



## PROYECTO:

**“EVALUACIONES DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y MAPEO DE LA VULNERABILIDAD DE LA INSEGURIDAD ALIMENTARIA BAJO EL CAMBIO CLIMÁTICO PARA REFORZAR LA SEGURIDAD ALIMENTARIA FAMILIAR CON ENFOQUES DE ADAPTACIÓN DE LOS MEDIOS DE SUBSISTENCIA – AMICAF”**

## COMPONENTE 1:

**EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS EN EL PERÚ**

## Informe Técnico Final

### **Equipo Técnico SENAMHI:**

Wilfredo Yzarra  
Irene Trebejo

### **Consultores:**

Juan Guerrero  
Diana Bello  
Jonathan Villanueva  
Victor Soriano

### **Equipo Técnico FAO:**

Hideki Kanamaru  
Mariko Fujisawa

### **Coordinador Nacional del Proyecto AMICAF:**

Julio Postigo

**Apoyo SIG:** Manuel Ortega,  
Orlando Quispe,  
Jonathan Sanchez y  
Ludbing Rojas

**Revisión Técnica:** Esequiel Villegas y Sarit Azócar

Diciembre 2015

## CONTENIDO

1. Introducción	4
2. Objetivos	5
2.1. Objetivo General	5
2.2. Objetivos específicos	5
3. Generalidades	5
3.1. Modelos de circulación general y escenarios de emisión	5
3.2. Modelo Wabal	7
3.3. Antecedentes sobre evaluación de impacto de cambio climático en cultivos en el Perú.	8
4. Materiales y métodos	9
4.1. Grupo de Trabajo Técnico	9
4.2. Ámbito geográfico	10
4.3. Selección de cultivos	11
4.4. Evaluación de la serie histórica de rendimiento	12
4.5. Implementación de la base de datos fenológicos y coeficientes de cultivo	14
4.6. Corridas del modelo Wabal con la interpolación de datos de cultivo	18
4.7. Generación del modelo estadístico de rendimiento	19
4.8. Validación del modelo	20
4.9. Generación de rendimientos futuros	20
5. Resultados y discusión	21
5.1. Modelos de rendimientos de cultivos	22
5.1.1. Modelos de rendimientos de cultivos en la costa	22
5.1.2. Modelos de rendimiento de cultivos en la sierra	22
5.1.3. Modelos de rendimiento de cultivo en la selva	22
5.2. Impactos del cambio climático en los rendimientos de los cultivos	27
5.2.1. Cultivo de arroz	27
5.2.2. Cultivo de papa	31
5.2.3. Cultivo de maíz amarillo duro	35

5.2.4.	Cultivo de maíz amiláceo	39
5.2.5.	Cultivo de haba	42
5.2.6.	Cultivo de camote	45
5.2.7.	Cultivo de cebolla	47
5.2.8.	Cultivo de tomate	50
5.2.9.	Cultivo de trigo	53
5.2.10.	Cultivo de arveja	57
5.2.11.	Cultivo de cebada	59
5.2.12.	Cultivo de frijol	62
5.2.13.	Cultivo de plátano	65
5.2.14.	Cultivo de yuca	69
5.2.15.	Cultivo de cacao	72
5.2.16.	Cultivo de café	75
6.	Conclusiones	78
6.1.	Modelos de rendimientos de cultivos	78
6.2.	Impactos del cambio climático en los rendimientos de los cultivos	78
7.	Recomendaciones	80
8.	Referencia bibliográfica	81
9.	Anexos	83

## 1. Introducción

En el marco de acuerdo entre el Gobierno de Perú y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se ha implementado en el Perú el proyecto “**Evaluación de los impactos del cambio climático y mapeo de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria bajo el cambio climático para reforzar la seguridad alimentaria familiar con enfoques de adaptación de los medios de subsistencia**”, denominado Proyecto AMICAF.

El objetivo de AMICAF es ayudar a los países en vías de desarrollo a abordar los desafíos de la planificación para la adaptación al cambio climático y contribuir a mejorar la seguridad alimentaria de los grupos familiares vulnerables afectados por los impactos del cambio climático a través de un marco integral. El marco de trabajo integra la evaluación del impacto del cambio climático y los enfoques de adaptación de medios de subsistencia, a través de un análisis de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria bajo condiciones climáticas inestables. El Perú se ha convertido en el primer país de América Latina en implementar y llevar a cabo este proyecto en dos componentes, de los cuales el presente Informe Técnico corresponde al Componente 1: Evaluación de los impactos del cambio climático sobre la agricultura.

En el contexto del primer componente el SENAMHI ha elaborado, a través de su grupo de modelamiento climático, las proyecciones climáticas locales a nivel nacional de las variables de precipitación, temperaturas máximas y mínimas al año 2050 (SENAMHI, 2014); una vez obtenidas estas proyecciones, éstas fueron aplicadas por los grupos de modelamiento de cultivo e hidrológico, a través del portal integrador de todas las componentes denominado MOSAICC (Modelling System for Agricultural Impacts of Climate Change). El modelo Wabal (Water Balance) se encuentra dentro de dicha plataforma y es un modelo de balance hídrico de cultivos que permite estimar los rendimientos de cultivos basados en el equilibrio de agua para simular condiciones actuales y bajo escenarios de cambio climático.

El grupo de modelamiento de cultivos del SENAMHI tuvo a su cargo la evaluación de los impactos del cambio climático en la agricultura y trabajó en principio en coordinación con el Grupo de Trabajo Técnico (GTT) del Componente 1 del Proyecto GCP/INT/126/JPN - AMICAF, bajo la coordinación del Gerente Nacional del Proyecto AMICAF. En una primera fase se seleccionaron los cultivos de importancia nacional y regional para las regiones de la costa, sierra y selva; se recopiló información fenológica y de coeficientes hídricos de los cultivos seleccionados para implementar el modelo Wabal y se analizó la serie histórica de rendimiento de cultivos con el fin de evaluar su tendencia y comportamiento en un escenario de cambio climático.

En una segunda fase se usaron técnicas estadísticas para eliminar las tendencias ocasionadas por las mejoras tecnológicas con la finalidad de estimar las variaciones ocasionadas por el factor climático, se evaluaron las variables meteorológicas (temperatura máximas, mínimas y precipitación) y las salidas del balance hídrico (evapotranspiración, deficiencias, excesos, requerimiento total de agua y el índice de satisfacción hídrica), con estos parámetros obtenidos se elaboraron los modelos estadísticos para cada cultivo.

En la última fase se procedió a estimar los rendimientos de los principales cultivos de seguridad alimentaria a nivel nacional con tres Modelos de Circulación General (CanESM2; CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR) y dos escenarios (RCP 4.5 y RCP 8.5). En este estudio se presentan resultados de la modelación para los cultivos y departamentos que muestran un nivel de significancia aceptable, comparaciones entre escenarios, regiones, tendencias observadas y sus implicancias para la producción agrícola y la seguridad alimentaria en general.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo General**

Evaluar los impactos del cambio climático en cultivos de seguridad alimentaria a nivel nacional.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Determinar y validar modelos estadísticos de rendimiento de cultivos a nivel nacional.
- Evaluar el impacto del cambio climático en cultivos a nivel nacional.

## **3. Generalidades**

### **3.1. Modelos de Circulación General y escenarios de emisión**

Los Modelos de Circulación General (MCG), son la principal herramienta para la prospección del clima de las próximas décadas, simulan flujos de energía, masa y cantidad de movimiento entre los puntos de una retícula tridimensional que se extiende por la atmosfera, océanos y las capas superiores de la litósfera y criósfera, sin embargo, la resolución espacial de estos modelos es todavía limitada (~200 km), estos escenarios globales no permiten analizar la magnitud de los posibles impactos locales, por lo que se hace necesaria la tarea de regionalizar los escenarios globales de cambio climático para poder llevar a cabo de la mejor forma estudios de impacto

y adaptación, teniendo en cuenta la variabilidad regional o local de la zona en estudio (SENAMHI, 2014).

Considerando la experiencia desarrollada en la elaboración de regionalización de escenarios de cambio climático, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, SENAMHI ([www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)), fue designado para llevar a cabo la Regionalización Estadística de Escenarios Climáticos en el Perú (SENAMHI, 2014), Componente 1 del proyecto, documento donde se presentan las proyecciones climáticas locales a nivel nacional de las variables precipitación, temperaturas máximas y mínimas hacia el periodo 2050, a través del uso del Portal de Regionalización Estadística ([www.meteo.unican.es/downscaling/intro.html](http://www.meteo.unican.es/downscaling/intro.html)) herramienta desarrollada y soportada por Predictia Intelligent Solutions ([www.predictia.es/en/home](http://www.predictia.es/en/home)) y el Grupo de Meteorología de la Universidad de Cantabria ([www.meteo.unican.es/en/main](http://www.meteo.unican.es/en/main)).

En este primer componente (SENAMHI, 2014), para la generación de las proyecciones climáticas consideraron la nueva generación de Modelos de Circulación General (MCG) que se encuentra disponible en el Proyecto de Comparación de Modelos Acoplados Fase 5 (CMIP5, Modelos de Sistemas de la Tierra (ESM) que incorporan componentes adicionales que describen la interacción de la atmósfera con el uso del suelo y la vegetación; asimismo toman en cuenta explícitamente la química atmosférica, los aerosoles y el ciclo del carbono (Taylor et al, 2011, citado por SENAMHI, 2014); esta nueva generación de modelos es direccionada por la recientemente definida forzante de la composición atmosférica, el 'forzamiento histórico' para las condiciones climáticas actuales y las Vías de Concentración Representativas (RCPs) para los escenarios futuros (Moss et al, 2010, citado por SENAMHI, 2014).

De acuerdo a la revisión de SENAMHI (2014), el RCP4.5 (Thomson et al, 2011) es un escenario de estabilización donde el forzamiento radiativo total se estabiliza antes de 2100 por el empleo de una serie de tecnologías y estrategias para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. El RCP8.5 (Riahi et al, 2011) -que se basa en el escenario A2r (Riahi et al, 2007), se caracteriza por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero a través del tiempo.

Seis ESM diferentes se incluyeron en el estudio del downscaling estadístico para el Componente 1 de este proyecto, de este grupo, solo se consideraron como adecuados para la regionalización de las tres variables objetivos los modelos CanESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR (Tabla 1), con proyecciones de precipitación, temperatura máxima y mínima del aire hasta el año 2050 (un promedio centrado del período 2036-2065) y para las dos RCPs (RCP4.5 y RCP8.5). Modelos y escenarios de emisiones que serán usadas por el componente de modelación de cultivos del proyecto.

