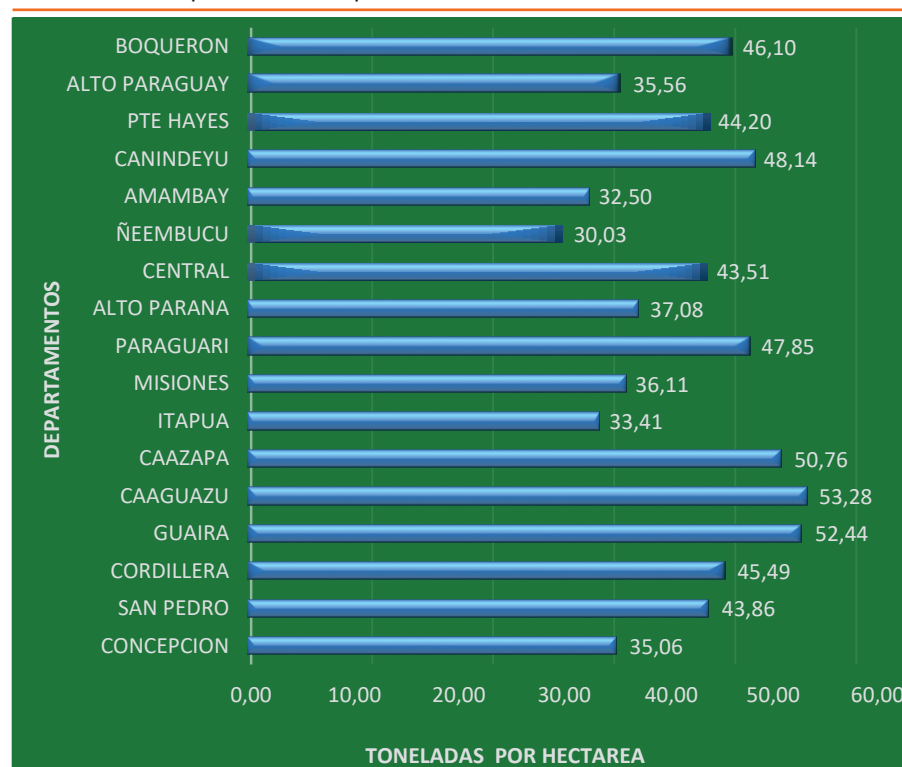
Fuente: Equipo técnico – Proyecto AMICAF.

**Figura 8.** | Promedio de rendimiento del poroto por Departamento, período 1981-2016



Fuente: Equipo técnico – Proyecto AMICAF.

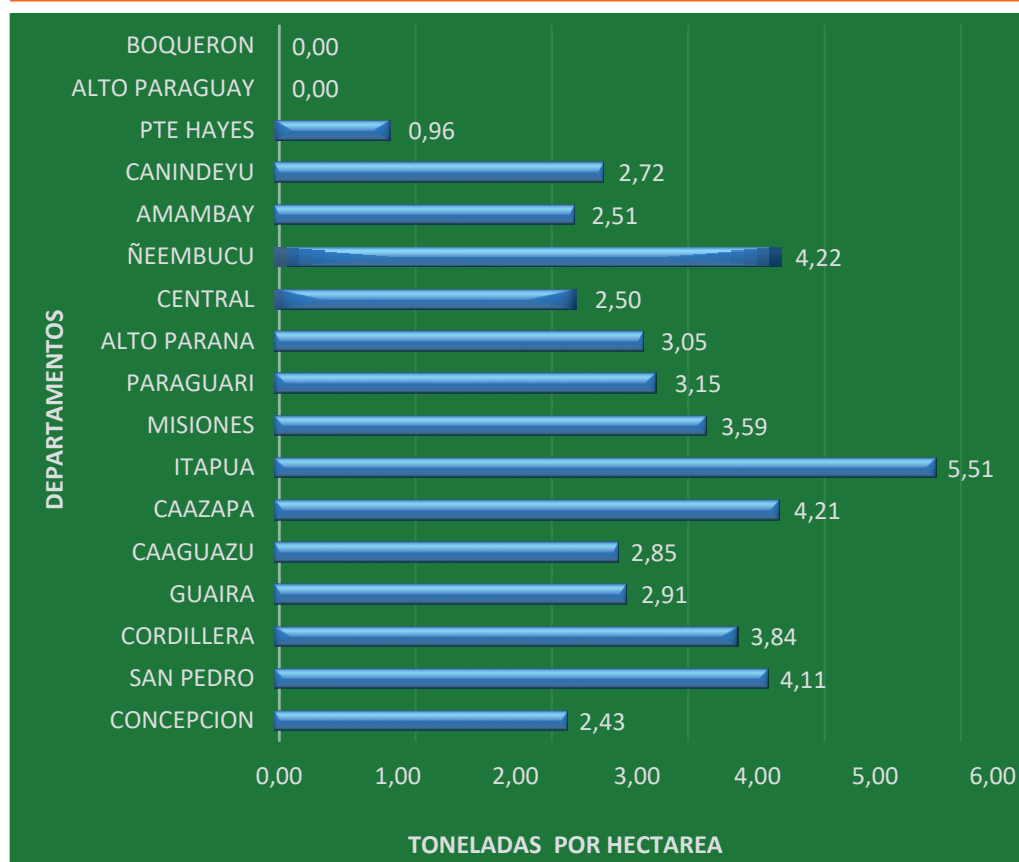
**Figura 9.** | Promedio de rendimiento de la Caña de Azúcar por Departamento, período 1981-2016



Fuente: Equipo técnico – Proyecto AMICAF.

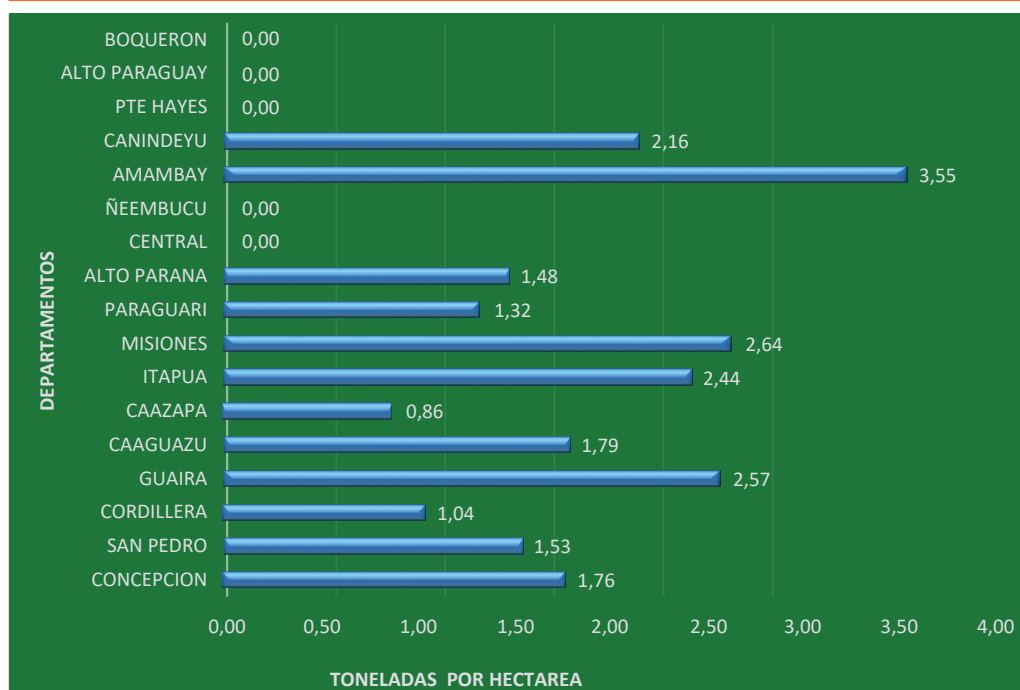


**Figura 10.** | Promedio de rendimiento del arroz de riego por Departamento, período 1981-2016



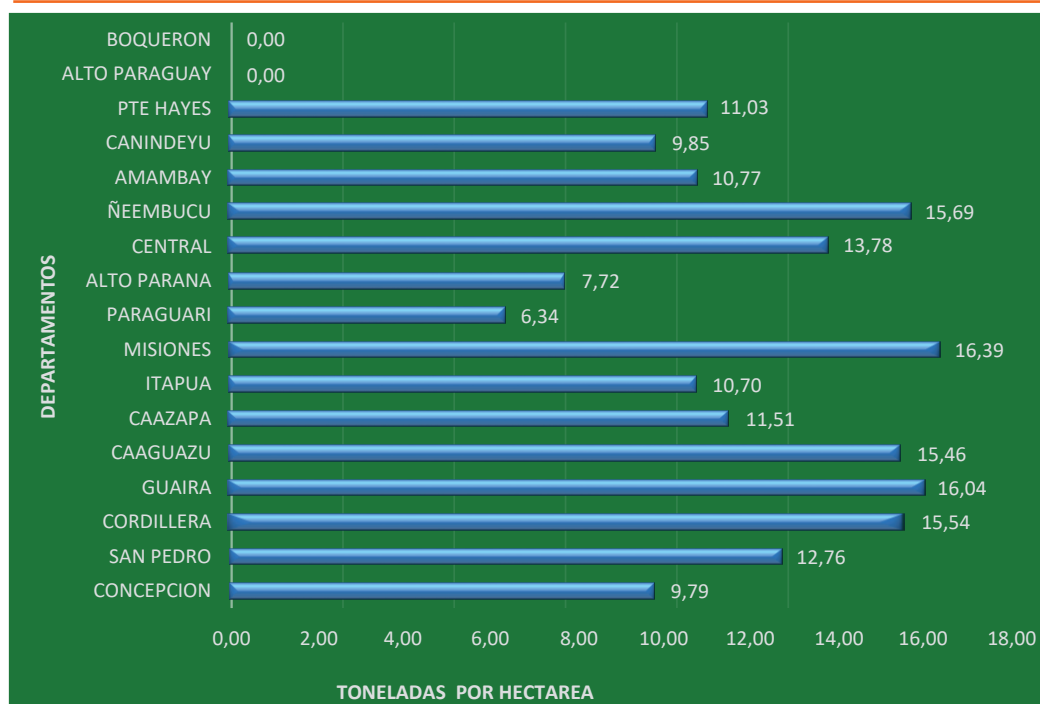
Fuente: Equipo técnico – Proyecto AMICAF.

**Figura 11.** | Promedio de rendimiento del arroz seco por Departamento, período 1981-2016



Fuente: Equipo técnico – Proyecto AMICAF.

**Figura 12.** | Promedio de rendimiento de la mandioca por Departamento, período 1981–2016



Fuente: Equipo técnico – Proyecto AMICAF.

### 4.3 Plataforma MOSAICC

El siguiente paso consistió en el análisis de los datos dentro de la plataforma MOSAICC el cual cuenta con 7 herramientas, específicamente el área de estudio el cual se utiliza para delimitar las zonas de trabajo, la reducción de escala (downscaling climático) que contiene los datos climáticos observados y de los modelos (GCM), este apartado fue elaborado por la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil – DINAC, la herramienta PET Hargreaves para el cálculo de la Evapotranspiración Potencial, utilizando solamente  $t_{max}$  y  $t_{min}$  como variables climáticas, el PCA (Análisis de componentes principales) el cual define el área de estudio y el modelo de interpolación, la interpolación de los datos se realiza a través de la herramienta Data Interpolation, el mismo utiliza datos climáticos como datos de entrada y salida, el Planting Dekadal – PLD identifica las temporadas de siembra y ciclo productivo de un cultivo, por último, la herramienta WABAL calcula el balance hídrico de los cultivos, arrojando datos como evapotranspiración efectiva, déficit hídrico, exceso hídrico, índice de satisfacción hídrica entre otros.

### 4.4 Construcción de la función de rendimiento

Seguidamente se procedió al análisis estadístico de los datos de salida descargadas del WABAL, utilizando la herramienta hojas de cálculo de Microsoft Excel, que permite realizar los respectivos cálculos estadísticos necesarios. El primer paso consiste en el cálculo de la correlación entre la anomalía ( $y$ ), y todas las potenciales variables independientes ( $X_i$ ) donde se realizó la selección de las variables del balance hídrico y las variables climáticas, una vez seleccionado las variables correspondientes, se calcula la mejor estimación del rendimiento como función de esas variables mediante la regresión multivariada. Esta calculará las pendientes para cada una de las variables ( $a_i$ ) y la ordenada en el origen ( $b$ ).

En la Tabla 3, se describen las variables resultantes de la plataforma WABAL, la cual puede ejecutarse a nivel de puntos o cuadrícula. Cuando se escoge el método “puntos”, todos los datos en entrada deben estar sobre puntos también. Cuando se escoge el método “cuadrícula” todos los datos de entrada deben ser referidos a una cuadrícula o a polígonos. El último método puede requerir pre-procesamiento de los datos, es decir interpolación de los datos climáticos de las estaciones a la cuadrícula.

**Tabla 3 | Descripción de las variables de salida de WABAL**

Variables	Definición
ETAi	Evapotranspiración efectiva (“Actual Evapotranspiration”)
DEFi	Déficit hídrico (“Water Deficit”) (mm)
EXCi	Exceso hídrico (“Water Excess”) (mm)
TWR	Necesidad total de agua (“Total Water Requirement”) (mm)
WSI (raw)	Índice de satisfacción hídrica (“Water Satisfaction Index”) (%)
WSI (corrected)	WSI corregido para tener en cuenta el exceso de agua

\* Donde: i puede tomar los valores como, t: Total, 1: Temporada inicial, 2: Temporada de desarrollo, 3: Media temporada, 4: Temporada final.

Conforme observado en la Figura 13, se muestra ejemplo de las salidas del modelo WABAL, para el cultivo de trigo en el departamento de Alto Paraná.

**Figura 13. | Alto Paraná (Trigo): ejemplo de salidas de WABAL con datos observados**

Year	ETAt	ETA1	ETA2	ETA3	ETA4	EXCt	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4	DEFt	DEF1	DEF2	DEF3	DEF4	TWR	WSI (raw)	WSI (corr. for surplus)
1980	390	29	222	82	56	18	15	3	0	0	764	0	46	459	258	797	49	44
1981	268	28	174	25	41	0	0	0	0	0	927	52	79	527	269	760	35	35
1982	591	45	176	255	115	0	0	0	0	0	420	11	45	172	192	716	83	83
1983	559	25	196	274	64	191	111	80	0	0	289	0	0	76	213	711	79	64
1984	338	45	166	88	40	0	0	0	0	0	838	0	154	424	261	771	44	44
1985	484	38	177	173	95	0	0	0	0	0	624	2	81	315	226	718	67	67
1986	570	37	200	218	116	0	0	0	0	0	325	0	8	168	149	688	83	83
1987	572	36	200	295	41	51	28	23	0	0	425	0	13	112	300	771	74	66
1988	241	27	154	5	54	0	0	0	0	0	1008	6	178	535	288	809	30	30
1989	447	3	170	161	113	0	0	0	0	0	678	76	134	357	111	769	58	58
1990	494	35	194	121	143	0	0	0	0	0	483	18	7	334	124	722	68	68
1991	318	37	204	64	13	0	0	0	0	0	907	15	109	486	297	799	40	40
1992	591	40	198	253	99	68	3	65	0	0	389	0	0	216	173	758	78	73
1993	323	44	138	110	30	0	0	0	0	0	1050	20	253	479	298	873	37	37
1994	514	30	200	273	11	46	0	27	19	0	548	0	0	217	330	820	63	50
1995	212	17	107	74	13	0	0	0	0	0	1166	68	284	470	344	847	25	25
1996	287	20	123	45	99	0	0	0	0	0	960	58	204	475	222	754	38	38
1997	533	36	199	223	74	0	0	0	0	0	578	44	9	260	266	767	70	70
1998	550	43	213	152	142	50	50	0	0	0	377	0	28	334	15	710	77	72
1999	386	31	189	123	42	0	0	0	0	0	765	42	75	349	298	774	50	50
2000	460	33	212	106	110	0	0	0	0	0	679	12	87	383	197	754	61	61

Conforme observado en la Figura 14 en la columna “Anomalía” se muestra la correlación existente entre esta y cada una de las variables climáticas interpoladas con datos observados y de balance hídrico obtenido mediante las respectivas salidas del WABAL. Las variables correlacionadas pueden incluir salidas de WABAL y variables climáticas de varias resoluciones temporales, en este caso se utilizó decadales, cubriendo así la fase fenológica de desarrollo del cultivo.