**Tabla 1. Modelos de Circulación Global evaluados en el presente estudio**

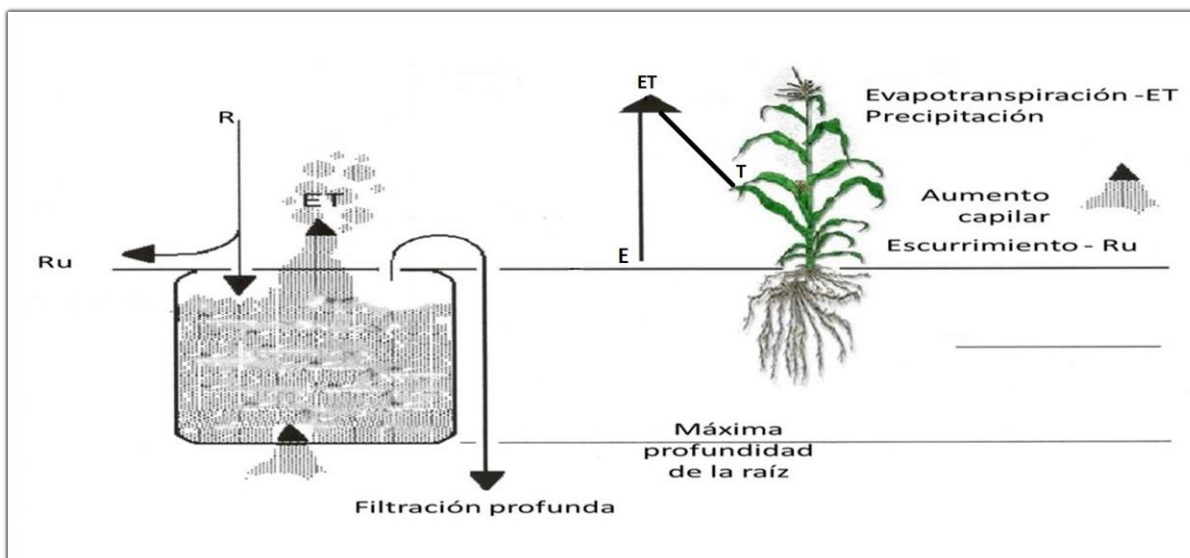
Nombre del ESM	Siglas del Instituto	Resolución	Referencia
CanESM2	CCCMA	2.8° x 2.8°	Chylek et al (2011)
CNRM-CM5	CNRM-CERFACS	1.4° x 1.4°	Voltaire et al (2011)
MPI-ESM-MR	MPI	1.8° x 1.8°	Raddatz et al (2007); Jungclaus et al (2010)

Fuente: SENAMHI (2014)

### 3.2. Modelo Wabal

Según Gommès (2010), el modelo está diseñado para simular el balance hídrico del suelo a nivel del cultivo utilizando un mínimo de datos de entrada: datos bioclimáticos (precipitación y la evapotranspiración de referencia más la fecha de inicio y la duración de la temporada de crecimiento), datos del suelo (capacidad de retención de agua del suelo) y parámetros de cultivo (factores de cultivos y la duración de las etapas de crecimiento de los cultivos).

Los resultados consisten en una serie de variables del balance hídrico de los cultivos (como el exceso de evapotranspiración real del agua y el déficit, el índice satisfacción del agua, etc.) para la temporada de crecimiento y las diferentes etapas de crecimiento. Este modelo ha sido extraído de AgrometShell, el software de rendimiento de los cultivos de pronóstico de la FAO, se puede utilizar para cualquier tipo de cultivos (Delobel et al., 2013). En la Figura 1 se presenta una representación gráfica del modelo.



**Figura 1. Representación gráfica del modelo Wabal.** R: lluvia; Ru: escorrentía; E: evaporación hídrica del suelo; T: transpiración hídrica del cultivo; ET: evapotranspiración, la suma de E y T. Todas las variables son expresadas en litros/m<sup>2</sup> por día o década (periodo de 10 días) o mm. El ascenso por capilaridad de las raíces de las capas más profundas no se tiene en cuenta. Ilustración simplificada de Gommès (1999).

### **3.3. Antecedentes sobre evaluación de impacto de cambio climático en cultivos en el Perú**

Diversos estudios han sido realizados en el Perú sobre evaluación de impacto del cambio del clima en cultivos, utilizando diferentes metodologías y con distinto alcance, sea a nivel de cuencas, departamentos o a nivel nacional.

SENAMHI (2013 a y b), en el marco del Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales – PRAA, evaluó relaciones estadísticas entre variables climáticas (temperatura y precipitación) con rendimiento de cultivos, utilizando regresión múltiple encontraron modelos con mayor coeficiente de correlación y menor número de variables, los cuales fueron validados para el rendimiento actual (1997-2003) y proyectados para el escenario futuro (2015-2039); trabajándose para cultivo de papa y maíz amiláceo para la subcuenca del río Shullcas (Junín) y para los cultivos de café, palta y granadilla para Santa Teresa (Cusco). Los resultados mostraron tendencia a desplazarse el cultivo de papa a mayores altitudes en Shullcas (Junín) y a lograr mayores rendimientos, el maíz a incrementar el rendimiento pero no la frontera agrícola. Para el caso de Santa Teresa en Cusco, el café presenta desplazamiento hacia mayores altitudes con tendencia a mayores rendimientos, la granadilla a reducirse en las partes medias y a mantenerse en las partes altas, para palta una tendencia a incrementar los rendimientos.

Sanabria y Lhomme (2013) evaluaron los impactos potenciales del cambio del clima en las partes altas del Altiplano Peruano (Puno) usando proyecciones climáticas para los años 2071 al 2100 obtenidos del modelo HadRM3P para dos escenarios de emisión A2 y B2 en dos variedades de papa. Ante un escenario de incremento de temperatura, incremento de la precipitación al inicio de la estación lluviosa y ligera disminución al resto de la estación, genera como efectos adelantos en las fechas de siembra, reducción en el ciclo del cultivo en todas las localidades evaluadas y para ambos escenarios. Consecuentemente, las cosechas se presentan anticipadas, en enero para la papa andina en lugar de marzo y febrero para la papa amarga en lugar de abril. Estiman rendimientos deficientes para el escenario futuro, y un mayor impacto para escenario A2 que para B2 en la variedad S tuberosum.

Sanabria et al (2014), para los departamentos de Cusco y Apurímac, en el marco del Proyecto Adaptación al Impacto del Cambio del Clima (PACC), evaluaron las potenciales implicancias del clima futuro (2030) para los cultivos de papa, maíz, trigo, cebada y frijol, utilizando un modelo de cultivo adaptado por J.P Lhomme y dos modelos de circulación global para el escenario A1B. Los resultados muestran adelantos en el período de cosecha, estaciones de crecimiento más reducidos y en algunos casos un ligero incremento del riesgo en la siembra en el futuro cercano, esto sugiere un mejor entendimiento de los cambios en el régimen de precipitación al inicio de la campaña agrícola a fin de evaluar necesidades de corto plazo y posibilidades de adaptación; sin embargo ante la alta incertidumbre de los



escenarios recomiendan mejorar la data base (climática y agrícola) para emitir propuestas de medidas de adaptación.

Yzarra et al. (2015), para Ica, una importante región de cultivo de vid principalmente para la producción de pisco, evaluaron los efectos del cambio climático a partir de la temperatura del aire, para un escenario futuro inmediato (2015-2039) y para un futuro distante (2075-2099) para el escenario A1B, donde se muestran incrementos en la temperatura del aire, principalmente en la máxima, consecuentemente los índices bioclimáticos usados comúnmente en estudios de vid (GST, GDDI, HI, CNI) también se continuarán incrementando. Evaluaron además, la fenología para cuatro cultivares en cuatro años y determinaron los respectivos tiempos térmicos para sus diferentes estados fenológicos. El ciclo completo es de 204 días aproximadamente sumando unos 2630 grados días para las cuatro variedades; a partir de estos resultados infieren que en los últimos años la longitud del ciclo se ha acortado en 2días/10 años y esto, de acuerdo a la tendencia continuará a lo largo del siglo.

BID-CEPAL (2014), en un estudio sobre la economía del cambio climático en algunos sectores de la actividad económica del Perú, para tres escenarios de emisión (A1B, A2 y B1) y siete modelos climáticos para la evolución de la economía del Perú hasta el año 2100, estiman que los sectores de pesca, hidroenergía y agricultura serían los más afectados. El impacto del cambio climático en la agricultura generaría disminuciones en la producción para casi todos los cultivos y para todos los escenarios, siendo más severo en el escenario A2, la única excepción es el café, que presentaría un comportamiento distinto, pues en los primeros años la producción crecería levemente, para luego disminuir. Asimismo, muestran que la producción del cultivo de arroz sería la más afectada por el cambio climático en los tres escenarios; aunque los resultados deben considerarse con cautela, teniendo presentes las incertidumbres asociadas a la proyección futura del clima y de la evolución económica, se desprende de la amplitud de las pérdidas la necesidad de actuar lo antes posible para reducir la vulnerabilidad a lo largo de todo el territorio nacional.

## **4. Materiales y métodos**

### **4.1. Grupo de Trabajo Técnico**

Con la finalidad de consensuar aspectos técnicos sobre la priorización de los cultivos a nivel nacional, la disponibilidad de los datos de rendimiento y de otras variables agronómicas, el análisis de las series históricas, entre otras actividades inherentes, se conformó el Grupo de Trabajo Técnico (GTT) del Componente 1 del Proyecto GCP/INT/126/JPN - AMICAF, bajo la coordinación del Gerente Nacional del Proyecto AMICAF, instalándose el día jueves 26 de junio de 2014, en el Auditorio del MINAGRI, Jirón Yauyos N°258, Lima, donde se reunieron las siguientes instituciones miembros del GTT:

- Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI)
- Despacho de Asesores del Viceministerio de Políticas Agrarias del MINAGRI
- Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos del MINAGRI
- Dirección General de Infraestructura Hidráulica
- Dirección General de Competitividad Agraria
- Programa de Desarrollo Agrario Rural (AGRORURAL)
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA)
- Autoridad Nacional del Agua (ANA)
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)
- Dirección General de Cambio Climático del Ministerio del Ambiente (MINAM)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) – Proyecto AMICAF
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)
- Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)

#### **4.2. Ámbito geográfico**

El Grupo de Trabajo Técnico diseñó y coordinó el ámbito de acción del proyecto el cual fue conformado por las siguientes regiones a nivel nacional: costa norte, costa central, costa sur, sierra norte, sierra central, sierra sur y selva (Figura 2).



**Figura 2. Ámbito geográfico del Proyecto AMICAF por regiones.  
Fuente: Elaboración propia**

#### **4.3. Selección de cultivos**

Para esta primera etapa el GTT definió los cultivos de importancia a nivel nacional y regional de acuerdo a los siguientes indicadores:

- a) Cultivos que involucran el mayor número de productores, de acuerdo al CENAGRO 2012 (Tabla 2).
- b) Cultivos de mayor importancia para la seguridad alimentaria, esto es para aquellos que los hogares destinan mayor parte de su ingreso, de acuerdo a la Dirección de Estadística Agraria del MINAGRI – DEA (Tabla 2).

**Tabla 2. Relación de cultivos de importancia regional y nacional para la seguridad alimentaria**

<b>Región</b>	<b>Cultivos regionales</b>	<b>Cultivos nacionales</b>
<b>Costa norte</b>	limón, maíz amarillo duro, frijol, camote, ají	Arroz, yuca,
<b>Costa central</b>	maíz choclo, pallar, maíz amarillo duro, camote, tomate	Papa, yuca, arroz
<b>Costa sur</b>	haba, orégano, cebolla, aceituna, ajo, zapallo	Arroz
<b>Sierra norte</b>	frijol, maíz choclo, cebada, lenteja, alfalfa	Papa, trigo, maíz amiláceo
<b>Sierra central</b>	arveja, haba, maíz choclo, cebada, zanahoria, alfalfa	Papa, trigo, maíz amiláceo
<b>Sierra sur</b>	avena, quinua, olluco, maíz choclo, orégano, alfalfa	Papa, trigo, maíz amiláceo
<b>Selva</b>	frijol, naranjo, maíz amarillo duro, limón, ají	Plátano, yuca, arroz, café

Fuente: Elaboración propia

#### **4.4. Evaluación de la serie histórica de rendimiento**

Se analizó la serie histórica y las tendencias de los rendimientos para los cultivos considerados por el GTT en las regiones de la costa, sierra y selva, tanto regional como nacional.

Luego de analizar la base de datos de rendimientos proporcionados por el MINAGRI, con el equipo técnico de la FAO se establecieron las siguientes categorías de información:

A: No hay suficientes datos disponibles, mala calidad de datos de rendimiento, no se puede confiar (descartado).