**Figura 14.** | Análisis de correlación entre variables de salida de WABAL, variables climáticas y la anomalía observada para el cultivo de soja en el Departamento de Alto Paraná

Alto Paraná	Anomaly	Prec	Tmin	Tmax	ETA1	ETA2	ETA3	ETA4	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4	DEF1	DEF2	DEF3	DEF4
Anomaly	1															
Prec	0.2831307	1														
Tmin	-0.0914151	0.3133213	1													
Tmax	-0.2879178	0.3009645	0.7769008	1												
ETA1	0.2782733	0.965233	-0.3613153	-0.3804772	1											
ETA2	0.0794072	0.1545381	-0.1069995	-0.0714321	0.1825454	1										
ETA3	0.1955072	0.6007954	-0.290249	-0.3047144	0.6315677	0.0979888	1									
ETA4	0.1763813	0.8409008	-0.217989	-0.2634955	0.8823229	0.0788943	0.3679311	1								
EXC1	0.271389	0.6054721	-0.3359093	-0.2950797	0.5960576	0.1997643	0.1143832	0.3170946	1							
EXC2	0.2161055	0.2949916	0.1755474	0.1037622	0.1758487	-0.0858277	0.2021564	0.1411948	0.0460015	1						
EXC3	0.1241028	0.0847614	0.2047034	0.1021172	0.0211985	-0.1400406	0.0781719	0.0028643	-0.0114932	0.8268	1					
EXC4	0.2572765	0.328189	0.0199804	0.0300713	0.2365088	0.1023044	0.2097493	0.2114886	0.0640895	0.5936802	0.0570346	1				
DEF1	-0.1536407	0.2939017	0.1894784	0.0554086	0.2318641	-0.3570108	0.2453289	0.2440838	-0.0042343	-0.0135869	-0.0820317	-0.083628	1			
DEF2	-0.1580568	0.1664458	-0.2245269	-0.0059785	0.0426024	0.0412541	-0.031105	-0.0386557	0.2222679	-0.0001534	0.0505454	0.0505454	1			
DEF3	-0.262016	0.2152209	0.2429195	0.2496497	-0.8974607	-0.0688906	-0.6415297	-0.7557234	-0.5333587	-0.3016844	-0.1220228	-0.2645152	-0.3658877	-0.2296341	1	
DEF4	-0.3780579	0.2970372	-0.0281923	0.1175135	-0.2668806	0.0543396	-0.3685341	-0.1773908	-0.0706618	-0.5643754	-0.4650534	-0.3102901	-0.015324	-0.1459919	0.4910144	1
TWR	-0.1674714	0.6771783	0.2682209	0.239533	-0.6703049	-0.0671345	-0.8296014	-0.4832218	-0.1901802	-0.3110369	-0.072735	-0.3914709	-0.2095716	-0.1427006	0.8017639	0.4295369
WSI (raw)	-0.1134376	0.8360647	0.1526712	0.1527443	-0.8530023	0.0829246	-0.4189495	-0.9226889	-0.3362721	-0.1523582	-0.0426497	-0.1286273	-0.4385143	-0.0514044	0.83592	0.2047702
WSI (corr. for surplus)	-0.2364228	0.6225687	0.2259426	0.1986857	-0.5664123	-0.2920697	-0.1858589	-0.2888085	-0.8864918	-0.0300608	0.0290294	0.0018148	-0.2198024	-0.3882979	0.6334416	0.1587563
	-0.027441	0.4625946	0.0296823	-0.1029852	-0.4585083	0.0036983	-0.2438035	-0.393886	-0.3471886	-0.0442634	-0.0277332	0.068164	-0.2702169	-0.4106805	0.665557	0.2349183
	0.9508359	-0.3086149	-0.2942611	0.9734937	0.1419812	0.5838144	0.8658301	0.6020099	0.164048	0.0225259	0.1884774	0.2873377	0.1485509	-0.6735896	-0.900914	-0.6155776
	0.1743598	0.8671001	-0.3236918	-0.3157688	0.9252791	0.1912943	0.5360728	0.808332	0.6141023	-0.1073107	-0.2003544	0.0290742	0.3076593	0.1048572	-0.8460799	-0.8386067

Posteriormente se utilizó la fórmula para el cálculo de la función de rendimiento del cultivo (Y) es una función de variables climáticas y de balance hídrico específico del cultivo ( $X_i$ )

$$Y = a_1 \cdot X_1 + \dots + a_i \cdot X_i + \dots + a_n \cdot X_n + b$$

Para construir la función de rendimiento se realizaron algunos procesos como:

1. Control de calidad y deducción de tendencia de los rendimientos históricos observados (Y).
2. Recolección de variables climáticas y cálculo de variables de balance hídrico como variables potenciales  $X_i$  (X).
3. Identificar cuales ( $X_i$ ) y cuantas (n) variables usar, a través del estudio de las correlaciones entre rendimientos observados y variables climáticas y de balance hídrico.
4. Calcular las pendientes ( $a_i$ ) y la ordenada en el origen (b) y obtener la función de rendimiento.

A través de la mencionada función, se obtuvieron los rendimientos calculados para:

- Datos históricos según los diferentes modelos.
- Datos futuros según los diferentes modelos para los escenarios RCP4.5 y 8.5.







## 5. Resultados

Al obtener todos los rendimientos calculados, se utilizó el promedio de los valores obtenidos, con el cual se determinó la diferencia entre el escenario 4.5 y el histórico y el escenario 8.5 y el histórico para cada modelo, esta diferencia fue contrastada con la Desviación Estándar (DS) resultante del escenario histórico. Si la desviación estándar fuese mayor a la diferencia futuro-histórico, el análisis no presenta diferencia significativa (estadísticamente), de lo contrario, si la desviación estándar es menor a la diferencia futuro-histórico se considera que el análisis presenta diferencia significativa.

Según el análisis realizado para la función de rendimiento, se encontraron parámetros con mayor grado de relación con la anomalía de rendimiento, como variables climáticas y de balance hídrico, que varían de acuerdo al cultivo y al departamento analizado. La variabilidad de las variables está sujeta a condiciones edafoclimáticas bien definidas por zonas productivas.

En el siguiente apartado se expresan los resultados obtenidos al realizar la proyección de la anomalía de rendimientos futuros para los diferentes cultivos seleccionados, arroz irrigado, arroz seco, caña de azúcar, maíz, mandioca, soja y trigo.

### 5.1 Arroz seco

En cuanto a los resultados obtenidos para el cultivo de arroz seco, se encontraron significancia estadística en los Departamentos de Canindeyú e Itapúa, únicamente para el modelo Alemán (MPI), en el escenario proyectado RCP4.5, y las variables que se encontraron asociadas a la anomalía de rendimiento fueron,  $Etat_2$  y Precipitación. Con los resultados obtenidos podemos afirmar que los efectos de cambio climático afectarían de manera negativa sobre el cultivo analizado en estos Departamentos citados anteriormente.

Para el modelo Canadiense (CANES) este cultivo presenta cambio significativo positivo para el Departamento de Canindeyú y negativo en el caso de Caaguazú, en el escenario 8,5, los demás no presentan resultados estadísticamente significativos, en tal sentido no podríamos afirmar de qué manera (positivo o negativo) afectarían de los impactos potenciales del cambio climático sobre el cultivo de arroz seco a nivel nacional bajo ninguno de los escenarios analizados.

**Tabla 4 |** Promedio de anomalía de rendimiento calculado ( $\text{tn/ha}^{-1}$ ) para los diferentes Departamentos, productores de arroz seco considerando los escenarios de RCP4.5; 8.5 e histórico del modelo MPI, CANES, CNRMC y análisis estadístico correspondiente

MODELO MPI						
Departamento	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraná	0,10	0,14	0,21	0,12	0,04	-0,11
Canindeyú	-0,43	-1,05	-0,34	0,24	-0,62*	-0,10
Itapúa	0,09	-0,09	0,01	0,17	-0,18*	0,08
Misiones	-1,54	-1,51	-1,55	0,36	0,03	0,01
Caaguazú	-0,15	-0,10	-0,12	0,13	0,05	-0,02
MODELO CANES						
Departamento	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraná	0,16	0,23	0,17	0,08	0,06	-0,01
Canindeyú	-0,34	-0,36	-1,08	0,17	-0,02	0,74*
Itapúa	-0,03	0,03	0,11	0,16	0,06	-0,14
Misiones	-1,47	-1,37	-1,42	0,41	0,10	-0,06
Caaguazú	-0,21	-0,03	0,32	0,30	0,19	-0,53*

\* Indican cambios significativos.

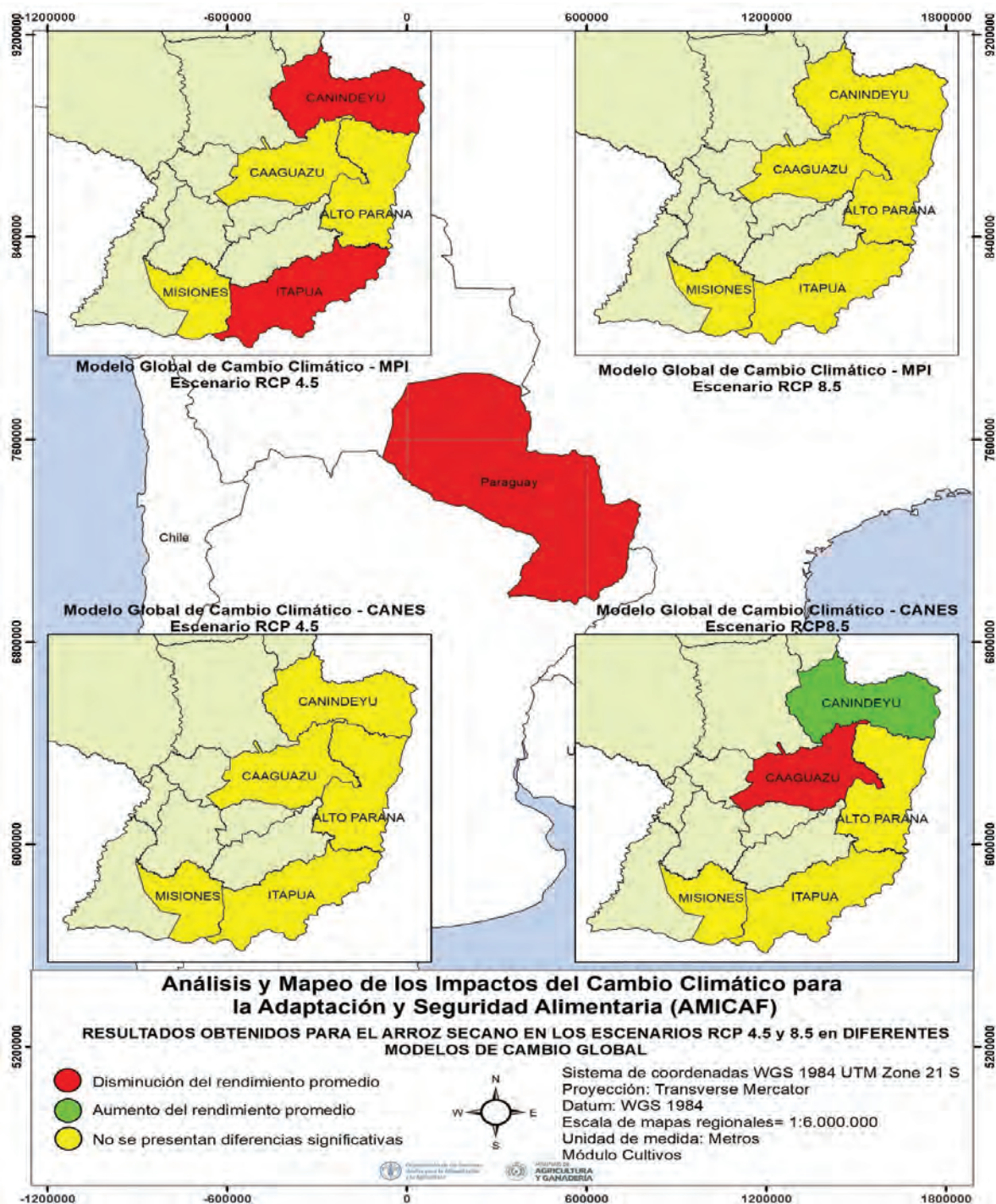
Para el modelo **CNRM** no se pudieron obtener resultados debido a que la plataforma MOSSAIC estaba con inconvenientes de acceso al sistema de cálculos del WABAL.

Conforme a los resultados finales, el modelo alemán MPI, presentó valores significativos solo para el escenario RCP4.5, para los Departamentos de Canindeyú e Itapúa, según la diferencia entre el rendimiento futuro simulado y el rendimiento histórico simulado se prevé una disminución del promedio de rendimiento en aproximadamente 620 kg/ha y 180 kg/ha, respectivamente para los Departamentos citados.

En el modelo Canadiense - CANES, en el escenario RCP8.5, se prevé un aumento del promedio del rendimiento para el Departamento de Canindeyú en 740 kg/ha, y una disminución del 530 kg/ha en el Departamento de Caaguazú, aproximadamente, según la diferencia entre el rendimiento simulado futuro y el rendimiento simulado histórico.



**Figura 15.** | Resultados obtenidos para el arroz seco en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, en diferentes Modelos de Cambio Global – GCM



## 5.2 Arroz Irrigado

Los resultados obtenidos en el modelo alemán (MPI), arrojan significancia solo para el Departamento de Cordillera de manera positiva en ambos escenarios, 4.5 y 8.5, con este resultado se podría deducir que el cambio climático afectaría a este rubro solo en este Departamento.

Para el modelo canadiense (CANES), se observan significancias en el cambio climático con relación al rendimiento del cultivo para el escenario 4.5 en tres Departamentos, Itapúa y Misiones de manera positiva y Paraguarí de manera negativa. Con respecto al escenario 8.5, según los datos observados podría existir incidencia en el Departamento de Itapúa con un resultado negativo.

En el modelo francés (CNRM), en el escenario 4.5, se puede determinar que existe una incidencia del cambio climático en el rendimiento del cultivo para los Departamentos de Caazapá, Misiones y Paraguarí. Con respecto al escenario 8.5, solamente en el departamento de Paraguarí se observa significancia.

Para el cultivo de Arroz Irrigado, según la correlación de las variables, las que se han encontrado más relacionadas con la anomalía, son las variables del balance hídrico, ETA y DEF en sus distintas etapas.