B: Existe calidad de los datos de rendimiento, sin embargo no existe una correlación significativa con el clima y variables del balance hídrico.

C: Correlación significativa con el clima y variables de balance hídrico, modelo construido. Se realizaron las proyecciones en el rendimiento.

B/C: Datos de rendimientos con calidad y se construyeron los modelos.

Obteniéndose para cultivos nacionales (Tabla 3) y regionales (Tabla 4) lo siguiente:

**Tabla 3: Cultivos de seguridad alimentaria de importancia a nivel nacional**

Cultivos nacionales	Costa norte	Costa central	Costa sur	Sierra norte	Sierra central	Sierra sur	Selva
Arroz	B/C	B/C	B/C				B/C
Yuca	B	B	B				B/C
Papa	B/C	B/C	B/C	B/C	B/C	B/C	
Trigo				B/C	B/C	B/C	
Maíz Amiláceo				B/C	B/C	B/C	
Alfalfa				A	A	A	
Plátano							B/C
Café							B/C
Cacao							B/C

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4: Cultivos de seguridad alimentaria de importancia a nivel regional**

Cultivos regionales	Costa norte	Costa central	Costa sur	Sierra norte	Sierra central	Sierra sur	Selva
Limón	A						A
Maíz Amarillo Duro	B/C	B/C					B/C
Frijol	B/C			A			B/C
Camote	B/C	B/C					
Maíz choclo				B	B	B	
Tomate		C					
Haba			A		B/C		
Cebolla			B/C				
Pallar			A				
Aceituna			A				
Ajo			A				
Zapallo			A				
Cebada				C	C		
Lenteja				A			
Arveja					C		
Zanahoria					A		
Avena						A	
Quinoa						A	
Olluco						A	
Orégano						A	
Naranja							A
Ají							A

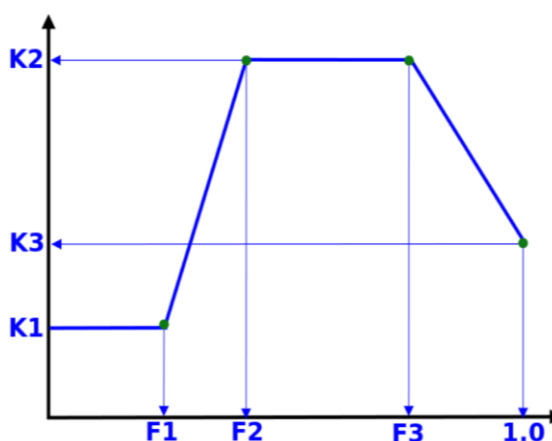
Fuente: Elaboración propia

Como siguiente paso, se elaboraron gráficos para comparar el comportamiento del rendimiento con la producción de los cultivos considerados a nivel regional y

nacional. De esta manera se pudo apreciar si estos datos mantienen un mismo comportamiento o no. Se consideró como inicio el año 1971 en adelante debido que gran parte de los cultivos presentan una mejor calidad de los datos a partir de ese año.

#### 4.5. Implementación de la base de datos fenológicos y coeficientes de cultivo

El Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA proporcionó información fenológica y coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) de los cultivos representativos considerados a nivel regional y nacional de acuerdo a la información que se necesita para usar en el modelo WABAL (Gráfico N° 1); en muchos casos no se contaba con información fenológica y coeficientes por lo cual fue necesario revisar el estudio de la FAO (2006), con la finalidad de analizar la duración del periodo fenológico de cada cultivo, corregir datos imprecisos y completar los faltantes.



**Gráfico 1: Definición de los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) con las fases fenológicas del cultivo: F1 (10% cobertura/emergencia); F2 (40-60% cobertura/inicio floración); F3 (100% cobertura/inicio maduración); 1 (F4/cosecha).**

Los datos de fenología y de  $K_c$  a nivel nacional fueron preparados por los especialistas del INIA, los cuales se muestran en las Tablas 5 (costa); 6 (sierra) y 7 (selva). Luego, se procedió a ingresar esta información al modelo Wabal con la finalidad de comenzar con las simulaciones necesarias.

**Tabla 5. Base de datos fenológicos y coeficientes hídricos de los cultivos para la región de la costa**

Región	Cultivos	Variedad	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	0 - F1 (Siembra a emergencia en días)	F1 - F2 ( Emergencia a la floración en días)	F2 - F3 ( Floración a Maduración en días)	F3 - 1 (Maduración a Cosecha en días)	KC1 ( Inicial )	KC2 ( en la floración)	KC3 (Cuando terminas el ciclo del cultivo)
<b>Cultivos Nacionales</b>	arroz	Mallares	Noviembre	Marzo	8	55	55	30	1	1.2	0.9
		Tinajones	Noviembre	Marzo	8	55	50	30	1	1.2	0.9
		IR 43	Noviembre	Marzo	8	55	55	30	1	1.2	0.9
	yuca	Iris	todo el año	todo el año	15	205	14	6	0.90	1.10	1.00
<b>Costa Norte</b>	<b>limón (*)</b>										
	maíz	INIA 619 - Megahibrido	verano		6	60	20	59	0.8	1.8	0.9
		INIA 619 - Megahibrido	invierno		8	70	25	62	0.8	1.8	0.9
	frijol	Varios	Oct-Nov	Dic-Ene	8	22	18	50	0.15	1.10	0.25
		Blanco Larán	Mzo y Jul	May-Set	10	25	20	35	0.15	1.10	0.25
	camote	Benjamin / Jhonathan	Set-Oct	Ener-FEb	5	40	45	50	0.5	1.15	0.65
ají	Escabeche Panca y Rocoto	Julio-Set	Ene-Marz	10	70	60	50	0.60	1.05	0.90	
<b>Cultivos Nacionales</b>	papa	Canchan-INIA	Mayo-Junio	Set-Oct.	20	25	20	60	0.6	1.1	0.4
		Amarilis-INIA	Mayo-Junio	Set-Oct.	25	25	20	70	0.6	1.1	0.4
	yuca	Unica	Mayo-Junio	Set-Oct.	25	25	25	75	0.6	1.1	0.4
		Iris	todo el año	todo el año	15	205	14	6	0.90	1.10	1.00
	arroz	Mallares	Noviembre	Marzo	7 - 10	55	55	30	1	1.2	0.9
		Tinajones	Noviembre	Marzo	7 - 10	55	50	30	1	1.2	0.9
IR 43	Noviembre	Marzo	7 - 10	55	55	30	1	1.2	0.9		
<b>Costa Central</b>	maíz choclo	Blanco Urubamba	Mar a Abr	Jul a Ago.	5	105	25	30	0.6	0.7	0.7
					10	110	30	30	0.7	0.8	0.8
	<b>pallar (*)</b>										
	maíz amarillo duro	INIA 611- NutriPerú	Jun a Jul.	Oct-Nov	8	70	25	62	0.8	1.8	0.9
	camote	Jhonathan	Oct-Nov	Feb-Mzo	5	30	40	45	0.5	1.15	0.65
tomate	Hibridos, tipo Rio Grande Dominator	Julio-Set	Nov-Mar	10	55	55	30	0.6	1.15	0.8	
<b>Cultivos Nacionales</b>	arroz	Mallares	Dic - Jul	May-Nov	5	60	30	30	1	1.2	0.9
		Tinajones	Dic - Jul	May-Nov	5	65	30	40	1	1.2	0.9
		IR	Dic - Jul	May-Nov	7	85	30	30	1	1.2	0.9
<b>Costa Sur</b>	<b>haba (*)</b>										
	cebolla	Americana perilla y camaneja	Abril-Nov	Dic-abril	10	72	80	30	0.7	1.05	0.75
					8	65	90	30	0.7	1.05	0.75
	<b>olivo (*)</b>										
	ajo	Napuri y Criollo	Abril- may	Nov-dic	8	82	90	30	0.7	1	0.7
zapallo	Macre Mejorado	Abril-Julio	ago-Dic	10	80	20	40	0.5	1	0.8	

Fuente : Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA

(\*) : no existe información fenológica en el INIA

**Tabla 6. Base de datos fenológicos y coeficientes hídricos de los cultivos para la región de la sierra**

Región	Cultivos	Variedad	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	0 - F1 ( Siembra a emergencia en días)	F1 - F2 ( Emergencia a la floración en días)	F2 - F3 ( Floración a Maduración en días)	F3 - 1 ( Maduración a Cosecha en días)	KC1 ( Inicial )	KC2 ( en la floración)	KC3 ( Cuando terminas el ciclo del cultivo)	
Sierra Norte	Cultivos Nacionales	Papa	Canchan-INIA	Nov-Dic	Abrl-May	25	15	20	70	0.6	1.1	0.4
		Papa	Amarilis	Nov-Dic	Abrl-May	25	30	20	75	0.6	1.1	0.4
	Cultivos Regionales	Papa	Perricholi-INIA	Nov-Dic	Abrl-May	25	30	25	80	0.6	1.1	0.4
		Papa	Serranita-INIA	Nov-Dic	Abrl-May	25	30	25	80	0.6	1.1	0.4
		Trigo	Moray	Nov-Dic	Abrl-May	10	50	90	30	0.15	0.4	0.9
		Maíz Amiláceo	INIA 603 -	Oct-Nov	May-Jun	8	92	33	67	0.6	0.7	0.6
	Cultivos Regionales	Frijol	Varios	Oct-Nov	Ene-Feb	5	60	25	85	0.4	1.15	0.35
		Maíz Choclo	INIA 603 -	Oct-Nov	Abrl-may	8	92	33	27	0.6	0.7	0.6
		Cebada	Var. Liberadas	Nov-Dic	Abrl-May	8	42	38	42	0.15	1.1	0.15
		Lenteja (*)										
Sierra Central	Cultivos Nacionales	Papa	Canchan-INIA	Nov-Dic	Abrl-May	25	15	20	70	0.6	1.1	0.4
		Papa	Amarilis	Nov-Dic	Abrl-May	25	30	20	75	0.6	1.1	0.4
	Cultivos Regionales	Papa	Perricholi-INIA	Nov-Dic	Abrl-May	25	30	25	80	0.6	1.1	0.4
		Papa	Serranita-INIA	Nov-Dic	Abrl-May	25	30	25	80	0.6	1.1	0.4
		Trigo	Var. Liberadas	Nov-Dic	Abrl-May	15	40	20	15	0.30	1.15	0.40
		Maíz Amiláceo	Blanco	Ago-Set.	Abrl-May	10	100	30	100	0.60	0.70	0.60
	Cultivos Regionales	Arveja	INIA Remate	Noviembre	Febrero	7	73	27	43	0.50	1.15	1.10
		Haba	Var. Liberadas	Set-oct	Abril	10	50	32	28	0.15	1.10	0.20
		Maíz choclo	Blanco Urubambæ	Agosto	Mayo	10	100	30	100	0.70	1.15	1.05
		Cebada	La Milagrosa	Dic-Ene	Mzo-Abr	10	60	40	30	0.30	1.15	1.40
Sierra Sur	Cultivos Nacionales	Papa	Canchan-INIA	Nov-Dic	Abrl-May	25	15	20	70	0.6	1.1	0.4
		Papa	Amarilis	Nov-Dic	Abrl-May	25	30	20	75	0.6	1.1	0.4
	Cultivos Regionales	Papa	Perricholi-INIA	Nov-Dic	Abrl-May	25	30	25	80	0.6	1.1	0.4
		Papa	Serranita-INIA	Nov-Dic	Abrl-May	25	30	25	80	0.6	1.1	0.4
		Trigo	Var. Liberadas	Oct-Nov	Abr -	10	60	25	85	1.15	0.30	1.00
		Maíz Amiláceo	Blanco	Ago-Set.	Abr -	10	100	30	100	0.60	0.70	0.60
	Cultivos Regionales	Orégano (*)										
		Avena	Varios	Dic-Ene	Mzo-Abr	10	60	40	30	0.30	1.15	1.40
		Quinua	Var. Pasankalla	Junio - Jul	Set- Oct	7	14	28	56	0.30	0.95	0.85
		Quinua	Var. 415 Rosada	Junio - Jul	Set- Oct	7	21	49	56	0.40	0.80	0.40
Cultivos Regionales	Olluco(*)											
	Maíz choclo	Blanco Urubambæ	Agosto	Mayo	10	100	30	80	0.70	1.15	1.05	