**Tabla 5** | Promedio de anomalía de rendimiento calculado ( $\text{tn/ha}^{-1}$ ) para los diferentes Departamentos, productores de arroz irrigado considerando los escenarios de RCP4.5; 8.5 e histórico del modelo MPI, CANES, CNRMC y análisis estadístico correspondiente

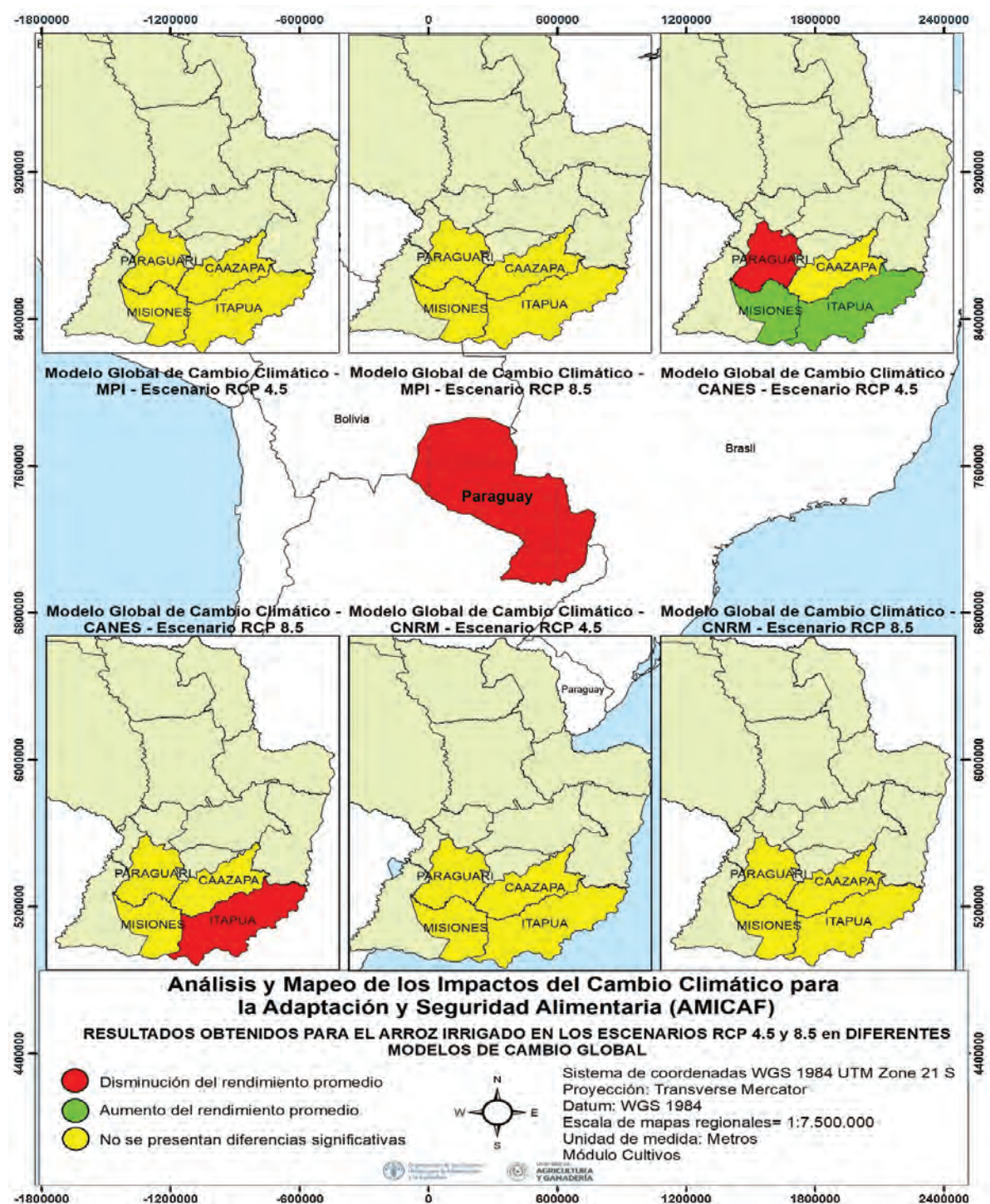
MODELO MPI						
Departamento	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Caazapá	-0,01	0,01	-0,02	0,62	0,02	-0,01
Itapúa	0,32	0,35	0,29	0,41	0,03	-0,03
Misiones	0,32	0,35	0,29	0,41	0,03	-0,03
Paraguarí	-0,02	0,01	0,01	0,04	0,03	0,03
MODELO CANES						
Departamento	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Caazapá	-0,14	-0,23	-0,19	0,37	-0,09	-0,05
Itapúa	0,17	1,23	-1,08	0,29	1,06*	-1,26*
Misiones	0,02	3,22	-0,07	0,11	3,20*	-0,09
Paraguarí	-0,01	-0,21	0,01	0,04	-0,21*	0,01
MODELO CNRM						
Departamento	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Caazapá	-0,10	0,35	0,53	0,40	0,45	0,19
Itapúa	0,20	0,39	0,25	0,25	0,18	0,05
Misiones	0,03	0,28	0,07	0,13	0,25	0,03
Paraguarí	-0,22	-0,04	-0,02	0,13	0,18	0,20

\* Indican cambios significativos.

Conforme a los resultados obtenidos, sólo se observaron diferencias significativas positivas y negativas en el modelo CANES, para ambos escenarios en estudio. El cual no presenta relevancia para el estudio, pues no existe consistencia con los demás modelos estudiados.



**Figura 16.** | Resultados obtenidos para el arroz irrigado en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, en diferentes Modelos de Cambio Global – GCM



### 5.3 Caña de azúcar

Los resultados obtenidos para el Modelo Alemán – MPI, fueron bastante diversos en los diferentes Departamentos estudiados. Evaluando los promedios de los rendimientos calculados y los cambios medios significativos en los 3 escenarios del modelo en cada Departamento citado en la Tabla, se observaron diferencias significativas positivas y negativas para el cultivo de caña de azúcar. Según los valores obtenidos y

considerando el concepto de cambio climático, se prevé que, para los Departamentos de Amambay, Caazapá, Canindeyú y Concepción, ocurra una disminución del promedio de rendimiento en 4 240 kg/ha, 3 210 kg/ha, 2 220 kg/ha y 4 370 kg/ha, respectivamente en el escenario RCP4.5, para el escenario RCP8.5 se prevé una disminución de 5 350 kg/ha, 3 810 kg/ha, 2 890 kg/ha y 5 920 kg/ha, respectivamente, considerando el rendimiento promedio normal observado para dichos Departamentos. En cambio, en los Departamentos de Cordillera, Itapúa y San Pedro, se prevé un aumento del rendimiento promedio normal en 310 kg/ha, 2 360 kg/ha y 11 200 kg/ha para el escenario RCP4.5 y 340 kg/ha, 1 600 kg/ha y 10 720 kg/ha en el escenario RCP8.5, respectivamente, considerando el rendimiento promedio observado para estos Departamentos,

En los Departamentos de Caaguazú, Central, Guairá, Misiones, Ñeembucú y Paraguari no se observaron diferencias significativas en los diferentes modelos y escenarios climáticos, por lo cual se considera que para estos Departamentos la incidencia del cambio climático será exiguo.

El Modelo Canadiense – CANES, presentó resultados similares en 7 de los 13 Departamentos estudiados. Evaluando los promedios de los rendimientos calculados y los cambios medios significativos en los 2 escenarios del modelo en cada Departamento citado en la Tabla 6, se observaron más diferencias significativas negativas para el cultivo de caña de azúcar. Según los valores obtenidos y considerando el concepto de cambio climático, se prevé que para los Departamentos de Amambay, Caaguazú, Caazapá, Canindeyú, Concepción, Guairá y San Pedro, ocurra una disminución del promedio de rendimiento en 6 550 kg/ha, 8 290 kg/ha, 4 170 kg/ha, 3 520 kg/ha, 7 600 kg/ha, 1 310 kg/ha, 7 260 kg/ha en el escenario RCP4.5 y 8 030 kg/ha, 10 700 kg/ha, 5 580 kg/ha, 5 330 kg/ha, 9 330 kg/ha, 1 760 kg/ha, 8 850 kg/ha en el escenario RCP8.5, respectivamente, considerando el rendimiento promedio normal observado para dichos Departamentos. En cambio, en el Departamento de Itapúa se prevé un aumento del rendimiento promedio en 2,72 kg/ha en el escenario RCP4.5 y 3 870 kg/ha en el escenario RCP8.5, considerando el rendimiento promedio normal observado para el Departamento.

De acuerdo a la correlación de las variables climáticas y de balance hídrico, resultaron más relacionadas con la anomalía, las variables de ETA en sus distintas etapas, TWR y la variable climática  $T_{max}$ , también se han encontrado correlación con las variables de precipitación y temperatura mínima pero en menor cantidad.

En los Departamentos d Alto Paraná, Central, Misiones, Ñeembucú y Paraguari no se observaron diferencias significativas en comparación con el cambio medio significativo, por lo cual se considera que para estos Departamentos la incidencia del cambio climático será nula.

**Tabla 6** | Promedio de anomalía de rendimiento calculado (tn/ha<sup>-1</sup>) para los diferentes Departamentos, productores de caña de azúcar considerando los escenarios de RCP4.5; 8.5 e histórico del modelo MPI, CANES, CNRMC y análisis estadístico correspondiente

MODELO MPI						
Departamento	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraná	3,65	3,17	3,12	0,56	-0,44	-0,48
Amambay	6,95	2,7	1,6	1,39	-4,24*	-5,35*
Caaguazú	0,44	0,34	0,30	0,88	-0,10	-0,14
Caazapá	5,3	2,18	1,58	1,09	-3,21*	-3,81*
Canindeyú	24,2	22	21	1,4	-2,22*	-2,89*
Central	4,87	4,31	3,15	2,66	-0,56	-1,72
Concepción	2,71	-1,6	-3,2	1,9	-4,37*	-5,92*
Cordillera	-0,94	-0,62	-0,60	0,18	0,31*	0,34*
Guaira	10,7	10,5	10,3	1,1	-0,27	-0,44
Itapúa	-18,9	-16,5	-17,3	1,15	2,36*	1,60*
Misiones	-0,88	-0,99	-1,19	0,91	-0,11	-0,30
Ñeembucú	-0,90	-1,87	-1,89	2,16	-0,96	-0,99
Paraguarí	12	13	13	1,83	0,14	0,29
San Pedro	6,2	17,5	16,9	2,05	11,2*	10,72*
MODELO CANES						
Departamento	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraná	3,5	3,19	3,43	0,72	-0,34	-0,10
Amambay	7,21	0,66	-0,82	1,83	-6,55*	-8,03*
Caaguazú	-2,19	-10,8	-13,2	2,45	-8,29*	-10,7*
Caazapá	5,04	0,86	-0,54	1,47	-4,17*	-5,58*
Canindeyú	25,1	21,5	19,7	1,59	-3,52*	-5,33*
Central	5,00	3,93	4,46	3,57	-1,06	-0,54
Concepción	2,33	-5,27	-7,00	2,24	-7,6*	-9,33*
Guaira	11,0	9,71	9,27	1,47	-1,31	-1,76*
Itapúa	-19,3	-16,6	-15,5	1,68	2,72*	3,87*
Misiones	-0,94	-0,78	-0,59	1,08	0,16	0,35
Ñeembucú	-1,93	-2,69	-2,52	2,20	-0,75	-0,59
Paraguarí	13,5	11,3	14,7	3,36	-0,74	1,21
San Pedro	22,0	14,8	13,2	1,98	-7,26*	-8,85*
MODELO CNRM						
Departamento	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraná	3,43	3,81	4,18	0,72	0,37	0,74*
Amambay	7,34	3,93	3,21	1,81	-3,41*	-4,13*
Caaguazú	-1,54	-8,05	-6,08	1,97	-6,51*	-4,53*
Caazapá	5,76	2,71	3,59	1,37	-3,04*	-2,17*
Canindeyú	24,9	27,1	23,9	1,99	2,24*	-0,94
Central	5,28	5,81	7,25	3,49	0,53	1,96

Departamento	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Guaira	10,7	11,5	10,3	1,15	0,79	-0,42
Itapúa	-19,7	-19,0	-17,9	1,71	0,79	-1,88*
Misiones	-0,77	-0,76	0,57	0,91	0,004	0,20
Ñeembucú	-1,80	-2,66	-2,54	1,98	-0,85	-0,73
Paraguarí	13,6	14,8	17,4	2,10	1,20	3,78*
San Pedro	22,4	21,5	18,6	1,90	-1,17	-3,78*

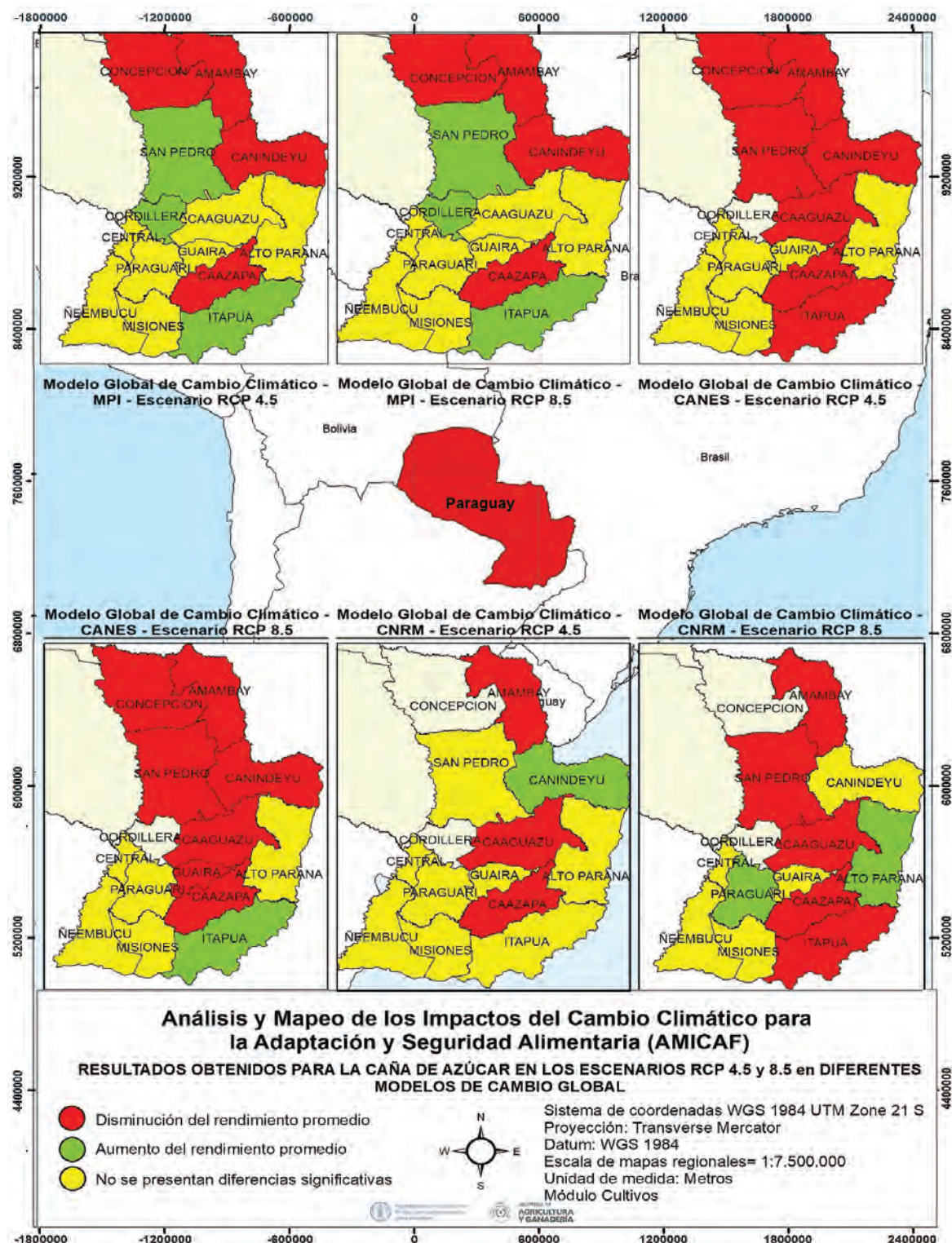
\* Indican cambios significativos.