Fuente : Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA

(\*) : no existe información fenológica en el INIA



**Tabla 7. Base de datos fenológicos y coeficientes hídricos de los cultivos para la región de la selva**

Región	Cultivos	Variedad	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	0 - F1 ( Siembra a emergencia en días)	F1 - F2 ( Emergencia a la floración en días)	F2 - F3 ( Floración a Maduración en días)	F3 - 1 ( Maduración a Cosecha en días)	KC1 ( Inicial )	KC2 ( en la floración)	KC3 ( Cuando terminas el ciclo del cultivo)		
Selva	Cultivos Nacionales	Harton o Bellaco	Mar-Jun y Set-Nov	todo el año	30	120	100	90	0.90	1.10	1.00		
		plátano	Isla	Mar-Jun y Set-Nov	todo el año	30	90	90	60	0.90	1.10	1.00	
			Seda	Abril - junio	todo el año	30	270	14	16	0.90	1.10	1.00	
		yuca	Señorita	todo el año	todo el año	15	205	14	6	0.90	1.10	1.00	
			Capirona	Enero Julio	Mayo Noviembre	8	55	40	35	1.05	1.20	1.00	
			La Conquista	Enero Julio	Mayo Noviembre	8	55	35	35	1.05	1.20	1.00	
			La Esperanza	Enero Julio	Mayo Noviembre	8	55	40	35	1.05	1.20	1.00	
		arroz	Capirona	Enero Julio	Mayo Noviembre	8	60	50	35	1.05	1.20	1.00	
			La Conquista	Enero Julio	Mayo Noviembre	8	60	45	35	1.05	1.20	1.00	
			La Esperanza	Enero Julio	Mayo Noviembre	8	60	50	35	1.05	1.20	1.00	
		café	Típica	Octubre - Diciembre	Marzo - Agosto	65	90	120	85	1.05	1.1	1.1	
		frijol	Ucayalino	Mar-May	Ju-Ago	8	22	18	50	0.15	1.10	0.25	
		naranja (*)											
		Cultivos Regionales	maíz amarillo duro	Marginal 28 T	Feb-Set	May-Dic	5	45	15	55	0.70	1.20	0.35
			limón (*)										
		aji	Escabeche Panca y Rocoto	Julio-Set	Ene-Marz	10	50	30	60	0.60	1.05	0.90	
						10	70	60	50	0.60	1.05	0.90	

Fuente : Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA

(\*) : no existe información fenológica en el INIA

#### 4.6. Corridas del Modelo Wabal con la interpolación de datos climáticos

Con toda la información fenológica y coeficientes de cultivo se procedió a matricular los cultivos en el modelo Wabal y luego a trabajar a nivel de grillas, seleccionando los datos climáticos ya interpolados por el método Aurelhy (*Aur dek precip* y *Aur dek PET*). Seguidamente se eligió el inicio del periodo de siembras, la longitud del ciclo de crecimiento del cultivo y el área de estudio en donde está interpolado la información climática. Finalmente, se exportó las salidas del Wabal en una hoja cálculo para construir los modelos estadísticos para cada cultivo seleccionado (Anexo 1 y 2).

Analizando los resultados de las salidas del Wabal no se encontraron generalmente los modelos específicos para cada cultivo y zona de estudio, por esta razón se elaboraron mapas, en donde se trabajaron los shapés a nivel regional con la finalidad de obtener un mayor coeficiente de determinación ( $r^2$ ) en los modelos estadísticos.

Los mapas de cobertura areal (shape) generados tuvieron como base los límites distritales de cada uno de los departamentos del Perú, excepto los Departamentos de Loreto, Ucayali, Madre de Dios y San Martín dado que estos en toda su extensión presentan la región natural de selva. Todos los mapas han sido incorporados al MOSSAIC. Se realizaron 40 mapas (archivos shape) para todas las regiones de la costa, sierra y selva (Tabla 8).

**Tabla 8. Mapas de cobertura areal (archivos shape) para las regiones de costa, sierra y selva**

<b>Costa</b>	<b>Sierra</b>	<b>Selva</b>
Costa_Tumbes	X	X
Costa_Piura	Sierra_Piura	X
Costa_Lambayeque	Sierra_Lambayeque	X
Costa_La Libertad	Sierra_La Libertad	X
Costa_Ancash	Sierra_Ancash	X
Costa_Lima	Sierra_Lima	X
Costa_Ica	Sierra_Ica	X
Costa_Arequipa	Sierra_Arequipa	X
Costa_Moquegua	Sierra_Moquegua	X
Costa_Tacna	Sierra_Tacna	X
X	Sierra_Amazonas	Selva_Amazonas
X	Sierra_Cajamarca	Selva_Cajamarca
X	Sierra_Huanuco	Selva_Huanuco
X	Sierra_Pasco	Selva_Pasco
X	Sierra_Junín	Selva_Junín
X	Sierra_Huancavelica	X
X	Sierra_Ayacucho	X
X	Sierra_Apurímac	X
X	Sierra_Cusco	Selva_Cusco
X	Sierra_Puno	Selva_Puno
X	X	Selva_Loreto
X	X	Selva_San Martín
X	X	Selva_Ucayali
X	X	Selva_Madre de Dios

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7. Generación del modelo estadístico de rendimiento

El programa utilizado para el análisis estadístico fue el JMP (software estadístico del SAS), y como primer paso fue preparar los archivos en hoja de cálculo en donde se copiaron las salidas del Wabal de un cultivo y región específica con sus respectivos rótulos (ver Anexo 3 y 4).

Se incorporó los promedios mensuales de temperatura máxima, mínima y precipitación total mensual para cada región.

Una vez preparada la matriz, se analizó el archivo del cultivo con el JMP, se evaluó la tendencia de la gráfica para lo cual se ajustó el rendimiento del cultivo en función a los años evaluados (1972-2012 para todos los cultivos considerados) y se buscó la tendencia (lineal, cuadrática, cúbica, etc) que mejor explicó el gráfico. Ver Anexo 5.

Durante el procesamiento de base de datos se encontraron las siguientes observaciones:

Observación 1: En muchos casos la gráfica de rendimientos no presentó ninguna tendencia definida, en este caso, no fue necesario guardar los residuos por que se trabajó directamente con los rendimientos. Ver Anexo 6.

Observación 2: Existen algunos casos donde los valores de rendimiento se repiten durante algunos años, esto representó información de dudosa calidad por lo que se descartaron estos datos, ver el ejemplo en el Anexo 7. En otras regiones faltaron datos de algunos años por lo cual también fueron descartados (Anexo 8).

El siguiente paso, fue guardar los residuales de la tendencia, con los cuales se analizaron todos los parámetros, del balance hídrico y climático, para la selección de los más representativos. Para crear el modelo se utilizaron los datos de los últimos 20 años de 1993-2012 (ver Anexo 9), se seleccionó las variables dependiente e independiente; en este caso la independiente fueron los rendimientos residuales y se realizaron cálculos estadístico para introducir o eliminar las variables independientes a partir de un conjunto de predictores potenciales (ver Anexo 10).

Después, en el ajuste por regresión se trabajó bajo el umbral de valor **p** (nivel de significancia) de 0,05 para encontrar un modelo con  $r^2$  normal y ajustado, con parámetros y coeficientes estimados con su respectiva significancia “**Prob F**”, esto nos indicó si el parámetro es significativo (menor de 0,05) o no significativo (mayor a 0,05) y luego se construyó el modelo. Ver anexo 11.

El modelo de pronóstico de rendimiento fue elaborado siguiendo los lineamientos clásicos de los modelos de regresión múltiple, que en general responden a la siguiente expresión:

$$Y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon$$

Dónde:

Y = variable dependiente (valor observado)

$\alpha$  = constante

$x_1, x_2, \dots, x_p$  = variables independientes

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$  = coeficientes de regresión

$\varepsilon$  = error

p = número de variables independientes

Debido a la calidad de la información de los datos de rendimiento solo se consideraron los modelos con un  $r^2$  a partir de 0.25.

El JMP si bien es cierto nos da el modelo o nos sugiere un modelo acorde a los parámetros y sus correlaciones; fue necesario analizar si estos parámetros sugeridos tienen coherencia y validez agronómica y científica; en ese sentido, se procedió a buscar información bibliográfica que refuerce a los parámetros elegidos para la elaboración de los modelos finales.

#### **4.8. Validación del modelo**

Una vez seleccionados los modelos y sus parámetros finales se procedió con las validaciones correspondientes. Para ello se trabajó en todos los cultivos el mismo periodo de validación "1972-1992". En algunos casos, como la arveja en la sierra, no se llevaron a cabo las validaciones debido a falta de datos de rendimiento.

Una vez conocidos los valores de  $r^2$ , de la ecuación del modelo, con los parámetros ya determinados, se realizaron las validaciones. Para ello, se cuantifico que tan adecuadamente el modelo describe los datos (observaciones o simulaciones) y como es el ajuste. Antes de proceder a validar el modelo obtenido fue necesario examinar la coherencia científica y agronómica de los parámetros seleccionados para detectar posibles errores y determinar la consistencia del modelo, para ello fue necesario consultar publicaciones y artículos científicos relacionados.

La siguiente etapa consistió en evaluar algunos estadísticos de prueba como el coeficiente de correlación (r) entre los datos de rendimiento (sin tecnología o residual) observados y simulados para determinar el ajuste del modelo (Calzada 1970). Ver anexo 12.

#### 4.9. Generación de rendimientos futuros

Se procedió con las estimaciones de los rendimientos futuros de los cultivos considerados en las regiones de la costa, sierra y selva con los tres Modelos de Circulación General (CanESM2; CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR) y dos escenarios (RCP 4.5 y RCP 8.5).

Las predicciones fueron analizadas comparando el rendimiento histórico modelado del periodo 1971-2000 ( $Rdto_{1971-2000}$ ) con los rendimientos de los tres Modelos de Circulación General ( $Rdto_{CanESM2(4.5\ y\ 8.5)}$ ;  $Rdto_{CNRM-CM5(4.5\ y\ 8.5)}$  y  $Rdto_{MPI-ESM-MR(4.5\ y\ 8.5)}$ ) en un periodo del 2036-2065 (Item 3.1).

Para observar el efecto del clima sobre los rendimientos futuros se procedió a realizar una diferencia entre los promedios de las estimaciones del futuro con los promedios de las estimaciones del pasado. Obteniéndose las siguientes variaciones ( $\Delta$ ) en los rendimientos:

- $Rdto_{CanESM2(4.5\ y\ 8.5)} - Rdto_{1971-2000} = \Delta Rdto_{CanESM2(4.5\ y\ 8.5)}$
- $Rdto_{CNRM-CM5(4.5\ y\ 8.5)} - Rdto_{1971-2000} = \Delta Rdto_{CNRM-CM5(4.5\ y\ 8.5)}$
- $Rdto_{MPI-ESM-MR(4.5\ y\ 8.5)} - Rdto_{1971-2000} = \Delta Rdto_{MPI-ESM-MR(4.5\ y\ 8.5)}$

Luego se realizó un análisis de significancia comparando la desviación estándar (DS) de los rendimientos en el periodo 1971-2000 con las variaciones en los rendimientos en los diferentes escenarios de cambio climático:

- $\Delta Rdto > 2 \times DS$  Altamente significativo (\*\*)
- $DS < \Delta Rdto < 2 \times DS$  Significativo (\*)
- $\Delta Rdto < DS$  no significativo (n.s.)