El Modelo Francés – CNRM, presentó resultados diferentes entre los Departamentos estudiados y entre los escenarios RCP4.5 y 8.5. Evaluando los promedios de los rendimientos calculados y los cambios medios significativos en los 3 escenarios del modelo en cada Departamento citado en la Tabla 6, se observaron diferencias significativas positivas y negativas para el cultivo de caña de azúcar. Según los valores obtenidos y considerando el concepto de cambio climático, se prevé que, para los Departamentos de Amambay, Caaguazú y Caazapá, ocurra una disminución del promedio de rendimiento en 3 410 kg/ha, 6 510 kg/ha y 3 040 kg/ha en el escenario RCP4.5 y 4 130 kg/ha, 4 530 kg/ha, 2 170 kg/ha en el escenario RCP8.5, respectivamente. En el Departamento de Itapúa se estima una disminución de 1 880 kg/ha en el escenario 8.5 y en el Departamento de San Pedro se espera una disminución de 3 780 kg/ha también para el escenario RCP8.5, considerando el rendimiento promedio normal observado para Departamentos citados. En los Departamentos de Alto Paraná y Paraguarí, se prevé un aumento del rendimiento promedio en 740 kg/ha y 3 780 kg/ha, en el escenario RCP 8,5, considerando el rendimiento histórico observado para dichos Departamentos. En el Departamento de Canindeyú, se prevé un aumento del promedio de rendimiento en el escenario RCP4.5, en 2 240 kg/ha.

En los Departamentos de Central, Guairá, Misiones y Ñeembucú, no se observaron diferencias significativas en comparación con el cambio medio significativo, por lo cual se considera que para estos Departamentos la incidencia del cambio climático será nula.



**Figura 17.** | Resultados obtenidos para la caña de azúcar en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, en diferentes Modelos de Cambio Global – GCM



## 5.4 Maíz

Conforme observado los resultados finales, no fue determinado ninguna significancia estadística bajo ninguno de los tres modelos implementados en el presente material, modelo alemán (MPI), modelo canadiense (CANES) y el modelo francés (CNRMC) para ninguno de los escenarios proyectados (RCP 4,5 y 8,5) para todo el territorio nacional.

Según la correlación de las variables, las que se han encontrado más relacionadas con la anomalía, son la precipitación y exceso hídrico en sus distintas etapas.

**Tabla 7. |** Promedio de anomalía de rendimiento calculado ( $\text{tn/ha}^{-1}$ ) para los diferentes departamentos productores de maíz considerando los escenarios de RCP4.5; 8.5 e histórico del modelo MPI, CANES, CNRMC y análisis estadístico correspondiente

MODELO MPI						
Departamento	$\bar{X}$ Rend Sim <sup>Hist</sup>	$\bar{X}$ Rend Sim <sup>RCP4,5</sup>	$\bar{X}$ Rend Sim <sup>RCP8,5</sup>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sup>RCP4,5</sup> – Rend Sim <sup>Hist</sup>	Rend Sim <sup>RCP8,5</sup> – Rend Sim <sup>Hist</sup>
Alto Paraguay	0,16	0,13	0,08	0,18	-0,02	-0,07
Alto Paraná	0,23	0,25	0,17	0,49	0,02	-0,06
Amambay	-0,04	-0,05	-0,07	0,19	-0,01	-0,03
Boquerón	0,02	0,01	0,00	0,10	-0,01	-0,03
Caaguazú	0,44	0,34	0,30	0,88	-0,10	-0,14
Caazapá	0,07	0,06	0,06	0,09	-0,01	-0,01
Canindeyú	0,21	0,23	0,14	0,42	0,02	-0,08
Central	0,77	0,37	0,57	1,49	-0,41	-0,20
Concepción	0,17	0,21	0,22	0,22	0,03	0,05
Cordillera	0,27	0,29	0,31	0,92	0,02	0,04
Guaira	-0,03	-0,01	-0,02	0,12	0,02	0,01
Itapúa	-0,06	-0,05	-0,06	0,09	0,01	-0,01
Misiones	-0,23	-0,23	-0,23	0,06	0,00	0,00
Ñeembucú	-0,18	-0,16	-0,16	0,08	0,02	0,03
Paraguarí	0,53	0,45	0,51	0,61	-0,09	-0,02
Presidente Hayes	-0,10	-0,10	-0,08	0,08	-0,01	0,01
San Pedro	0,16	0,18	0,21	0,15	0,03	0,05
MODELO CANES						
Departamento	$\bar{X}$ Rend Sim <sup>Hist</sup>	$\bar{X}$ Rend Sim <sup>RCP4,5</sup>	$\bar{X}$ Rend Sim <sup>RCP8,5</sup>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sup>RCP4,5</sup> – Rend Sim <sup>Hist</sup>	Rend Sim <sup>RCP8,5</sup> – Rend Sim <sup>Hist</sup>
Alto Paraguay	0,15	0,12	0,11	0,18	-0,03	-0,04
Alto Paraná	0,31	-0,08	-0,04	0,64	-0,39	-0,35
Amambay	-0,01	-0,18	-0,17	0,21	-0,17	-0,16
Boquerón	0,02	-0,04	-0,04	0,09	-0,06	-0,06
Caaguazú	0,35	-0,05	-0,05	0,84	-0,40	-0,40
Caazapá	0,06	0,01	0,01	0,08	-0,06	-0,05
Canindeyú	0,29	-0,09	-0,08	0,52	-0,38	-0,37
Central	0,91	0,28	0,38	2,72	-0,62	-0,53
Concepción	0,18	0,12	0,13	0,19	-0,05	-0,04
Cordillera	0,46	0,03	0,06	1,61	-0,43	-0,41
Guaira	0,01	-0,02	0,00	0,09	-0,03	-0,01

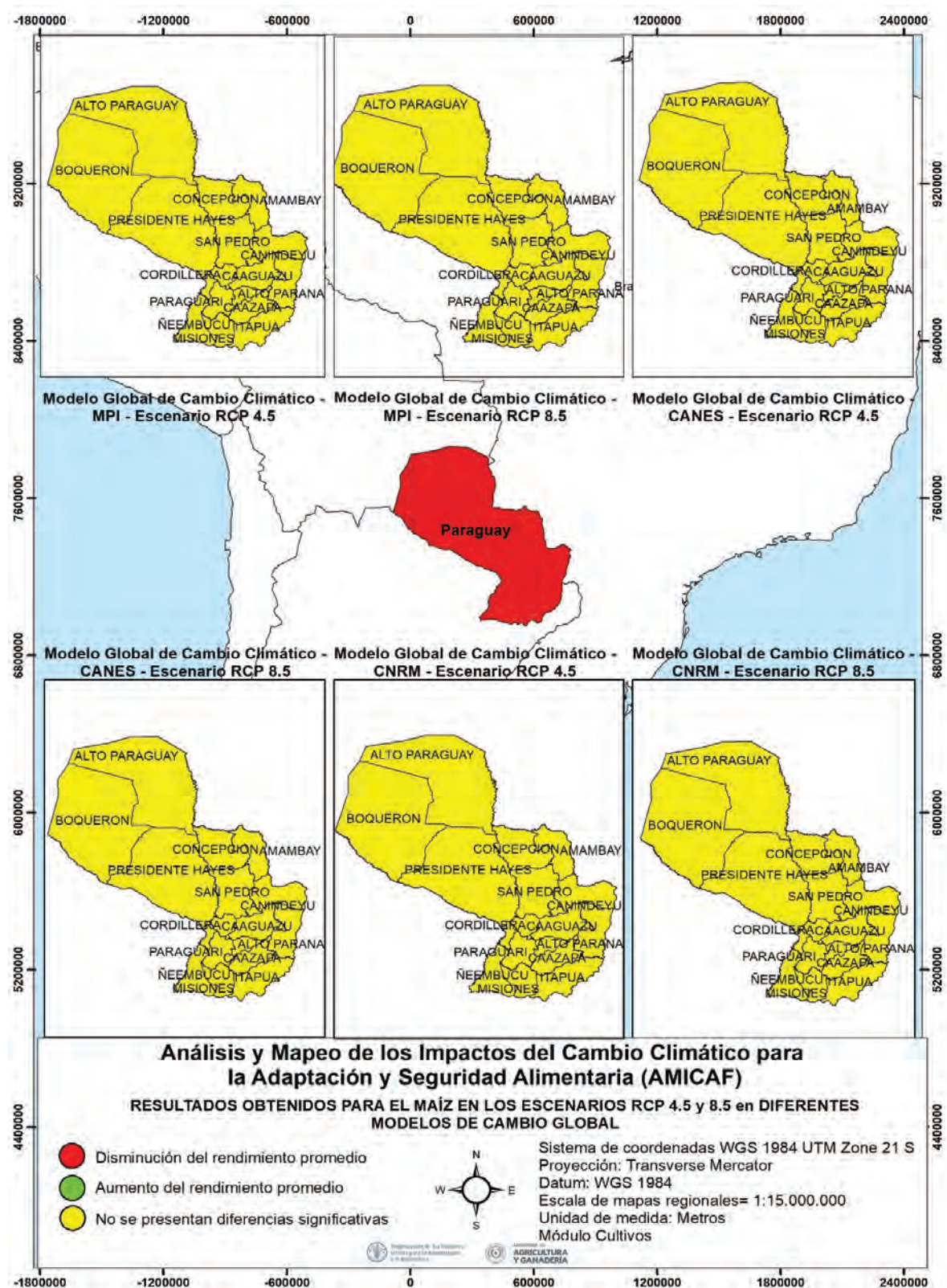


Departamento	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Itapúa	-0,04	-0,07	-0,06	0,11	-0,03	-0,02
Misiones	-0,24	-0,26	-0,26	0,05	-0,02	-0,02
Ñeembucú	-0,16	-0,14	-0,15	0,05	0,02	0,00
Paraguarí	0,50	0,33	0,27	0,62	-0,17	-0,22
Presidente Hayes	-0,09	-0,15	-0,14	0,06	-0,05	-0,05
San Pedro	0,15	0,11	0,12	0,09	-0,03	-0,03
MODELO CNRM						
Departamento	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraguay	0,26	0,28	0,11	0,21	0,03	-0,15
Alto Paraná	0,24	0,45	0,14	0,43	0,20	-0,11
Amambay	-0,02	0,03	-0,12	0,20	0,06	-0,10
Boquerón	0,02	-0,02	0,00	0,11	-0,04	-0,02
Caaguazú	0,43	0,78	0,26	0,84	0,36	-0,17
Caazapá	0,04	0,07	0,03	0,08	0,02	-0,01
Canindeyú	0,28	0,37	0,14	0,53	0,09	-0,14
Central	0,85	1,01	0,67	1,75	0,16	-0,17
Concepción	0,36	0,34	0,22	0,38	-0,03	-0,14
Cordillera	0,53	0,73	0,51	1,41	0,20	-0,02
Guaira	-0,08	-0,07	-0,07	0,14	0,01	0,01
Itapúa	-0,07	-0,13	-0,11	0,10	-0,05	-0,04
Misiones	-0,26	-0,28	-0,26	0,09	-0,02	0,01
Ñeembucú	-0,17	-0,17	-0,15	0,08	0,00	0,02
Paraguarí	0,41	0,58	0,80	0,40	0,17	0,07
Presidente Hayes	-0,10	-0,15	-0,13	0,08	-0,04	-0,03
San Pedro	0,27	0,19	0,18	0,31	-0,08	-0,09

\* Indican cambios significativos.

Para este cultivo en particular, al no presentarse resultados estadísticamente significativos, no podríamos afirmar el sentido (positivo o negativo) de los impactos potenciales del cambio climático sobre el cultivo del maíz a nivel nacional bajo ningún escenario.

**Figura 18.** | Resultados obtenidos para el maíz en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, en diferentes Modelos de Cambio Global – GCM



## 5.5 Mandioca

Los resultados obtenidos para el Modelo Alemán – MPI, para el cultivo de mandioca, fueron bastantes diversos. Evaluando los promedios de los rendimientos calculados y los cambios medios significativos en los 3 escenarios del modelo en cada Departamento citado en la Tabla 8, se observaron diferencias significativas positivas y negativas. Según los valores obtenidos y considerando el concepto de cambio climático, se prevé que para los Departamentos de Alto Paraguay, Caazapá y Canindeyú, ocurra un aumento del promedio de rendimiento en aproximadamente 410 kg/ha, 900 kg/ha y 570 kg/ha en el escenario RCP4.5 y 570 kg/ha, 1 080 kg/ha y 680 kg/ha, en el escenario RCP8.5, respectivamente, considerando el rendimiento promedio normal observado para dichos Departamentos. En los Departamentos de Amambay y Concepción se prevé un aumento de rendimiento en el escenario RCP8.5, en aproximadamente 370 kg/ha y 620 kg/ha, respectivamente. En cambio, en el Departamento de Alto Paraná, se prevé una disminución del rendimiento promedio aproximadamente en 920 kg/ha en el escenario RCP4.5 y 770 kg/ha en el escenario RCP8.5, respectivamente, considerando el rendimiento promedio normal observado para dichos Departamentos.

En los Departamentos de Caaguazú, Central, Cordillera y San Pedro, no se observaron diferencias significativas en comparación con el cambio medio significativo, por lo cual se considera que para estos Departamentos la incidencia del cambio climático será nula.

El Modelo Canadiense – CANES, presentó resultados variables en los Departamentos estudiados. Evaluando los promedios de los rendimientos calculados y los cambios medios significativos en los 3 escenarios del modelo en cada Departamento citado en la Tabla 8, se observaron más diferencias significativas positivas para el cultivo en estudio. Según los valores obtenidos y considerando el concepto de cambio climático, se prevé que para los Departamentos de Alto Paraguay, Amambay, Caazapá, Canindeyú y Concepción, un aumento del promedio de rendimiento aproximadamente en 730 kg/ha, 560 kg/ha, 1 030 kg/ha, 820 kg/ha y 820 kg/ha, en el escenario RCP4.5 y en 860 kg/ha, 630 kg/ha, 1 350 kg/ha, 1 030 kg/ha y 900 kg/ha, en el escenario RCP8.5, respectivamente, considerando el rendimiento promedio normal observado para dichos Departamentos. En cambio, en los Departamentos de Alto Paraná y San Pedro, se prevé una disminución del rendimiento promedio aproximadamente en 1 820 kg/ha y 1 470 kg/ha, en el escenario RCP 4,5 y en 2 290 kg/ha y 1 750 kg/ha, en el escenario RCP8.5, respectivamente, considerando el rendimiento promedio normal observado para los Departamentos citados.

En los Departamentos de Caaguazú, Central y Cordillera, no se observaron diferencias significativas en comparación con el cambio medio significativo, por lo cual se considera que para estos Departamentos la incidencia del cambio climático será nula.

El Modelo Francés – CNRM, presentó resultados diferentes entre los Departamentos estudiados y entre los escenarios RCP4.5 y 8.5. Evaluando los promedios de los rendimientos calculados y los cambios medios significativos en los 3 escenarios del modelo en cada Departamento, se observaron diferencias significativas positivas y negativas para el cultivo de mandioca. Según los valores obtenidos y considerando el concepto de cambio climático, se prevé que para el Departamento de Central ocurra una disminución del rendimiento promedio en 271 kg/ha para el escenario RCP4.5 y en 167 kg/ha para el escenario RCP8.5, considerando el rendimiento promedio normal observado para dicho Departamento. Para el Departamento de Alto Paraguay, se prevé la disminución del rendimiento promedio en el escenario RCP 4,5 en 260 kg/ha, y un

aumento del rendimiento promedio en 230 kg/ha para el escenario RCP8.5. Para los Departamentos de Amambay y Cordillera, se espera una disminución del rendimiento promedio en 320 kg/ha y 1 780 kg/ha, en el escenario RCP4.5, respectivamente. Para los Departamentos de Caazapá y Concepción se prevé un aumento del rendimiento en 1 370 kg/ha y 1 030 kg/ha para el escenario RCP4.5, respectivamente. Sólo para el Departamento de Canindeyú se prevé el aumento del rendimiento promedio en ambos escenarios estudiados, en 1 040 kg/ha (RCP4.5) y 560 kg/ha (RCP8.5).

En los Departamentos de Alto Paraná, Caaguazú y San Pedro, no se observaron diferencias significativas, por lo cual se considera que para estos Departamentos la incidencia del cambio climático será nula.

**Tabla 8 |** Promedio de anomalía de rendimiento calculado (tn/ha<sup>-1</sup>) para los diferentes departamentos productores de mandioca considerando los escenarios de RCP4.5; 8.5 e histórico del modelo MPI, CANES, CNRMC y análisis estadístico correspondiente

MODELO MPI						
Departamento	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraguay	-2,17	-1,75	-1,59	0,20	0,41*	0,57*
Alto Paraná	2,47	1,54	1,69	0,72	-0,92*	-0,77*
Amambay	-2,75	-2,52	-2,38	0,27	0,22	0,37*
Caaguazú	-0,43	-0,42	-0,28	0,93	0,01	0,15
Caazapá	2,61	3,51	3,70	0,61	0,90*	1,08*
Canindeyú	2,09	2,66	2,77	0,17	0,57*	0,68*
Central	4,38	3,97	3,74	0,80	-0,40	-0,64
Concepción	1,35	1,80	1,98	0,55	0,44	0,62*
Cordillera	-2,20	-2,04	-1,92	0,74	0,16	0,28
San Pedro	7,40	6,49	6,35	1,32	-0,90	-1,05
MODELO CANES						
Departamento	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraguay	-2,24	-1,51	-1,38	0,19	0,73*	0,86*
Alto Paraná	2,67	0,85	0,37	0,96	-1,82*	-2,29*
Amambay	-2,85	-2,28	-2,22	0,24	0,56*	0,63*
Caaguazú	-0,39	-0,34	-0,36	1,26	0,04	0,03
Caazapá	2,68	3,72	4,04	0,96	1,03*	1,35*
Canindeyú	2,32	3,15	3,35	0,33	0,82*	1,03*
Central	4,28	3,58	3,75	1,15	-0,70	-0,53
Concepción	1,48	2,31	2,38	0,67	0,82*	0,90*
Cordillera	-2,08	-1,56	-1,39	0,96	0,51	0,68
San Pedro	7,85	6,38	6,10	1,13	-1,47*	-1,75*

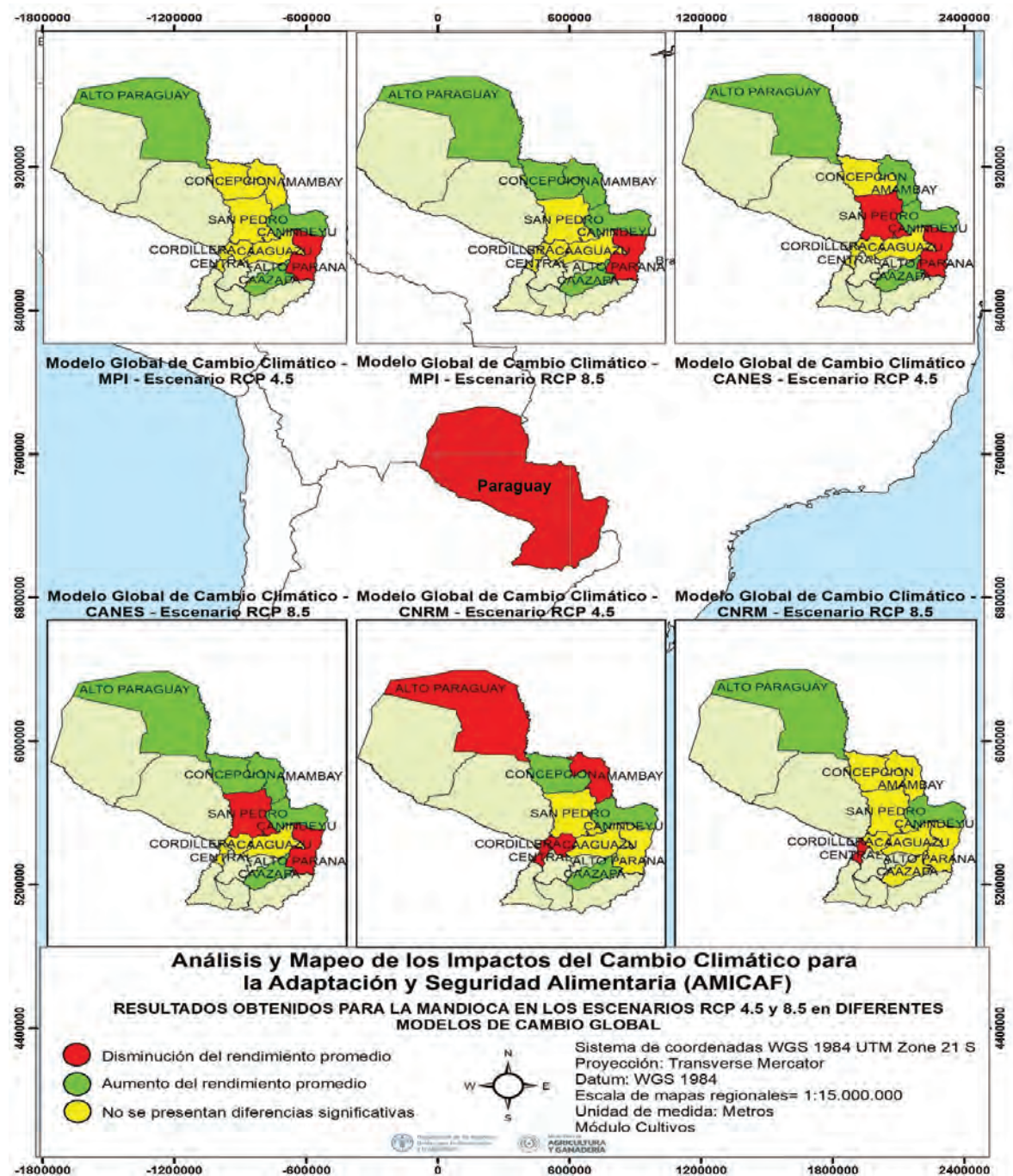
Departamento	MODELO CNRM					
	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraguay	-2,24	-2,50	-2,01	0,17	-0,26*	0,23*
Alto Paraná	2,69	1,78	1,59	1,24	-0,91	-1,09
Amambay	-2,85	-3,17	-2,84	0,25	-0,32*	0,01
Caaguazú	-0,79	-1,31	-0,74	1,70	-0,52	0,04
Caazapá	2,36	3,73	2,94	0,71	1,37*	0,58
Canindeyú	2,10	3,14	2,66	0,18	1,04*	0,56*
Central	3,96	1,24	2,28	0,74	-2,71*	-1,67*
Concepción	1,30	2,34	1,81	0,76	1,03*	0,50
Cordillera	-1,96	-3,74	-1,62	0,83	-1,78*	0,34
San Pedro	6,71	8,02	5,99	1,95	1,30	-0,71

\* Indican cambios significativos.

En cada uno de los modelos se han observado que las variables más relacionadas a la anomalía de rendimientos, son las de balance hídrico, ETA en sus distintas etapas y WSI raw, mientras que la variable climática de mayor incidencia en el cambio del rendimiento es la temperatura mínima.



**Figura 19.** | Resultados obtenidos para la mandioca en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, en diferentes Modelos de Cambio Global – GCM



## 5.6 Poroto

Para el cultivo de poroto, según la correlación de las variables climáticas y de balance hídrico, resultaron más relacionadas con la anomalía, las variables de ETA en sus distintas etapas, TWR y las variables WSI raw y corrected, pero también se han encontrado correlación con las variables climáticas de precipitación y temperatura pero en menor cantidad.



Según los resultados obtenidos en el modelo Alemán (MPI), para el cultivo de poroto, se pueden observar valores positivos y negativos de cambio medio significativo en ambos escenarios en estudio a nivel país. Para los Departamentos de Alto Paraguay y Amambay se prevé una disminución del rendimiento promedio aproximadamente en 50 kg/ha y 30 kg/ha, en el escenario RCP4.5, y en 50 kg/ha y 550 kg/ha en el escenario RCP8.5, respectivamente. En los Departamentos de Caazapá, Cordillera y San Pedro se estima el aumento del rendimiento promedio en ambos escenarios en estudio (RCP4.5 y RCP8.5), los valores estimados para el escenario RCP4.5, son 40 kg/ha, 70 kg/ha y 250 kg/ha respectivamente para los Departamentos citados, para el escenario RCP8.5 los valores se estiman en 50 kg/ha, 90 kg/ha y 190 kg/ha, respectivamente. Los Departamentos de Alto Paraná y Paraguairí presentan diferencias significativas positivas y negativas en el escenario RCP4.5, para el Alto Paraná se prevé un aumento del rendimiento promedio en 200 kg/ha, y para el Departamento de Paraguairí se prevé una disminución de 80 kg/ha. En cambio los Departamentos de Canindeyú y Presidente Hayes presentan diferencias significativas positivas y negativas en el escenario RCP8.5, para el Departamento de Canindeyú se prevé una disminución del promedio del rendimiento en 20 kg/ha, mientras que para el Departamento de Presidente Hayes se espera el aumento del rendimiento promedio en 510 kg/ha.

Según los resultados obtenidos en el modelo Canadiense (CANES), existen diferencias significativas en ambos escenarios en estudio. En los Departamentos de Caazapá y Cordillera, se estima un aumento del rendimiento promedio de poroto, en 60 kg/ha y 90 kg/ha para el escenario RCP4.5, mientras que para el escenario RCP8.5 se prevé un aumento de 70 kg/ha y 110 kg/ha respectivamente para cada Departamento, aproximadamente. Para los Departamentos de Alto Paraguay, Alto Paraná, Amambay, Boquerón, Canindeyú, Misiones y Presidente Hayes, se prevé una disminución del promedio de rendimiento en 70 kg/ha, (Alto Paraguay y Alto Paraná), 50 kg/ha, 140 kg/ha, 30 kg/ha y 40 kg/ha (Misiones y Presidente Hayes), en el escenario RCP4.5, y 80 kg/ha (Alto Paraguay y Alto Paraná), 60 kg/ha, 120 kg/ha, 30 kg/ha y 50 kg/ha, en el escenario RCP8.5, respectivamente. En el Departamento de Guairá se espera un aumento del rendimiento promedio en 40 kg/ha.

**Tabla 9** | Promedio de anomalía de rendimiento calculado ( $\text{tn/ha}^{-1}$ ) para los diferentes departamentos productores de poroto considerando los escenarios de RCP4.5; 8.5 e histórico del modelo MPI, CANES, CNRMC y análisis estadístico correspondiente