Una vez realizadas dichas significancias se procedió a determinar los valores de sigma ( $\delta$ ) con la finalidad de tener una mejor presentación de los mapas finales. Este valor sigma es el resultado del cociente entre el cambio del rendimiento ( $\Delta$ ) en los diferentes escenarios y la desviación estándar (DS), al final se consideraron las siguientes asunciones:

- Cuando los valores  $\delta$  en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 presentan la misma tendencia, positivo o negativo; se considera consistente entre los diferentes modelos GCM.
- Cuando los valores  $\delta$  en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 presentan diferentes tendencias se considera inconsistente entre los diferentes modelos GCM, usando líneas oblicuas en la presentación de los mapas.

## **5. Resultados y discusión**

En base al análisis de las variables de balance hídrico y los parámetros meteorológicos para los cultivos priorizados se generaron los siguientes modelos estadísticos:

### **5.1. Modelos de rendimientos de cultivo**

#### **5.1.1 Modelos de rendimientos de cultivos en la costa**

Para la costa se generaron modelos para los cultivos de arroz, papa, maíz amarillo, camote, tomate y cebolla (Tabla 9). El rendimiento del cultivo responde negativamente a la disminución de las temperaturas máximas, especialmente en los meses de julio a setiembre; este efecto es de mayor consideración en el cultivo de papa y camote durante la fase de floración, especialmente para el cultivo de papa sembrados durante la campaña chica.

Los cultivos de arroz, papa, maíz amarillo duro, camote, tomate y cebolla sembrados en la región de la costa también responden a la disponibilidad hídrica para sus diferentes fases fenológicas; los rendimientos también están asociados a la disponibilidad de agua y con mayor importancia en las fases de inicio de floración (fase 2) y maduración (fase 3) del cultivo.

#### **5.1.2 Modelos de rendimientos de cultivos en la sierra**

Para la sierra se generaron modelos para los cultivos de papa, trigo, maíz amiláceo, haba grano seco, cebada y arveja (Tabla 10).

El rendimiento de los cultivos de la sierra está asociada al régimen de lluvias, principalmente para los meses de diciembre a febrero, de registrarse lluvias adecuadas en ésta época del año los rendimientos estarán asegurados, épocas que también coinciden con la etapa de máximo crecimiento y diferenciación de la mayoría de los cultivos andinos. Por otro lado, el rendimiento responde negativamente al incremento de la temperatura máxima principalmente para los meses lluviosos (diciembre a marzo), es decir el efecto perjudicial estaría asociado a una mayor frecuencia de días con temperaturas altas asociadas también a deficiencias hídricas y veranillos en temporadas donde el cultivo requiere mayor humedad, coincidiendo también con las salidas del balance hídrico que también se presenta como un factor determinante del rendimiento y especialmente por el déficit hídrico producido por la falta de agua durante el período de emergencia (fase 1) y crecimiento vegetativo de los cultivos; este impacto es mucho más grave si se produce durante la floración (2) en donde las necesidades hídricas son mayores para los diferentes cultivos.

### **5.1.3 Modelos de rendimientos de cultivos en la selva**

En la región de la selva, se alcanzaron a generar modelos estadísticos para describir el rendimiento de los cultivos de arroz, yuca, plátano, café, cacao, maíz amarillo duro y frijol (Tabla 11).

El rendimiento de los cultivos en la Amazonía depende de una amplia gama de parámetros, por un lado la precipitación, son importantes y favorables las lluvias de los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo; las temperaturas máximas con mayor frecuencia para los meses de junio y mayo, y las temperaturas mínima en los meses de junio y abril. Dentro de los componentes del balance hídrico, la deficiencia hídrica total es un parámetro que se presenta como causante de la reducción del rendimiento de los cultivos.

Tabla 9. Modelos de cultivo para la región de la costa

Cultivo	Departamento	Región	Periodo del modelo	Tendencia	Modelo						r <sup>2</sup>	periodo de validación	Validación (r)	
					Constante	Parametro 1	Parametro 2	Parametro 3	Parametro 4					
Arroz	Tumbes	Costa	1993-2012	si	1783.0	(-) eta2	5.4					0.52	1993-2012	0.19
	La Libertad	Costa	1993-2012	si	12993.1	(-) exc4	106.2	(-) tmax_jan	504.7			0.53	1993-2012	0.52
Papa	La Libertad	Costa	1993-2012	si	19654.4	(+) def2	20.4	(-) tmax_jul	1452.5	(+) tmin_jun	1734.9	0.56	1971-1992	0.02
	Lima	Costa	1993-2012	si	45256.2	(-)tmax_sep	2102.5					0.30	1971-1992	0.01
	Ica	Costa	1993-2012	si	42513.9	(-) tmax_ago	1592.4					0.30	1971-1992	0.11
	Moquegua	Costa	1993-2012	si	7055.8	(-) def2	45.3					0.26	1971-1992	0.02
	Tacna	Costa	1993-2012	si	9948.6	(-) eta3	200.0					0.40	1971-1992	-0.13
Maíz amarillo	Ancash	Costa	1993-2012	si	2905.8	(-) def3	13.7					0.42	1971-1992	0.03
Camote	Piura	Costa	1993-2012	si	43477.7	(-) tmax_sep	2868.2	(+) tmin_sep	3345.2	(-) prec_sep	575.8	0.58	1971-1992	0.04
Tomate	Ancash	Costa	1993-2012	si	37479.5	(-) tmax_jul	1761.3					0.25	1971-1992	0.01
	Lima	Costa	1993-2012	si	43641.0	(-) def3	101.5					0.43	1971-1992	0.06
Cebolla	Arequipa	Costa	1993-2012	si	-40205.4	(-) eta4	322.8	(-) tmin_may	2205.0	(-) tmin_ago	3069.0	0.72	1971-1992	0.006

Fuente: Elaboración propia

**Leyenda: Nómima y significado de las variables de balance hídrico y climáticas**

Parametro	Significado
tmax_jan	temperatura máxima de enero
tmax_jul	temperatura máxima de julio
tmax_ago	temperatura máxima de agosto
tmax_sep	temperatura máxima de setiembre
tmin_may	temperatura mínima de mayo
tmin_jun	temperatura mínima de junio
tmin_ago	temperatura mínima de agosot
tmin_sep	temperatura mínima de setiembre
prec_sep	precipitación de setiembre
eta2	evapotranspiración_fase 2
eta3	evapotranspiración_fase 3
eta4	evapotranspiración_fase 4
exc4	exceso_fase 4
def2	deficiencia_fase 2
def3	deficiencia_fase 3

fase 1 = 10% de cobertura (emergencia)  
 fase 2 = 40 - 60% de cobertura (inicio de floración)  
 fase 3 = 100% de cobertura (inicio de maduración)  
 fase 4 = senescencia y/o cosecha



Tabla 10. Modelos de cultivo para la región de la sierra

Cultivo	Departamento	Región	Periodo del modelo	Tendencia	Modelo						r <sup>2</sup>	periodo de validación	Validación ( r )	
					Constante	Parametro 1	Parametro 2	Parametro 3	Parametro 4					
papa	Apurímac	Sierra	1993-2012	si	-4478.1	pp_dec	37.1					0.65	1972-1992	0.30
	Ayacucho	Sierra	1993-2012	si	13483.0	(-) def1	14.9					0.28	1972-1992	0.31
	Cuzco	Sierra	1993-2012	si	-13151.5	twr	11.7	pp_dec	13.5			0.42	1972-1992	0.40
	Huánuco	Sierra	1993-2012	si	33772.3	(-) eta2	52.6	(-) tmax_mar	1208.6			0.44	1972-1992	0.30
	La Libertad	Sierra	1993-2012	si	3108.1	etat	10.4	(-) def1	33.0	(-) pp_april	33.1	0.56	1972-1992	0.02
	Moquegua	Sierra	1993-2012	si	743.6	pp_mar	-24.5	tmin_nov	316.0			0.26	1972-1992	0.02
	Tacna	Sierra	1993-2012	si	41037.5	def1	-82.5	(-) tmax_feb	1232.9			0.40	1972-1992	-0.13
trigo	Apurímac	Sierra	1993-2012	si	-317.6	pp_dec	2.6					0.55	1972-1992	0.26
	Arequipa	Sierra	1993-2012	si	195.7	(-) eta1	143.9					0.30	1972-1992	-0.32
	Cajamarca	Sierra	1993-2012	si	-1209.0	twr	1.8	pp_feb	0.9			0.50	1972-1992	0.18
	Huancavelica	Sierra	1993-2012	si	-67.6	(-) eta4	2.4	pp_feb	1.2			0.43	1972-1992	0.16
	Junín	Sierra	1993-2012	si	-1274.8	pp_jan	2.9	pp_dec	5.2			0.41	1972-1992	0.34
	La Libertad	Sierra	1993-2012	si	-1306.8	wsí(surplus)	13.9	pp_nov	2.8			0.46	1972-1992	0.42
	Puno	Sierra	1993-2012	si	899.8	tmin_feb	33.3	tmax_nov	-45.3			0.50	1972-1992	0.54
Maíz amiláceo	Ayacucho	Sierra	1993-2012	no	4993.9	(-) eta2	9.7	(-) def_2	5.5			0.50	1972-1992	-0.20
	La Libertad	Sierra	1993-2012	si	-423.6	wsí(surplus)	8.5					0.33	1972-1992	0.46
	Tacna	Sierra	1993-2012	si	2186.1	tmax_oct	98.4					0.32	1972-1992	0.02
Haba grano seco	Ayacucho	Sierra	1993-2012	si	3314.1	(-) tmax_jan	41.1	(-) tmax_dec	85.3	(-) def1	0.7	0.60	1972-1992	0.56
	Cerro de Pasco	Sierra	1993-2012	no	4815.4	tmin_feb	206.6	(-) tmax_mar	207.9			0.41	1972-1992	0.60
	Junín	Sierra	1993-2012	si	-395.1	pp_april	4.8					0.32	1972-1992	0.42
Cedada	Ayacucho	Sierra	1993-2012	no	5559.5	(-) def2	1.5	(-) tmax_dec	197.9	tmin_feb	72.0	0.52	1972-1992	-0.47
	Cajamarca	Sierra	1993-2012	si	-39.5	(-) exc4	3.8	pp_feb	0.5			0.33	1972-1992	-0.25
	Cerro de Pasco	Sierra	1993-2012	no	357.1	(-) eta3	1.4	tmin_feb	130.8			0.50	1972-1992	-0.20
	Huancavelica	Sierra	1993-2012	si	-1875.1	twr	1.8	pp_feb	1.3	pp_january	1.0	0.70	1972-1992	0.08
	Junín	Sierra	1993-2012	no	704.6	pp_dec	5.4					0.30	1972-1992	0.15
	La Libertad	Sierra	1993-2012	si	631.1	(-) exc1	4.9	(-) def1	0.8			0.50	1972-1992	0.44
Arveja	Ayacucho	Sierra	1993-2012	si	1334.0	(-) eta2	3.2	(-) def2	1.9			0.28	pocos años	
	Junín	Sierra	1993-2012	no	574.1	pp_dec	5.5					0.36	pocos años	