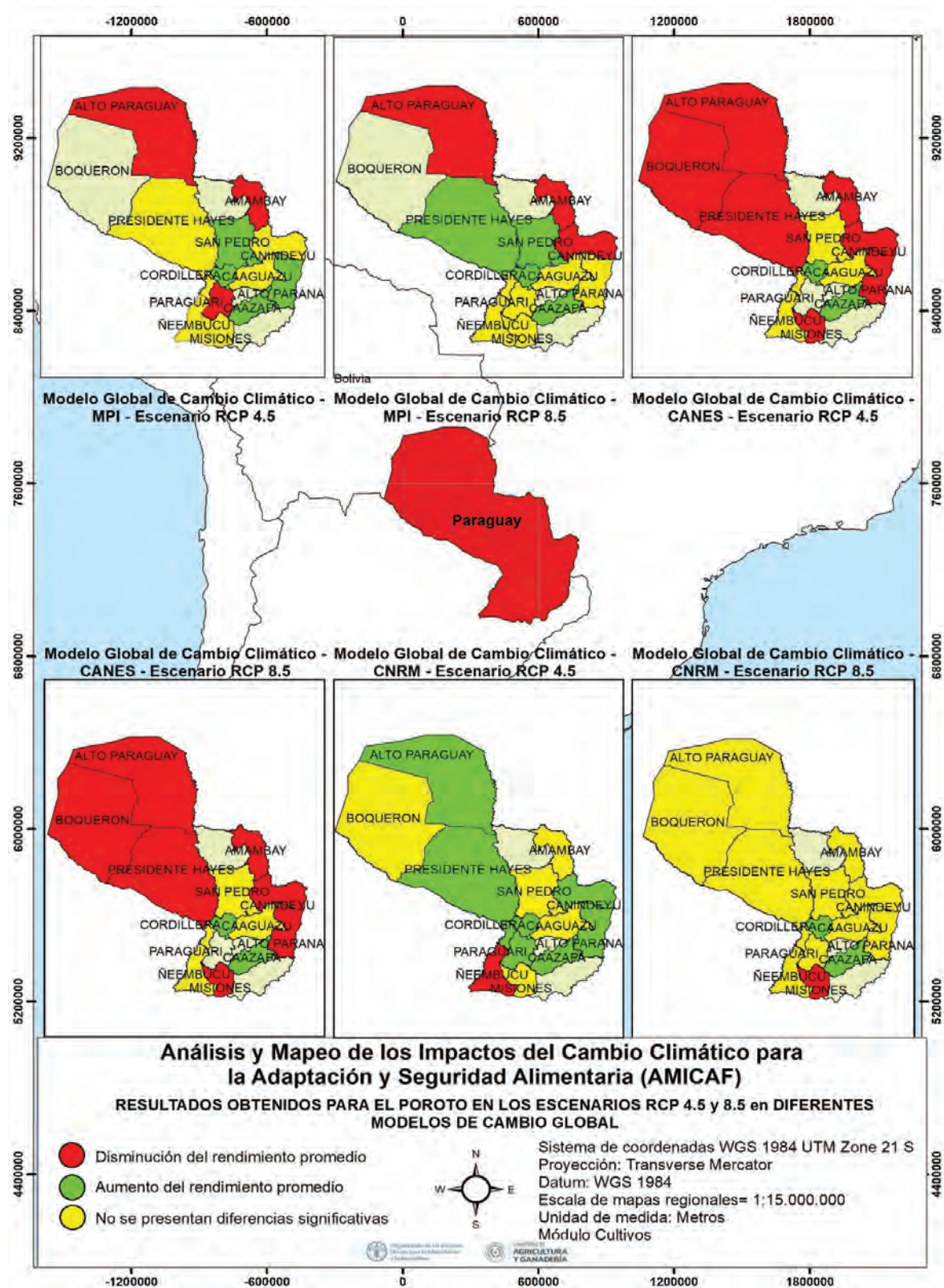
MODELO MPI						
Departamento	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraguay	0,17	0,12	0,12	0,04	-0,05*	-0,05*
Alto Paraná	1,16	1,25	1,21	0,09	0,10*	0,06
Amambay	0,17	0,14	-0,38	0,02	-0,03*	-0,55*
Boquerón	0,04	0,04	0,03	0,06	0,00	-0,01
Caaguazú	0,14	0,13	0,13	0,02	-0,02	-0,02
Caazapá	-0,07	-0,03	-0,02	0,02	0,04*	0,05*
Canindeyú	0,09	0,08	0,07	0,01	-0,01	-0,02*
Central	0,83	0,81	0,82	0,04	-0,02	-0,02
Concepción	0,28	0,28	0,24	0,10	0,00	-0,03
Cordillera	0,22	0,29	0,31	0,02	0,07*	0,09*
Guaira	-0,24	-0,24	-0,23	0,03	0,00	0,01
Itapúa	-0,30	-0,29	-0,29	0,05	0,00	0,00
Misiones	0,05	0,03	0,02	0,02	-0,02	-0,02
Ñeembucú	0,74	0,67	0,66	0,13	-0,07	-0,08
Paraguarí	0,16	0,08	0,17	0,02	-0,08*	0,01
Presidente Hayes	0,33	0,30	0,84	0,03	-0,03	0,51*
San Pedro	0,17	0,42	0,36	0,11	0,25*	0,19*
MODELO CANES						
Departamento	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraguay	0,16	0,10	0,09	0,04	-0,07*	-0,08*
Alto Paraná	1,17	1,10	1,09	0,06	-0,07*	-0,08*
Amambay	0,18	0,13	0,12	0,03	-0,05*	-0,06*
Boquerón	0,17	0,03	0,05	0,06	-0,14*	-0,12*
Caaguazú	0,14	0,11	0,11	0,03	-0,03	-0,03
Caazapá	-0,07	-0,02	0,00	0,02	0,06*	0,07*
Canindeyú	0,10	0,07	0,07	0,01	-0,03*	-0,04*
Central	0,83	0,82	0,79	0,04	-0,01	-0,04*
Concepción	0,26	0,26	0,24	0,26	-0,01	-0,02
Cordillera	0,23	0,32	0,35	0,03	0,09*	0,11*
Guaira	-0,25	-0,21	-0,21	0,03	0,04*	0,01
Itapúa	-0,30	-0,26	-0,27	0,07	0,04	0,03
Misiones	0,04	0,00	0,02	0,01	-0,04*	-0,03*
Ñeembucú	0,65	0,55	0,63	0,21	-0,09	-0,02
Paraguarí	0,16	0,16	0,16	0,02	0,00	0,00
Presidente Hayes	0,33	0,29	0,28	0,03	-0,04*	-0,05*
San Pedro	0,40	0,32	0,31	0,13	-0,08	-0,09

MODELO CNRM						
Departamento	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraguay	0,15	0,20	0,17	0,03	0,05*	0,01
Alto Paraná	1,16	1,25	1,21	0,09	0,10*	0,06
Amambay	0,17	0,20	0,16	0,03	0,03	-0,01
Boquerón	0,03	0,04	0,05	0,06	0,01	0,02
Caaguazú	0,13	0,14	0,11	0,03	0,01	-0,01
Caazapá*	-0,95	-0,05	-0,04	0,16	0,91*	0,91*
Canindeyú	0,09	0,12	0,09	0,01	0,02*	0,00
Central	0,82	0,95	0,85	0,05	0,13*	0,03
Concepción	0,35	0,32	0,35	0,13	-0,03	0,00
Cordillera	-1,18	0,34	2,32	0,26	1,52*	1,52*
Guaira	-0,24	-0,31	-0,22	0,02	-0,07*	0,02
Itapúa	-0,27	-0,33	-0,18	0,07	-0,06	0,09*
Misiones	0,05	0,03	0,03	0,01	-0,01	-0,02*
Ñeembucú	0,61	-0,13	0,45	0,31	-0,74*	-0,16
Paraguarí	0,15	0,20	0,18	0,03	0,04*	0,03
Presidente Hayes	0,33	0,37	0,34	0,03	0,04*	0,02
San Pedro	0,41	0,44	0,46	0,14	0,03	0,05

\* Indican cambios significativos.

Entre tanto, para el modelo Francés (CNRM), se pueden observar valores positivos de cambio medio significativo en el escenario RCP4.5, resaltándose los Departamentos de Alto Paraguay, Alto Paraná, Canindeyú, Central, Paraguarí y Presidente Hayes, estimándose valores de 50 kg/ha, 100 kg/ha, 20 kg/ha, 40 kg/ha (para Paraguarí y Presidente Hayes), respectivamente para los Departamentos citados anteriormente. En los Departamentos de Caazapá y Cordillera se estima un aumento del promedio de rendimiento en 910 kg/ha y 1 520 kg/ha para el escenario RCP4.5, para el escenario RCP8.5, se estiman valores de 910 kg/ha y 1 520 kg/ha respectivamente. Para el Departamento de Guairá se prevé una disminución de 70 kg/ha en el escenario RCP4.5, mientras que para los Departamentos de Itapúa y Misiones, se prevé un aumento del rendimiento en 90 kg/ha y 20 kg/ha, respectivamente. El Departamento de Ñeembucú es el único Departamento que presenta disminución del promedio de rendimiento en ambos escenarios.

**Figura 20.** | Resultados obtenidos para el poroto en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, en diferentes Modelos de Cambio Global – GCM



## 5.7 Soja

Conforme observado los resultados finales, el modelo alemán MPI, presento valores significativos solo para el escenario RCP4.5, con variables climáticas como  $T_{\max}$  y Prec asociadas a la anomalía de rendimiento, para el departamento de Misiones, resaltando este, con un valor que casi triplica el valor de anomalía de rendimiento histórico. Confirmando así, que para este departamento se predice una reducción de 680 kg/ha del rendimiento normal para el cultivo de la soja bajo el mejor de los escenarios (RCP4.5).

El modelo canadiense (CANES), presento valores significativos para ambos escenarios (RCP4.5 y 8.5) en los departamentos de Alto Paraná y Amambay. Resaltando que ambos departamentos no presentaron la misma dinámica cuando considerado el modelo MPI y viceversa. Bajo este contexto, en el departamento de Alto Paraná para el escenario RCP4.5, con variables de balance hídrico,  $Exc_t$  y  $Def_t$  asociada a la anomalía de rendimiento, se predice una reducción de 350 kg/ha y bajo el escenario RCP8.5 una reducción de 310 kg/ha del rendimiento normal para el cultivo de la soja. Para el departamento de Amambay se predice un impacto inferior a lo expuesto en el Departamento de Alto Paraná, prediciendo una reducción de 160 kg/ha para el escenario RCP4.5 y una reducción de 170 kg/ha para el escenario RCP8.5, con variables climáticas de  $T_{\max}$  y Prec asociadas a la anomalía de rendimiento

Así finalmente, cabe resaltar que el modelo francés (CNRMC), no presento significancia alguna bajo ningún escenario en ningún departamento, caso que contradice a los modelos anteriores, en las cuales se podía observar un impacto potencial del cambio climático sobre el cultivo de la soja para algunos departamentos en algunos de los escenarios.

**Tabla 10** | Promedio de anomalía de rendimiento calculado ( $tn/ha^{-1}$ ) para los diferentes departamentos productores de soja considerando los escenarios de RCP4.5; 8.5 e histórico del modelo MPI, CANES, CNRMC y análisis estadístico correspondiente

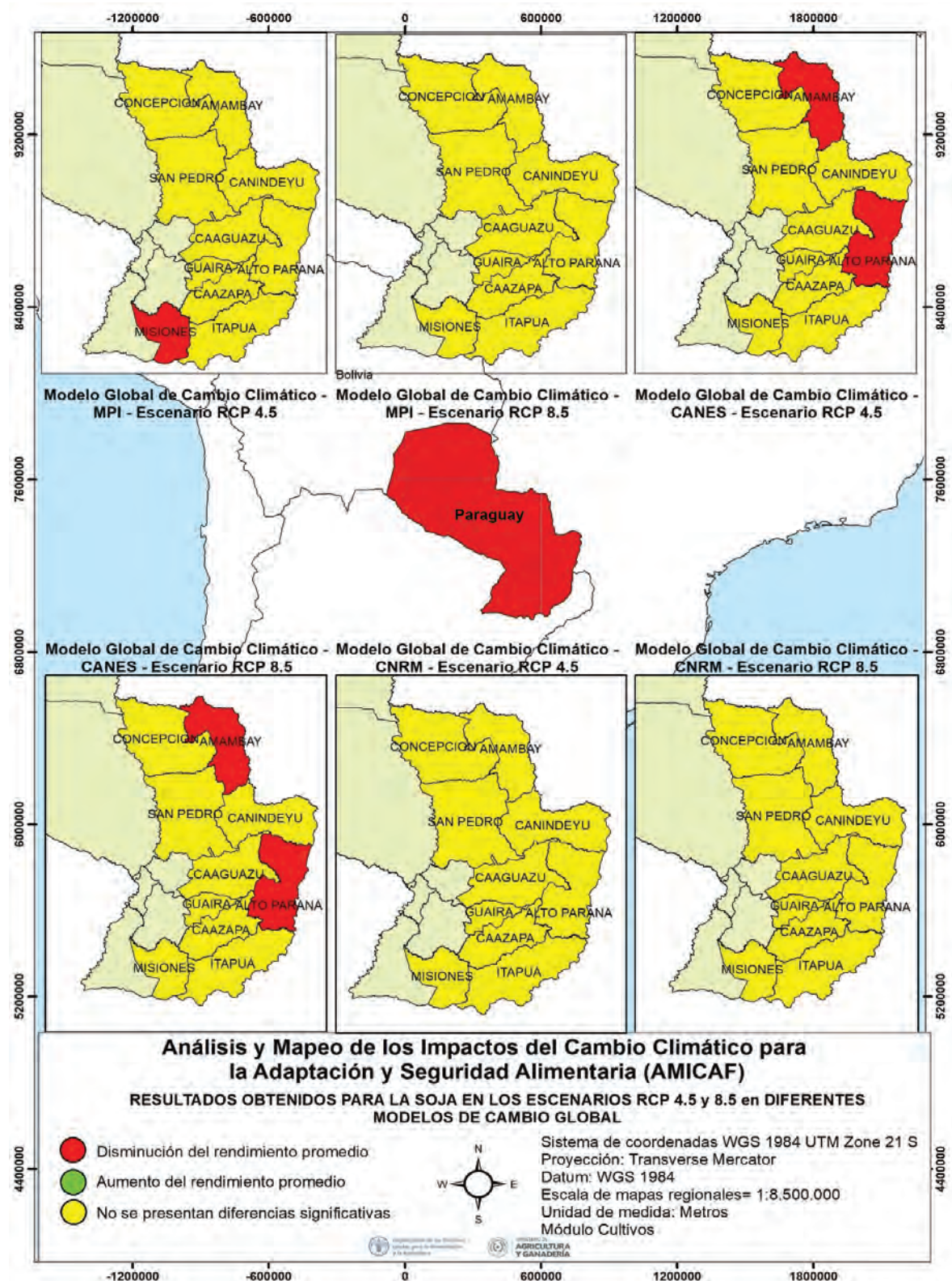
Departamento	MODELO MPI					
	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	$DS_{hist}$	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraná	0,16	0,05	0,20	0,14	-0,11	0,04
Amambay	0,15	0,15	0,09	0,12	0,00	-0,06
Caaguazú	0,17	0,17	0,07	0,42	0,00	-0,10
Caazapá	0,30	0,31	0,27	0,39	0,01	-0,03
Canindeyú	0,34	0,40	0,26	0,35	0,06	-0,09
Concepción	1,36	1,19	0,95	0,55	-0,16	-0,40
Guaira	0,07	0,07	0,04	0,28	0,00	-0,03
Itapúa	0,04	0,04	0,03	0,13	0,00	-0,01
Misiones	0,02	-0,66	-0,03	0,18	-0,68*	-0,04
San Pedro	0,41	0,39	0,23	0,49	-0,02	-0,18



MODELO CANES						
Departamento	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraná	0,20	-0,15	-0,11	0,17	-0,35*	-0,31*
Amambay	0,19	0,03	0,02	0,14	-0,16*	-0,17*
Caaguazú	-0,02	-0,23	-0,11	0,43	-0,20	-0,09
Caazapá	0,17	0,04	0,10	0,32	-0,13	-0,07
Canindeyú	0,31	0,02	0,11	0,44	-0,29	-0,20
Concepción	1,36	1,19	0,95	0,55	-0,16	-0,41
Guaira	-0,05	-0,15	-0,11	0,19	-0,10	-0,06
Itapúa	0,01	-0,07	-0,05	0,14	-0,08	-0,06
Misiones	-0,16	-0,18	-0,08	0,18	-0,01	0,08
San Pedro	0,34	0,08	0,10	0,42	-0,26	-0,24
MODELO CNRMC						
Departamento	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{x}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraná	0,30	0,06	0,00	0,28	-0,23	-0,30
Amambay	0,19	0,26	0,11	0,15	0,06	-0,09
Caaguazú	0,18	0,26	0,08	0,49	0,09	-0,10
Caazapá	0,25	0,42	0,32	0,35	0,16	0,07
Canindeyú	0,45	0,56	0,42	0,52	0,11	-0,03
Concepción	1,63	1,78	1,19	0,76	0,14	-0,45
Guaira	0,04	0,14	0,05	0,23	0,11	0,01
Itapúa	-0,02	0,00	-0,04	0,14	0,01	-0,03
Misiones	-0,05	-0,06	-0,03	0,17	-0,01	0,02
San Pedro	0,53	0,70	0,38	0,58	0,16	-0,15

\* Indican cambios significativos.

**Figura 21.** | Resultados obtenidos para la soja en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, en diferentes Modelos de Cambio Global – GCM



## 5.8 Trigo

Según los Resultados obtenidos en el modelo Alemán MPI para el cultivo de trigo, como se observa en la Tabla 11, se obtuvieron cambios significativos positivos en los Departamentos de: Amambay, Caaguazú, Caazapá, San Pedro y Misiones, considerándose el aumento del promedio de rendimiento en valores estimados en 380 kg/ha en el escenario RPC8.5 (Departamento de Amambay), 330 kg/ha en el escenario RCP4.5 (Departamento de Caaguazú), 120 kg/ha en el escenario RCP8.5 (Departamento de Caazapá), 360 kg/ha en el escenario RCP8.5 (Departamento de San Pedro) y 1.280 kg/ha en el escenario RCP8.5 (Departamento de Misiones). Prácticamente en los mismos Departamentos en estudio fueron observados cambios significativos negativos para el promedio de rendimiento, es decir; se estima una disminución del rendimiento, para el Departamento de Caaguazú se prevé una disminución de 160 kg/ha en el escenario RCP8.5, para el Departamento de Caazapá 110 kg/ha en el escenario RCP4.5, para el Departamento de Misiones 80 kg/ha en el escenario RCP4.5 y para el Departamento de San Pedro una disminución de 290 kg/ha en el escenario RCP4.5.

En el modelo Canadiense (CANES), en varios períodos de tiempo analizados se encontraron cambios medios significativos positivos; es decir un aumento del rendimiento promedio, para los Departamentos de Alto Paraná (600 kg/ha, escenario RCP4.5), Amambay (460 kg/ha, escenario RCP8.5), Caazapá (140 kg/ha, escenario RCP8.5), San Pedro (470 kg/ha, escenario RCP8.5) y Misiones (880 kg/ha, escenario RCP4.5), en cambio, para los Departamentos de Amambay, Caazapá, Canindeyú, San Pedro y Misiones, se encontraron cambios medios significativos negativos y se espera una disminución del rendimiento promedio en aproximadamente 420 kg/ha, escenario RCP4.5 para el Departamento de Amambay, 110 kg/ha en el escenario RCP4.5 para el Departamento de Caazapá, 250 kg/ha, en el escenario RCP4.5 para el Departamento de Canindeyú, 400 kg/ha en el escenario RCP4.5 para el Departamento de San Pedro y 850 kg/ha en el escenario RCP8.5 para el Departamento de Misiones. El modelo con sus escenarios analizados nos indica la magnitud de los impactos potenciales del cambio climático sobre la agricultura en un período a largo plazo.

Los resultados obtenidos en el modelo francés (CNRMC), nos indican que los departamentos de Caaguazú (escenario RCP4.5), Caazapá (escenario RCP8.5) y San Pedro (escenario RCP4.5) presentan cambios medios positivos, en tanto que los Departamentos de Caazapá (escenario RCP4.5), Misiones (escenario RCP4.5) y San Pedro (escenario RCP4.5) indican un cambio significativo negativo. Se prevé que el aumento del promedio de rendimiento sea aproximadamente de 300 kg/ha para el Departamento de Caaguazú, 80 kg/ha para el Departamento de Caazapá y 260 kg/ha para el Departamento de San Pedro. En cambio, se estima que la disminución del rendimiento sea aproximadamente de 140 kg/ha para el Departamento de Caazapá, 90 kg/ha para el Departamento de Misiones y 220 kg/ha para el Departamento de San Pedro. Menos del 50 por ciento a nivel país tendrán un cambio medio significativo en el rendimiento de trigo en todos sus escenarios, este modelo pronostica que los impactos potenciales del cambio climático sobre la agricultura serán mínimos.

En cuanto a las variables de Balance hídrico asociadas al cambio de rendimiento se encuentran el ETA<sub>2</sub> y WSI, y entre las variables climáticas más representativas a la alteración de los rendimientos esta la T<sub>min</sub> y Prec.

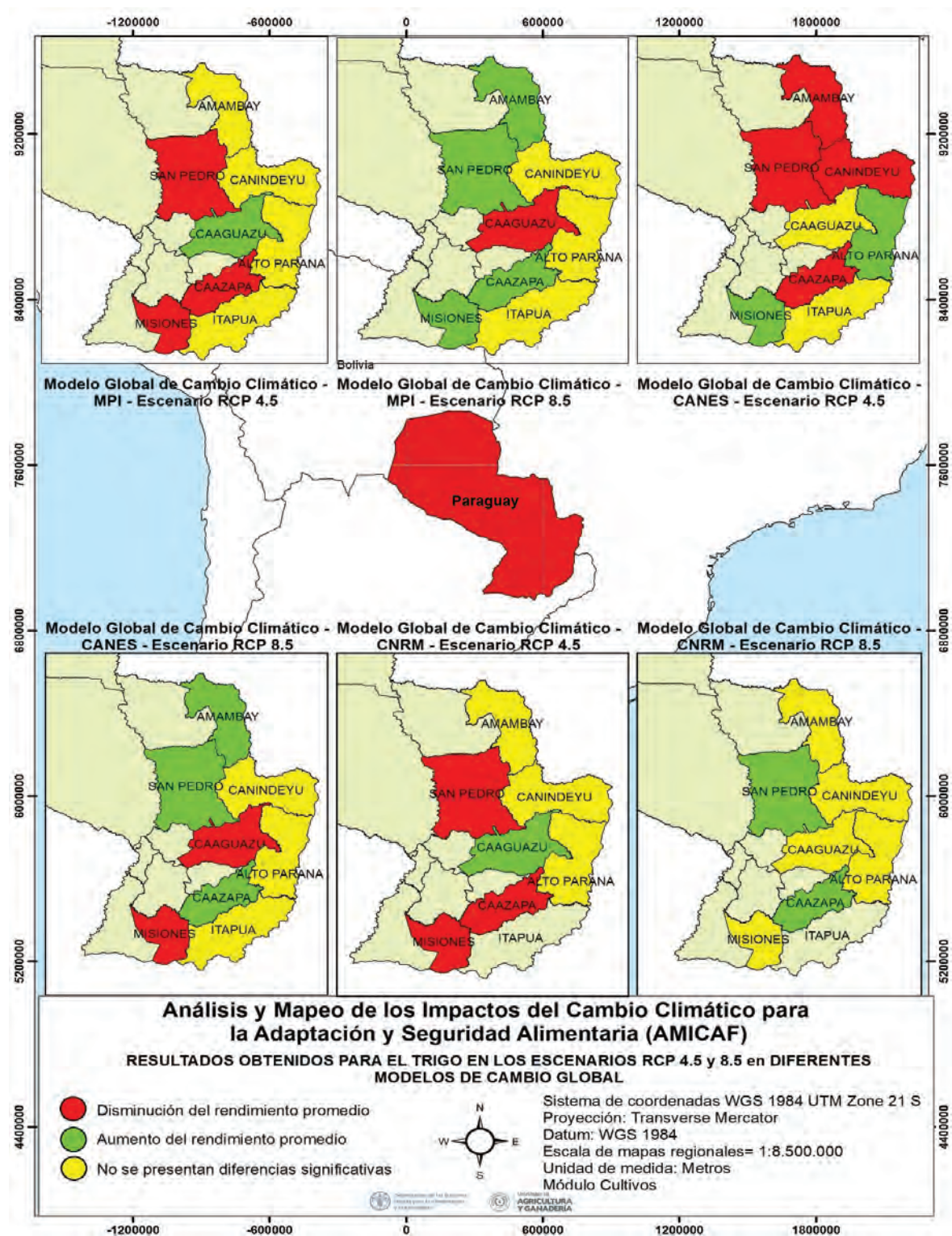
**Tabla 11** | Promedio de anomalía de rendimiento calculado ( $\text{tn/ha}^{-1}$ ) para los diferentes departamentos productores de trigo considerando los escenarios de RCP4.5; 8.5 e histórico del modelo MPI, CANES, CNRM y análisis estadístico correspondiente

MODELO MPI						
Departamento	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraná	-2,38	-2,28	-2,17	0,48	0,10	-0,21
Amambay	1,38	1,06	1,00	0,32	-0,32	0,38*
Caaguazú	0,62	0,96	0,78	0,10	0,33*	-0,16*
Caazapá	-0,06	-0,17	-0,18	0,04	-0,11*	0,12*
Canindeyú	0,88	0,96	0,95	0,15	0,08	-0,07
Itapúa	0,55	0,49	0,53	0,15	-0,07	0,02
Misiones	-0,33	-0,40	-1,61	0,04	-0,08*	1,28*
San Pedro	0,92	0,63	0,55	0,10	-0,29*	0,36*
MODELO CANES						
Departamento	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraná	-2,43	-1,84	-1,89	0,58	0,60*	-0,54
Amambay	1,40	0,99	0,94	0,33	-0,42*	0,46*
Caaguazú	0,66	0,77	0,86	0,12	0,12	-0,20*
Caazapá	-0,08	-0,19	-0,22	0,04	-0,11*	0,14*
Canindeyú	1,16	0,91	0,94	0,22	-0,25*	0,21
Itapúa	0,56	0,66	0,67	0,12	0,11	-0,11
Misiones	-1,32	-0,44	-0,46	0,09	0,88*	-0,85*
San Pedro	0,93	0,53	0,45	0,11	-0,40*	0,47*
MODELO CNRM						
Departamento	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>Hist</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP4,5</sub>	$\bar{X}$ Rend Sim <sub>RCP8,5</sub>	DS <sub>hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP4,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>	Rend Sim <sub>RCP8,5</sub> – Rend Sim <sub>Hist</sub>
Alto Paraná	-2,26	-2,65	-2,82	0,64	-0,39	0,56
Amambay	1,40	1,11	1,13	0,33	-0,29	0,27
Caaguazú	0,59	0,89	0,69	0,11	0,30*	-0,10
Caazapá	-0,05	-0,18	-0,13	0,04	-0,14*	0,08*
Canindeyú	0,96	1,13	0,86	0,27	0,17	0,10
Misiones	-0,32	-0,41	-0,33	0,04	-0,09*	0,02
San Pedro	0,98	0,76	0,72	0,11	-0,22*	0,26*

\* Indican cambios significativos.



**Figura 22.** | Resultados obtenidos para el trigo en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, en diferentes Modelos de Cambio Global – GCM





## 6. Conclusiones

El país será afectado negativamente con la disminución de rendimientos en algunos departamentos en los rubros de soja, caña de azúcar, arroz seco e irrigado, poroto y mandioca, en menor incidencia el cultivo de trigo mientras otros rubros como maíz no presentaran cambios importantes en el período analizado.

Acorde a los resultados demostrados en el proceso de downscaling climático estadístico, se tiene una proyección para Paraguay de una disminución del régimen pluviométrico siendo mayores desde el centro de la Región Oriental y Región Occidental en los próximos años, hasta el 2070<sup>1</sup> [1], presentándose ese déficit en la tasa de precipitación más acentuados en los meses de otoño – invierno, independiente a condiciones de clima condicionados como eventos ENOS en sus dos fases, El Niño y La Niña que tienen gran impacto en el País cuando se establecen.

La metodología implementada con MOSAICC ha provisto una estimación de los impactos de esos cambios en los parámetros climáticos sobre el rendimiento de los cultivos. Las proyecciones de los rendimientos con los parámetros climáticos en salida de tres diferentes GCMs y en dos escenarios (RCP4.5 y RCP8.5) para algunos cultivos y departamentos resultan consistentes y significativas. Por ejemplo, en la región Oriental (Amambay, Canindeyú, Concepción etc.) presenta cambios significativos negativos en los rendimientos de la caña de azúcar, con bastante acuerdo entre las salidas de los GCMs. La caña de azúcar en esta región, por los valores de cambio de rendimientos proyectados, comparados con la variabilidad histórica de los rendimientos, parece el cultivo más afectado por los cambios futuros en el clima y en el balance hídrico. En la misma región, el cultivo de mandioca parece al contrario afectado positivamente por los factores climáticos futuros, aún que en medida menor con respecto a los impactos negativos sobre el cultivo de la caña de azúcar. Como se menciona más arriba, existe una proyección para el Paraguay de una disminución del régimen pluviométrico, esto podría ser el factor determinante en la disminución del rendimiento futuro en el cultivo de caña de azúcar, teniendo en cuenta que este posee un requerimiento hídrico mayor durante su desarrollo y también por ser un cultivo de ciclo anual. En cambio la mandioca es una planta con características rústicas que le permiten soportar el déficit hídrico como la escasez de nutrientes.

Otro cultivo que parece afectado significativamente por el cambio climático de manera negativa, es la soja, por lo menos en Misiones, un departamento importante para la producción de este cultivo.

El sistema de producción, especialmente de la agricultura familiar, hace que se vuelvan vulnerables a eventos del clima, especialmente cuando se trata de eventos extremos tales como la sequía, heladas e inundaciones. La agricultura empresarial, sin embargo, está mejor preparada para la situación que se pueda presentar en el futuro a pesar de que los rubros de esa franja de producción estarán seriamente afectados como la soja.

<sup>1</sup> Esto no necesariamente indica que el país tendrá menos eventos extremos, considerando que el cambio en la intensidad de la precipitación no es claro.

El proyecto, dejó capacidad instalada dentro del país, especialmente en el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y sus dependencias, en la Academia y en el sector privado con la participación de técnicos de gremios de la producción para llevar adelante el trabajo en forma conjunta.

Como parte de ese trabajo conjunto quedan dos productos bien definidos, independiente a los resultados presentados, se refiere a la elaboración de un *Manual de procedimientos para el uso del módulo* para cualquier técnico que quiera realizar trabajos en el área, además debido a la necesidad de generar grupos de trabajo para los análisis pertinentes, el MAG generó una resolución de conformación del grupo de trabajo interinstitucional que hace a la institucionalidad para futuros trabajos y acciones, especialmente para uso de modelos.

## 7. Recomendaciones

Seguir utilizando la herramienta incorporando nuevos cultivos, especialmente de la AF e incorporar nuevos actores para validar el modelo.

Difundir la información generada a todos los niveles de toma de decisiones, pasando por las autoridades del nivel central, departamental y distrital, a técnicos de campo y a agricultores líderes para que se tenga mejores herramientas para la toma de decisiones en el largo plazo acorde a los resultados obtenidos.

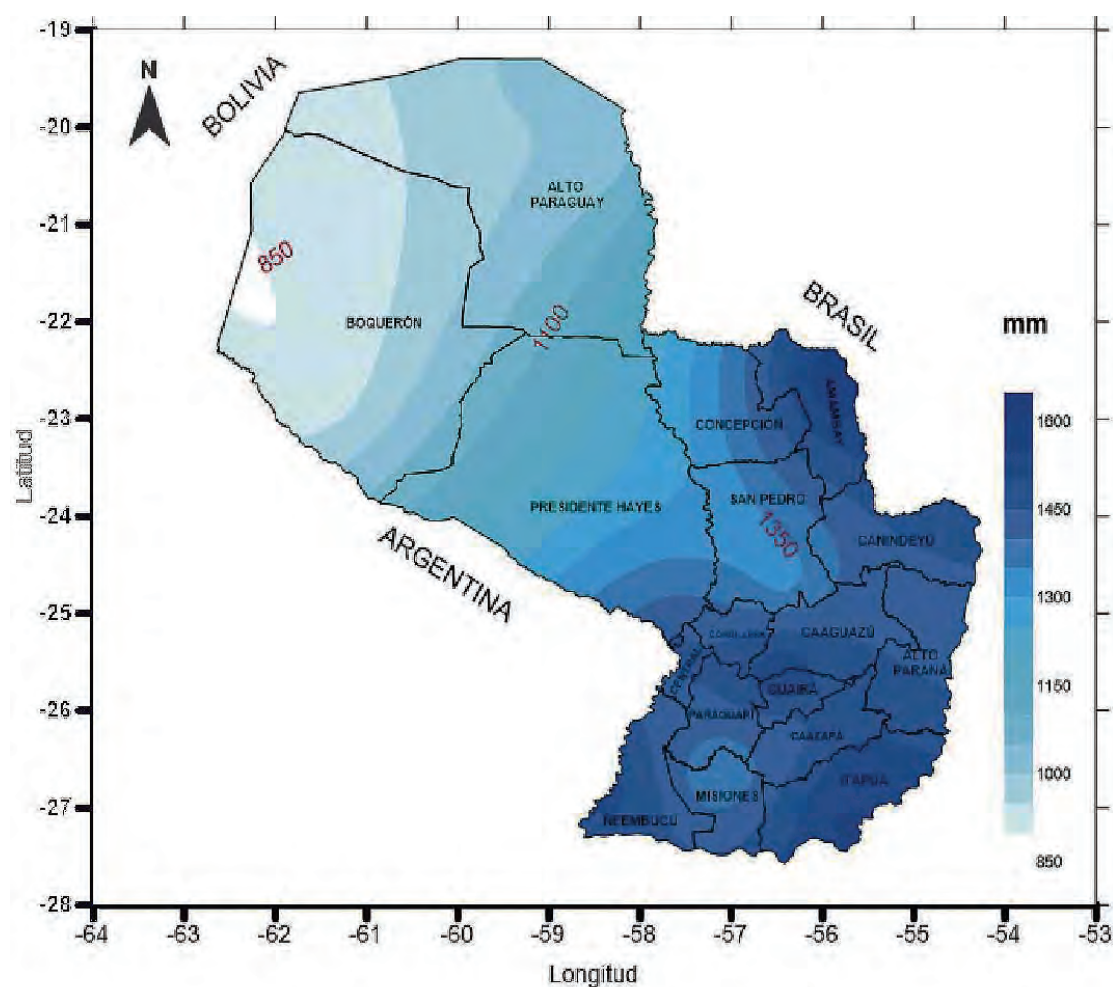
Seguir fortaleciendo las capacidades institucionales del sistema MAG y sus asociados con la transferencia del conocimiento y capacitación a más personas, además de poder llegar a consolidar un sistema de análisis y evaluación respecto a los impactos del cambio climático.