Fuente: Elaboración propia

Leyenda: Nómima y significado de las variables de balance hídrico y climáticas

Parametro	Significado
tmax_jan	temperatura máxima de enero
tmax_feb	temperatura máxima de febrero
tmax_mar	temperatura máxima de marzo
tmax_oct	temperatura máxima de octubre
tmax_nov	temperatura máxima de noviembre
tmax_dec	temperatura máxima de diciembre
tmin_feb	temperatura mínima de febrero
tmin_nov	temperatura mínima de noviembre
pp_jan	precipitación de enero
pp_feb	precipitación de febrero
pp_mar	precipitación de marzo
pp_april	precipitación de abril
pp_nov	precipitación de noviembre
pp_dec	precipitación de diciembre

Parametro	Significado
eta1	evapotranspiración_fase 1
eta2	evapotranspiración_fase 2
eta3	evapotranspiración_fase 3
eta4	evapotranspiración_total
etat	evapotranspiración_fase 5
exc4	exceso_fase 4
exc1	exceso_total
def1	deficiencia_fase 1
def2	deficiencia_fase 2
def1	deficiencia_total
twr	requerimiento de agua total
wsí(surplus)	índice de satisfacción hídrica

fase 1 = 10% de cobertura (emergencia)  
 fase 2 = 40 - 60% de cobertura (inicio de floración)  
 fase 3 = 100% de cobertura (inicio de maduración)  
 fase 4 = senescencia y/o cosecha

Tabla 11. Modelos de cultivo para la región de la selva

Cultivo	Departamento	Región	Periodo del modelo	Tendencia	Modelo								periodo de validación	Validación (r)		
					Constante	Parametro 1	Parametro 2	Parametro 3	Parametro 4	r <sup>2</sup>						
Arroz	Loreto	Selva	1993-2012	si	10131.6	(-) exc4	4.0	(-) def2	1.1	(-) tmax_may	323.8	pp_mar	3.6	0.76	1971-1992	0.20
	Huánuco	Selva	1993-2012	si	-1307.1	(-) pp_may	8.3	pp_febmar	4.7					0.37	1971-1992	0.08
	Junín	Selva	1993-2012	si	4628.6	(-) eta4	3.1	(-) tmax_may	182.3	Pp_mar	6.8			0.45	pocos años	
	Ucayali	Selva	1993-2012	si	-359.2	pp_ene	1.6							0.30	1971-1992	0.30
	Cuzco	Selva	1993-2012	no	-2633.9	etat	1.5	tmax_mar	130.0					0.44	1971-1992	0.11
Yuca	Cuzco	Selva	1993-2012	no	-34538.5	(-) def1	6.7	tmax_feb	2365.0					0.56	1981-1992	0.19
	Junín	Selva	1993-2012	si	-13490.9	tmax_ago	499.6	pp_ene	5.2	pp_set	18.6			0.66	1972-1992	0.07
	Loreto	Selva	1993-2012	no	-6514.1	tmax_mar	179.1	pp_jul	2.9					0.32	1981-1992	0.60
	San Martín	Selva	1993-2012	si	-11977.4	tmax_jun	858.5	pp_ene	8.9					0.45	pocos años	
Plátano	Amazonas	Selva	1993-2012	si	25174.7	(-) tmax_jun	1128.2	tmin_feb	441.0					0.50	1971-1992	0.17
	Cajamarca	Selva	1993-2012	no	-58508.5	tmax_jul	3113.5	tmin_jun	2389.6					0.48	1971-1992	0.00
	Cuzco	Selva	1993-2012	no	25951.5	(-) eta2	67.4	(-) def1	53.5	tmax_set	6128.7			0.81	1971-1992	0.02
	Junín	Selva	1993-2012	si	-41477.7	tmin_jul	4034.7	pp_abr	64.4					0.32	1980-1992	0.66
	Loreto	Selva	1993-2012	no	12151.7	pp_abr	8.1	pp_jun	5.2	(-) eta2	6.9			0.62	1980-1992	0.02
Café	Madre Dios	Selva	1993-2012	no	8552.7	pp_oct	15.2	(-) def2	5.7					0.40	pocos años	
	Cerro de Pasco	Selva	1993-2012	no	2376.3	(-) eta3	11.2	(-) def3	7.5	tmin_ago	94.3			0.80	1980-1992	-0.34
	Cuzco	Selva	1993-2012	no	-2372.0	tmax_nov	98.3	pp_mar	1.6	pp_jun	3.7			0.56	1972-1992	0.35
	Junín	Selva	1993-2012	no	-2741.4	tmax_nov	119.3	tmin_ago	79.2	pp_set	6.3			0.69	1972-1992	0.13
	Madre Dios	Selva	1994-2012	no	2668.1	(-) def1	0.2	(-) tmax_jul	63.5					0.41	pocos años	
Cacao	Loreto	Selva	1993-2012	no	1390.8	(-) def1	0.4						0.53	pocos años		
	Madre Dios	Selva	1993-2012	no	678.9	(-) def4	0.1						0.30	pocos años		
	San Martín	Selva	1993-2012	si	-1860.7	tmax_jun	79.7	pp_nov	2.1				0.40	pocos años		
	Ucayali	Selva	1993-2012	no	229.5	pp_feb	1.3						0.26	1980-1992	0.20	
Maíz amarillo duro	Cuzco	Selva	1993-2012	no	-1015.9	exc2	5.0	(-) def4	0.4	tmax_jun	105.2	tmin_abr	39.4	0.84	1971-1992	-0.18
	Huánuco	Selva	1993-2012	si	460.3	(-) def2	2.3	(-) pp_abr	2.9					0.33	1971-1992	0.33
	Ucayali	Selva	1993-2012	no	1766.7	(-) def1	0.5	tmin_jun	40.7					0.44	1980-1992	0.22
	San Martín	Selva	1993-2013	no	4919.9	(-) tmax_may	99.0							0.26	pocos años	
	Cajamarca	Selva	1993-2012	no	720.1	(-) etat	1.7	tmin_jun	103.9					0.61	1979-1992	-0.16
Frijol	Cuzco	Selva	1993-2012	no	1865.2	(-) def4	1.5	(-) pp_mayjun	4.9					0.72	1971-1992	0.31
	Huánuco	Selva	1993-2012	no	-2082.0	tmax_jun	170.7							0.43	1971-1992	-0.10
	Junín	Selva	1993-2012	no	4181.3	(-) tmax_jun	165.3	tmin_abr	57.5	tmin_jun	151.0			0.73	1971-1992	0.02
	Ucayali	Selva	1993-2012	no	-1067.1	(-) def1	1.5	tmin_abr	150.1					0.35	pocos años	

Fuente: Elaboración propia

Leyenda: Nómina y significado de las variables de balance hídrico y climáticas

Parametro	Significado
tmax_feb	temperatura máxima de febrero
tmax_mar	temperatura máxima de marzo
tmax_may	temperatura máxima de mayo
tmax_jun	temperatura máxima de junio
tmax_jul	temperatura máxima de julio
tmax_ago	temperatura máxima de agosto
tmax_set	temperatura máxima de setiembre
tmax_nov	temperatura máxima de noviembre
tmin_feb	temperatura mínima de febrero
tmin_abr	temperatura mínima de abril
tmin_jun	temperatura mínima de junio
tmin_jul	temperatura mínima de julio
tmin_ago	temperatura mínima de agosto
pp_ene	precipitación de enero
pp_feb	precipitación de febrero
Pp_mar	precipitación de marzo
pp_abr	precipitación de abril
pp_may	precipitación de mayo

Parametro	Significado
pp_jun	precipitación de junio
pp_jul	precipitación de julio
pp_set	precipitación de setiembre
pp_oct	precipitación de octubre
pp_nov	precipitación de noviembre
pp_febmar	precipitación de febrero y marzo
pp_mayjun	precipitación de mayo y junio
eta2	evapotranspiración_fase 2
eta3	evapotranspiración_fase 3
eta4	evapotranspiración_fase 4
etat	evapotranspiración_total
exc2_fase 2	exceso_fase 2
exc4	exceso_fase 4
def1	deficiencia_fase 1
def2	deficiencia_fase 2
def3	deficiencia_fase 3
def4	deficiencia_fase 4
def1	deficiencia_total

fase 1 = 10% de cobertura (emergencia)  
 fase 2 = 40 - 60% de cobertura (inicio de floración)  
 fase 3 = 100% de cobertura (inicio de maduración)  
 fase 4 = senescencia y/o cosecha

## **5.2. Impactos del cambio climático en los rendimientos de los cultivos**

Para todos los cultivos evaluados, se presentan tablas resumen de las proyecciones de los rendimientos para los tres modelos de circulación global (CanESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR) para el año 2050 y los dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5) para los casos donde se presenta un nivel de significancia aceptable, los valores promedios de sigma ( $\delta$ ) y los mapas resumen. Se evalúan comparaciones entre escenarios, regiones, tendencias observadas y sus implicancias para la producción agrícola y la seguridad alimentaria en general

### **5.2.1. Cultivo de arroz**

El cultivo de arroz es gran importancia en la alimentación de Perú por ser el que proporciona el 22% de las calorías a nivel nacional, en comparación con el maíz que proporciona 13 % y la papa 9%. (FAOSTAT, 2010). La producción nacional abastece a toda la población, las áreas de siembra están localizadas en la región de la costa y en la región de la selva principalmente, con grandes diferencias agroecológicas, está sujeto a sufrir impactos negativos y positivos en su rendimiento cuando hay variaciones climáticas.

El cultivo de arroz históricamente ha significado un cultivo de alta prioridad en esta región, porque es un alimento básico en los hogares y da fuente de trabajo a los agricultores. En la zona sur se ha logrado registrar un rendimiento de 12,1 t/ha, en la zona de Camaná en el Departamento de Arequipa, considerado uno de los más altos a nivel mundial, el promedio nacional es de 5 t/ha y la superficie total es de 440,000 has (MINAGRI, 2012)

Para este proyecto se ha evaluado la variación del rendimiento del cultivo del arroz en los Departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque, La libertad, Ancash, Arequipa. Por falta de datos de buena calidad no han sido considerados los importantes departamentos productores de arroz de Piura, Lambayeque y Arequipa.

En el mundo actualmente existen preocupaciones sobre dos temas relacionados con el arroz y el medio ambiente. En primer lugar, los cambios ambientales tales como el calentamiento global, la alta radiación infrarroja y otros que han sido sugeridos como factores que afectan adversamente el crecimiento y el rendimiento del arroz. (FAO, 2003) como se ha podido verificar en Loreto, donde la variable predictiva analizada ha sido la temperatura máxima para explicar las tendencias negativas en los rendimientos futuros del arroz.

Los arrozales, especialmente aquellos inundados, por irrigación ubicados en zonas áridas son considerados como escenarios de liberación de grandes cantidades de metano y óxido nitroso, entre otros razones por lo cual, si la tendencia futura es la disminución del rendimiento de este cultivo en la Libertad, a lo mejor se dan las condiciones para que finalmente se ubique este cultivo de acuerdo a sus

requerimientos agroclimáticos de origen tropical en la zona de la selva, donde el agua no es cara, a diferencia de la región árida de la costa peruana donde para irrigar un hectárea de cultivo se necesita más de 20 000 m<sup>3</sup>/ha, situación que a futuro será cada vez más insostenible. Su desarrollo en esta zona se inició e intensificó con la puesta en operación de la construcción de los grandes reservorios de Poechos (1 000 millones de m<sup>3</sup> de almacenamiento) Tinajones (330 mil millones de m<sup>3</sup>) y Gallito ciego (509 mil millones de m<sup>3</sup>) entre la década de los 75 y 95 (Pejeza-MINAGRI, 2015), al inicio el agua fue de bajo costo pero actualmente ya tiene un costo mayor y existe mayor demanda para cultivos de menores requerimientos hídricos y más rentables, que van a comenzar a desplazar a este cultivo de esta zona árida, situación futura que permitirá al país seguir las tendencias de los requerimientos agroclimáticos de los cultivos, permitiendo cambiar la tendencia actual de siembra de grandes superficies de arroz en el desierto, algo atípico en el enfoque de zonificación agroecología, promovida desde hace años por la FAO.