Se debe de buscar implementar un Sistema de Gestión Integral de Recursos Hídricos para el sector agropecuario considerando que las proyecciones generan escenarios con déficit en el régimen pluviométrico en los próximos años, dando énfasis en la implementación efectiva de uso de riego, cosecha de agua, entre otros.



## Anexo - Mapas de proyección de los diferentes modelos y escenario en cuanto al comportamiento anual de la precipitación período 2020-2069

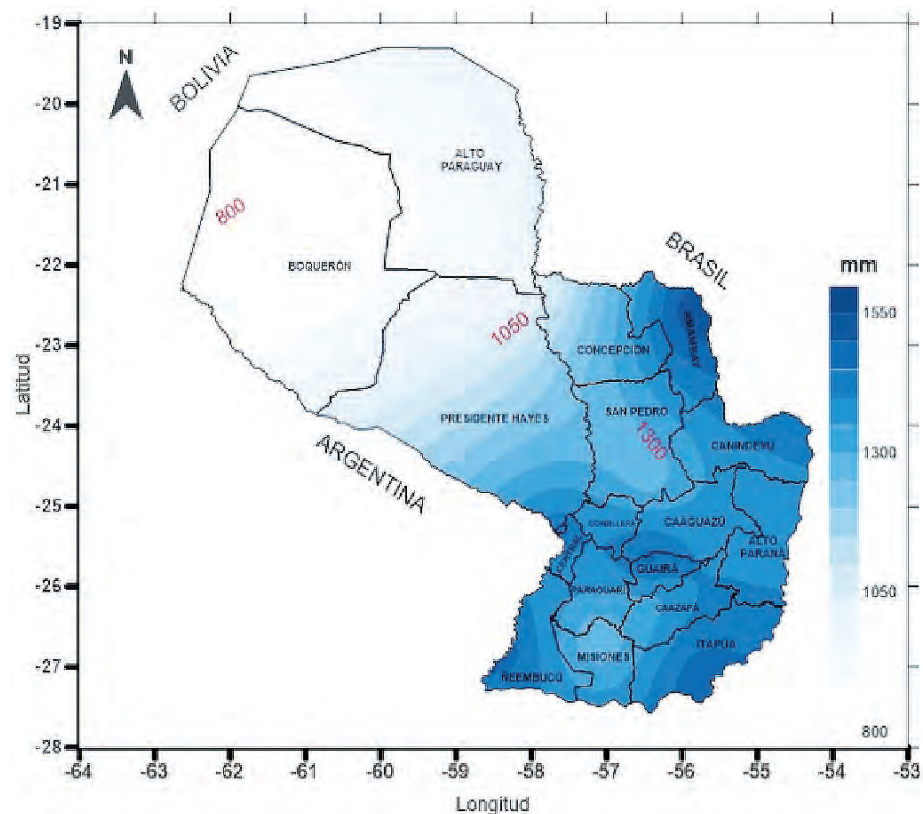
Mapa de Proyección (modelo CANES 4.5) Acumulado Anual de la precipitación para el período 2020-2069



Fuente: Datos interpolados Plataforma MOSAICC.

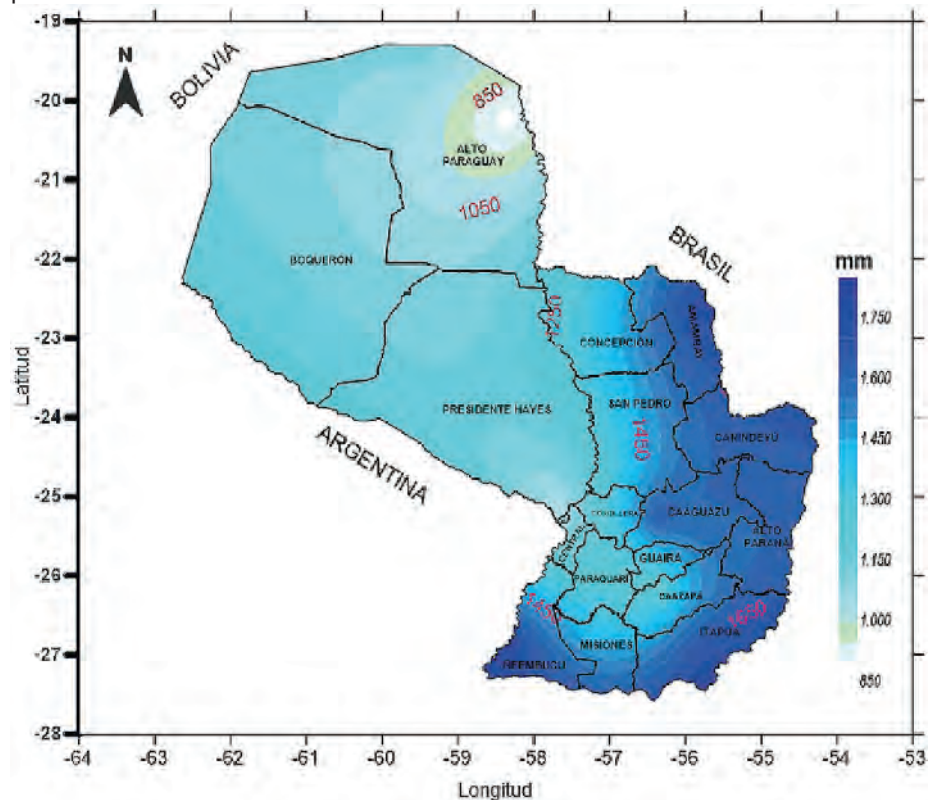


Mapa de Proyección (modelo CANES 8.5) Acumulado Anual de la precipitación para el período 2020-2069



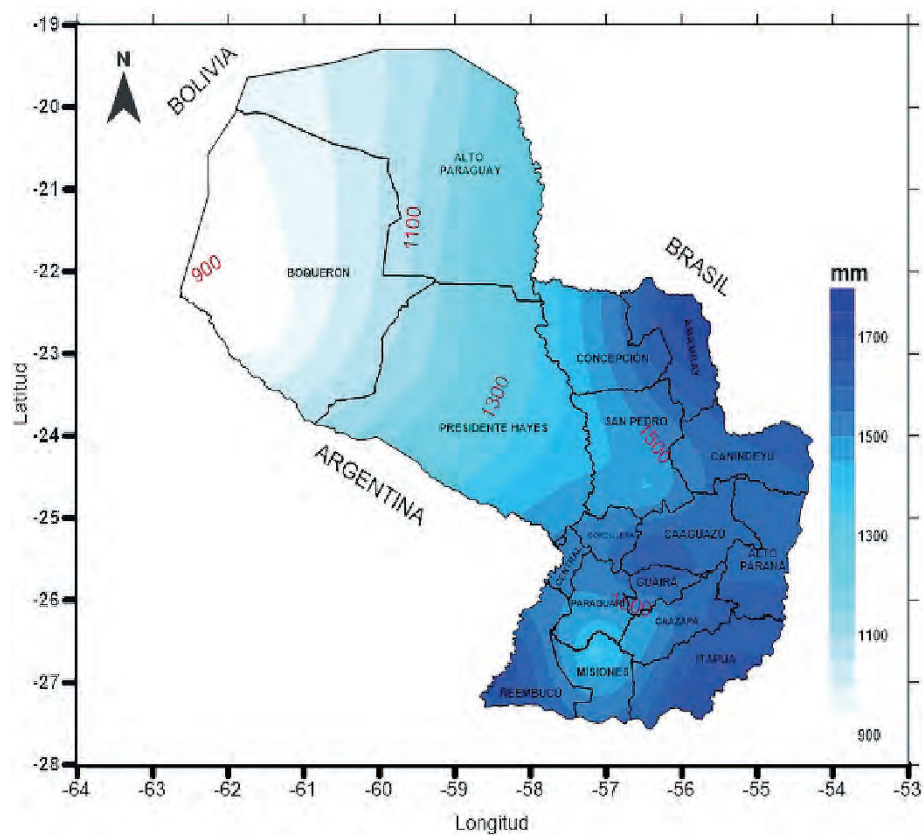
Fuente: Datos interpolados Plataforma MOSAICC.

Mapa de Proyección (modelo MPI 4.5) Acumulado Anual de la precipitación para el período 2020-2069



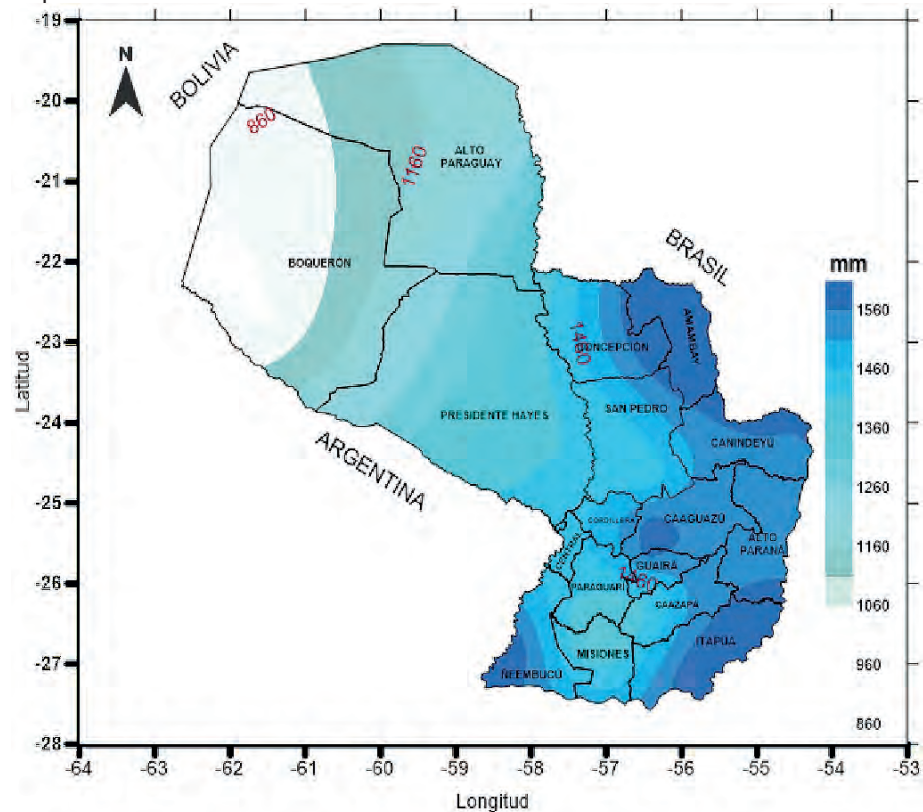
Fuente: Datos interpolados Plataforma MOSAICC.

Mapa de Proyección (modelo MPI 8.5) Acumulado Anual de la precipitación para el período 2020-2069



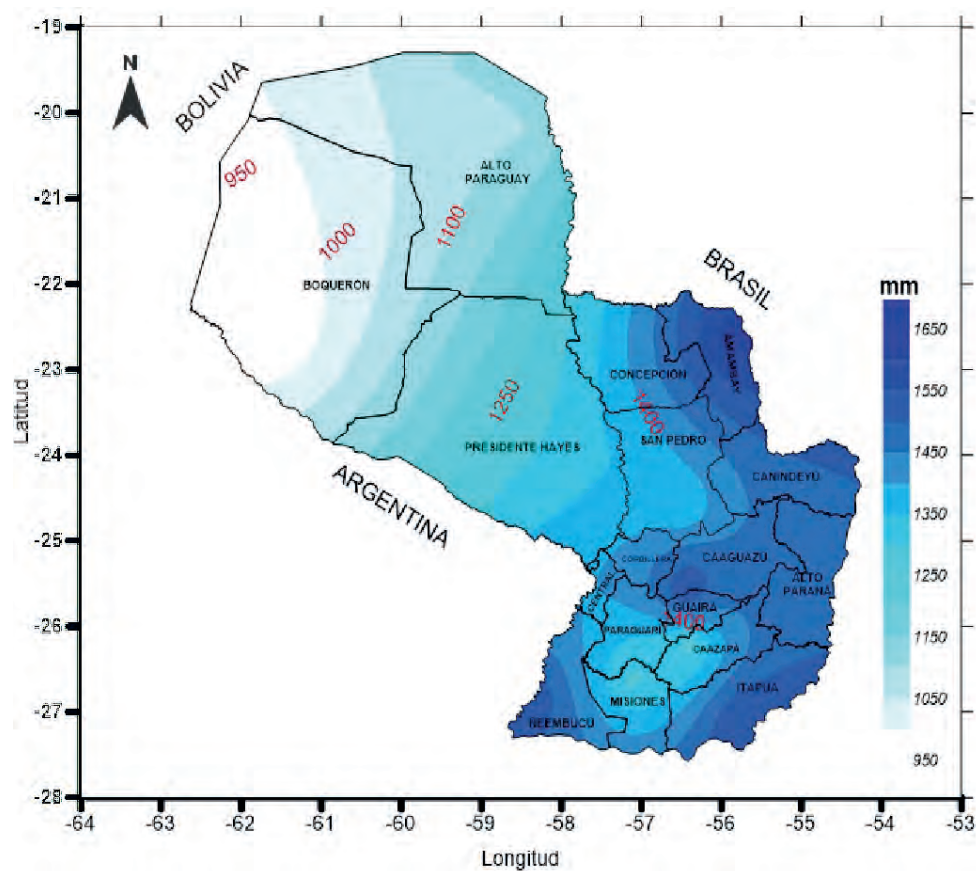
Fuente: Datos interpolados Plataforma MOSAICC.

Mapa de Proyección (modelo CNRMCM5 4.5) Acumulado Anual de la precipitación para el período 2020-2069



Fuente: Datos interpolados Plataforma MOSAICC.

Mapa de Proyección (modelo CNRMCM5 8.5) Acumulado Anual de la precipitación para el período 2020-2069



Fuente: Datos interpolados Plataforma MOSAICC.



ISBN 978-92-5-131850-8

9 789251 318508

CA6466ES/1/01.20