Con respecto a la Tabla 12 y mapa de resultados (Figuras 3a y 3b) de proyecciones del rendimiento futuro para el cultivo de arroz, se muestra una significativa disminución de los rendimientos para los Departamentos de La Libertad y Loreto para los tres modelos y dos escenarios.

Para Tumbes se proyectan incrementos significativos de rendimientos a futuro para dos modelos y dos escenarios. Para el resto de las regiones evaluadas no se encuentran resultados consistentes (no hay significación para todos los modelos y escenarios).

Para satisfacer las demandas de seguridad alimentaria de la población para el arroz a futuro se tendrá que ampliar las áreas de siembra en las zonas de selva que es su hábitat natural, aun cuando las proyecciones de los modelos de circulación global utilizados para los escenarios de emisiones, hayan encontrado tendencias de disminuciones en el rendimiento, sin embargo como el agua de lluvia no tiene costo, entonces los costos de producción no se incrementaran mayormente. Las autoridades deberán planificar a futuro el fortalecimiento de las vías actuales de comunicación tipo carreteras entre la selva, la sierra y la costa y la construcción de nuevas vías alternativas como la de trenes, para que el costo del flete por el transporte del arroz no ocasione tensiones en los precios de este alimento a nivel de hogares en zonas rurales y urbanas de la costa y sierra.

**Tabla 12. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos de arroz con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Cuzco			Huánuco			Junín			La Libertad			Loreto			Tumbes			Ucayali			
			Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	
Arroz	CanESM2	RCP 4.5	123.9	n.s	0.83	-380.5	*	-1.16	-337.2	**	-2.27	-1267.7	**	-3.00	-1078.4	**	-3.28	555.5	**	4.42	-45.0	n.s	-0.80	
		RCP 8.5	155.2	*	1.04	-730.9	**	-2.24	-457.4	**	-3.07	-1567.1	**	-3.71	-1286.2	**	-3.92	392.7	**	3.12	-40.0	n.s	-0.71	
		DS	148.8			326.9			148.9			422.6			328.3			125.7			56.4			
	CNRM-CM5	RCP 4.5	108.0	n.s	0.87	-42.0	n.s	-0.13	490.4	**	3.17	-657.2	**	-2.41	-232.1	*	-1.13	573.1	**	13.05	19.9	n.s	0.23	
		RCP 8.5	103.3	n.s	0.83	-25.5	n.s	-0.08	455.9	**	2.95	-854.1	**	-3.14	-367.8	*	-1.79	559.1	**	12.74	-21.4	n.s	-0.25	
		DS	124.2			317.0			154.7			272.4			205.2			43.9			86.3			
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	94.4	n.s	0.81	55.0	n.s	0.15	-310.5	**	-2.10	-887.1	**	-3.37	-569.7	**	-2.23	-67.7	**	-4.26	-45.5	n.s	-0.74	
		RCP 8.5	152.3	*	1.31	-132.1	n.s	-0.35	-354.7	**	-2.40	-1122.6	**	-4.27	-723.3	**	-2.83	-186.5	**	-11.73	-70.4	*	-1.15	
		DS	116.4			375.6			147.7			263			255.2			15.9			61.4			
	<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>					0.84			-0.38			-0.40			-2.93			-2.22			4.41			-0.44
	<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>					1.06			-0.89			-0.84			-3.70			-2.85			1.38			-0.70

Rdto: rendimiento kg/ha

DS : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estándar

Fuente: Elaboración propia

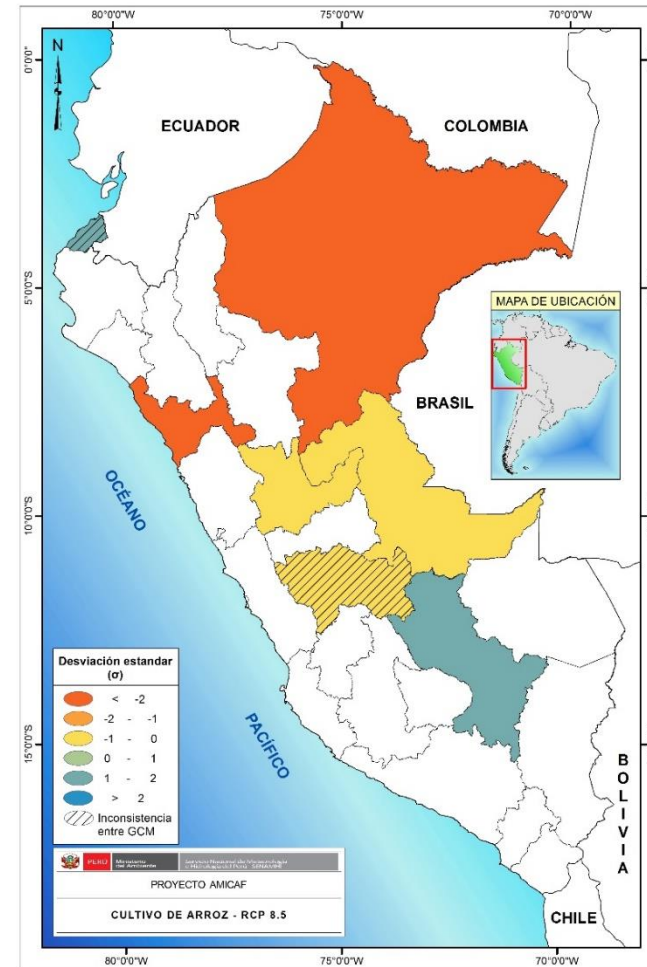
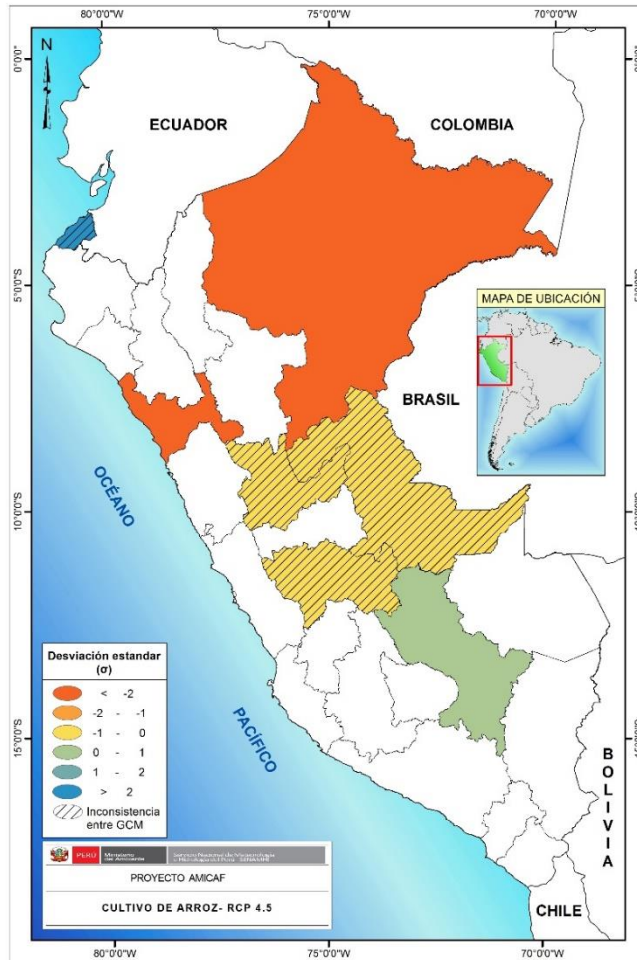


Figura 3a y 3b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de arroz con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2. Cultivo de papa

El Perú es el centro de origen de la papa, sin embargo, representa tan solo el 1,23 % de la producción mundial, constituye una de las principales fuentes de trabajo e ingresos para los mercados de papa fresca y procesada, es además es un alimento básico (proporciona 9% de energía después del arroz y el trigo, es fuente de proteínas, minerales y vitaminas), forma parte del sistema productivo tradicional del pequeño y mediano productor en las zonas altoandinas (DGCA, MINAGRI, 2012).

La papa en el Perú se produce todo el año, principalmente en las regiones de la sierra durante los meses de marzo a junio, y en los otros meses la producción de la costa abastece a la demanda de consumo nacional (DGCA-MINAGRI 2012).

En el año 2012 se alcanzó una extensión de 319 574 ha, siendo el segundo cultivo en superficie sembrada después del arroz (CENAGRO, 2012), se obtuvo un rendimiento medio de 14,3 t/ha, situándose por debajo del promedio mundial equivalente a 18,9 t/ha en el año 2012 (FAOSTAT, 2013). De los departamentos evaluados en los cuales se ha encontrado tendencias de mayor rendimiento promedio son Arequipa (32,7 t/ha) y Lima (23,9 t/ha); Junín, La Libertad y Huánuco también mantienen rendimientos superiores al promedio nacional. Esta diferencia de rendimientos se debe a que el cultivo se realiza en una gran diversidad de sistemas agroecológicos que varían sus características edafoclimáticas (agricultura de secano en la sierra y bajo riego en la costa) y el uso de diferentes tecnologías por encontrarse en diferentes pisos altitudinales desde el nivel del mar hasta los 3900 msnm. Los pequeños productores destinan su producción al autoconsumo y para semilla y otra parte la venden a los mayoristas, o en mercados regionales. Los productores con superficies medianas y grandes (>10 ha) comercializan casi toda su producción.

Con respecto a las proyecciones futuras para la producción de papa con el uso de tres modelos atmosféricos de circulación global y los escenarios climáticos mostrados en la Tabla 13 y las Figuras 4a y 4b, se observa que la respuesta de la papa es compleja por la diversidad de pisos ecológicos (sistemas agroecológicos) donde se siembra este cultivo.

Según los tres modelos utilizados, se proyecta en el futuro una disminución, altamente significativa (\*\*), en el rendimiento del cultivo de la papa, para los departamentos de Lima, Ica y Tacna para los dos escenarios futuros de emisiones y en los tres modelos de circulación global.

Las proyecciones de disminución de rendimientos para Ayacucho, Cusco, Apurímac y La Libertad presentan poca consistencia con los modelos y escenarios.

El único departamento donde se están proyectando incrementos en el rendimiento es Moquegua, pero solo con el modelo CANESM2 en ambos escenarios.

Se puede indicar que predominan las tendencias de disminución del rendimiento de este importante cultivo tanto en la costa como en la sierra.

Sin embargo considerando que el Perú es uno de los centros de mayor diversidad de papa en el mundo, en el futuro se tienen que encontrar variedades que se adapten al cambio climático futuro, el cual según los resultados de los modelos de regionalización utilizados para el proyecto AMICAF, donde se estiman incrementos de temperatura máxima (2 °C a 3°C), de la temperatura mínima (4 °C a 6°C), y mayores precipitaciones (10 % a 20%) a nivel nacional, situación que va a cambiar la conducta de las plagas y enfermedades en este cultivo, reto que se debe planificar utilizando el abundante germoplasma que se dispone (más de 3000 variedades), uso de nuevas tecnologías fitosanitarias (microorganismos eficientes, etc.), para no crear tensión en la seguridad alimentaria y pobreza de las pequeñas familias de zonas rurales



**Tabla 13. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos de papa con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Apurímac		Ayacucho		Cuzco		Huánuco		Ica		La Libertad		Lima		Moquegua		Tacna										
			Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)									
Papa	CanESM2	RCP 4.5	-1750.3	*	-1.48	558.8	n.s	0.86	-436.4	n.s	-0.97	-6128.9	**	-3.05	-4909.9	**	-3.52	-11.0	n.s	-0.02	-5557.7	**	-4.52	208.2	*	1.02	-3909.3	**	-4.69
		RCP 8.5	-674.5	n.s	-0.57	1337.4	**	2.05	-197.9	n.s	-0.44	-4762.2	**	-2.37	-6290.0	**	-4.51	-175.3	n.s	-0.29	-7190.6	**	-5.85	244.4	*	1.20	-4723.7	**	-5.66
		DS	1182.4			652.8			450.7			2006.3			1395.4			613.5			1228.9			204.1			834.4		
	CNRM-CM5	RCP 4.5	-423.9	n.s	-0.56	-391.1	n.s	-0.82	215.4	n.s	0.61	-2119.9	*	-1.60	-2585.0	**	-3.52	-985.6	*	-1.04	-3665.4	**	-4.28	137.3	n.s	0.53	-2487.8	**	-2.56
		RCP 8.5	-762.4	*	-1.00	-414.0	n.s	-0.87	-21.7	n.s	-0.06	-2548.0	*	-1.92	-3041.5	**	-4.14	-829.7	n.s	-0.87	-4324.2	**	-5.05	194.6	n.s	0.76	-2925.2	**	-3.01
		DS	762.1			477.7			353.7			1327.4			734.2			948.9			855.9			257.5			970.7		
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	-450.1	n.s	-0.43	-148.5	n.s	-0.22	-74.5	n.s	-0.14	-2321.4	**	-2.19	-3853.6	**	-3.36	-641.9	n.s	-0.74	-4625.6	**	-3.78	187.0	n.s	0.89	-2891.7	**	-2.88
		RCP 8.5	-510.9	n.s	-0.49	93.2	n.s	0.14	-182.4	n.s	-0.34	-3149.6	**	-2.98	-4750.7	**	-4.14	-462.1	n.s	-0.54	-6230.5	**	-5.09	267.0	*	1.27	-3874.0	**	-3.86
		DS	1041.1			688.1			535.0			1058.3			1148.6			862.1			1224.1			211.0			1004.2		
			<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>		-0.82			<b>-0.06</b>			<b>-0.17</b>			-2.28			-3.46			-0.60			-4.19			0.81			-3.38
			<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>		-0.69			0.44			-0.28			-2.42			-4.26			-0.57			-5.33			1.07			-4.18

Rdto: rendimiento kg/ha

DS : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estandar

Fuente: Elaboración propia

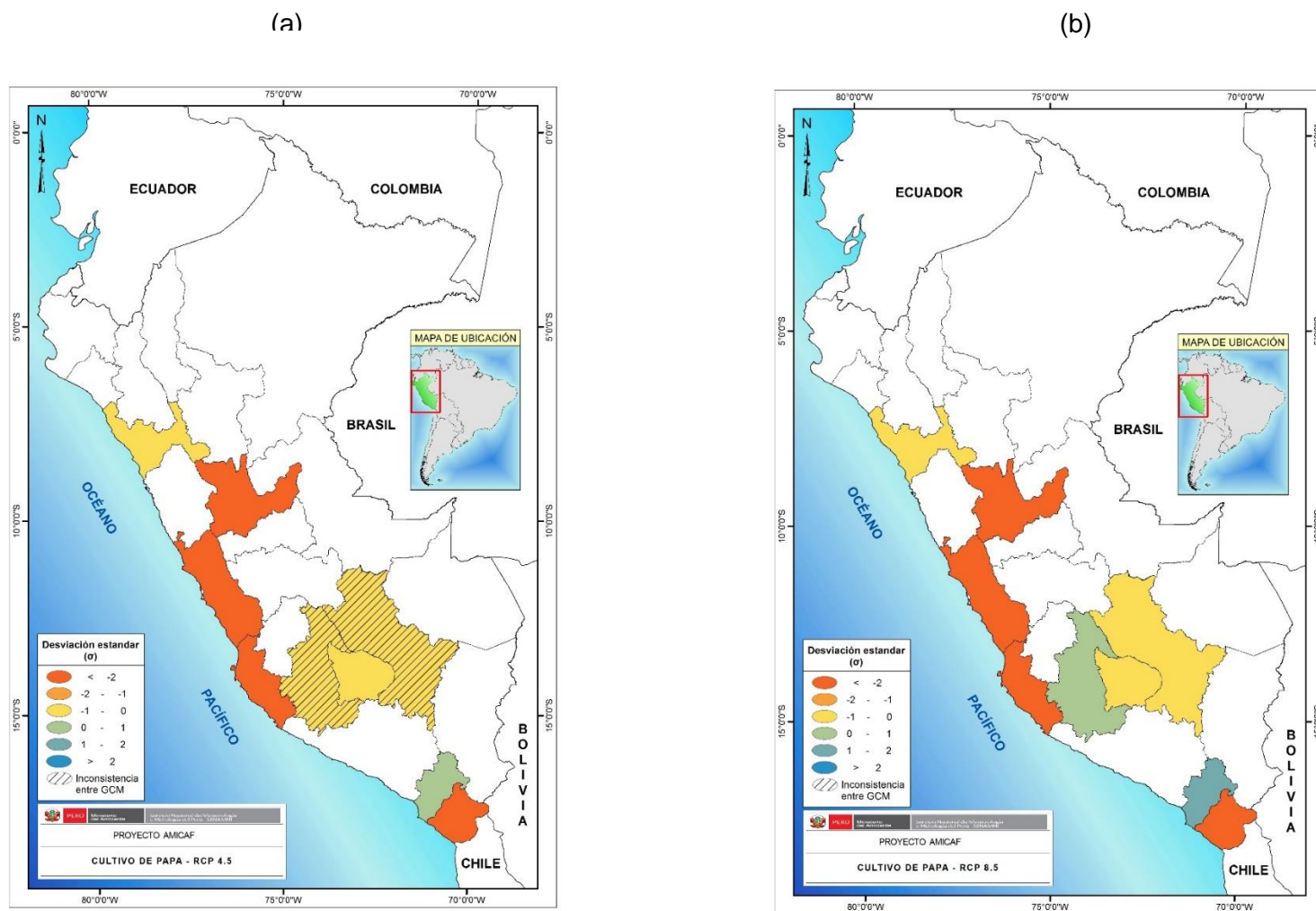


Figura 4a y 4b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de papa con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3. Cultivo de maíz amarillo duro

La oferta nacional de maíz amarillo duro en el año 2011 fue de 3 156 554 toneladas, de las cuales las importaciones fueron aproximadamente 1 894 572 toneladas, representando un 60 % y la producción nacional de 1 261 982 toneladas, la cual representó un 40 % de oferta nacional de este producto. El consumo de este producto es principalmente como un insumo para la alimentación animal (pollos, cerdos) (DGCA, MINAGRI, 2012).

En la campaña agrícola 2011-2012, se sembraron 310 592 ha, superando la superficie sembrada en las seis campañas anteriores; los departamentos que concentran la mayor superficie sembrada son San Martín con un (19,0%), Loreto (12,6%), La Libertad (10,9%), Lima (9,1%), Lambayeque (8,7%), Cajamarca (6,7%) y Piura (5,7%), estas regiones concentran el 72,8% de toda la superficie sembrada del país. Sin embargo por estar en zonas agroecológicas tan diferentes (suelo-clima-relieve) en la costa, sierra y selva, con el uso de diferentes tecnologías (híbridos, agroquímicos, riego, maquinaria) los rendimientos difieren marcadamente según los departamentos. El rendimiento promedio nacional de maíz amarillo duro en el año 2011 fue de 4,5 t/ha. Son tres las regiones con mayor rendimiento promedio en el año 2011, Lima (8,9 t/ha), La Libertad (8,9 t/ha) e Ica (8,8 t/ha); otras dos regiones mantienen rendimientos superiores al promedio nacional, como son Lambayeque (6,6 t/ha) y Ancash (5,1 t/ha) (DGCA, MINAGRI, 2012).

Con respecto a las proyecciones del rendimiento a futuro, en la Tabla 14 y los mapas (Figuras 5a y 5b) se muestran los resultados para los tres modelos y los dos escenarios de emisiones.

Se proyecta una disminución significativa en el rendimiento de maíz amarillo duro a futuro en Ancash (Costa) y en San Martín, para los tres modelos y ambos escenarios de emisión.

Se proyectan incrementos significativos en los rendimientos de maíz amarillo duro en Ucayali, para los tres modelos y los dos escenarios de emisión.

Los departamentos de Cusco y Huánuco no presentan consistencia en la proyección y en el mapa también muestran zonas sombreadas.

Solamente se ha podido identificar tendencias significativas de la variación del rendimiento del cultivo de maíz amarillo duro en los Departamentos de Ancash (costa) y en la Selva (San Martín, Ucayali)

En la selva baja se proyectan incrementos en el rendimiento en Ucayali donde los suelos son generalmente de mejor calidad, aluviales, con mayor retención de humedad, por lo que en este caso el cambio climático tiene un impacto positivo. El INIA podría investigar la creación de híbridos para este territorio como lo ha hecho para las zonas donde se utilizan altos niveles de tecnología.

En el departamento de San Martín (región de la selva) se está proyectando una disminución del rendimiento de manera altamente significativa para los dos escenarios de emisiones debido a que sus suelos de laderas con poca fertilidad, poco profundos y con escasa capacidad de retención de humedad, generalmente son sembrados por pequeños productores, con bajos costos de producción. Estos agricultores no tienen acceso a riego y suelen sufrir graves pérdidas por la falta de agua y por daños causados por enfermedades fungosas como la pudrición de mazorca, las mismas que originan a las micotoxinas, motivo por el cual las instituciones de investigación como el INIA, las Universidades deben desarrollar propuestas para minimizar las pérdidas en el rendimiento de este cultivo.

En el caso de Ancash en la región de la costa se proyecta una disminución del rendimiento de maíz amarillo duro en los dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, posiblemente por el efecto combinado del incremento de la temperatura, que va a incrementar los problemas de sanidad vegetal, cuyo reto tiene que comenzar a investigarse, en nuestro país todavía no existen mesas de trabajo para investigar los impactos del cambio climático en la dinámica poblacional de las plagas y sus consecuencias en el rendimiento y calidad.

**Tabla 14. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos de maíz amarillo duro con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Ancash			Cuzco			Huánuco			Ucayali			San Martín			
			Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	
Maíz amarillo duro	CanESM2	RCP 4.5	-331.7	**	-2.71	169.6	**	5.11	-24.2	n.s	-0.21	108.8	**	3.22	-295.9	**	-3.64	
		RCP 8.5	-418.9	**	-3.43	59.6	*	1.79	-37.8	n.s	-0.32	123.7	**	3.65	-349.6	**	-4.30	
		SD	122.3			33.2			117.2			33.8			81.3			
	CNRM-CM5	RCP 4.5	-159.0	*	-1.66	45.5	*	1.62	-1.8	n.s	-0.01	55.3	*	1.32	-114.1	**	-2.02	
		RCP 8.5	-185.5	*	-1.93	25.4	n.s	0.90	-33.5	n.s	-0.27	45.5	*	1.09	-160.3	**	-2.84	
		SD	95.9			28.2			126.3			41.8			56.5			
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	-219.3	**	-2.07	-21.6	n.s	-0.31	-5.6	n.s	-0.06	69.0	**	2.13	-180.4	**	-3.19	
		RCP 8.5	-252.6	**	-2.39	-15.4	n.s	-0.22	-33.1	n.s	-0.34	81.8	**	2.53	-224.3	**	-3.97	
		SD	105.7			69.7			98.1			32.3			56.5			
	<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>					-2.15			2.14			-0.09			2.22			-2.95
	<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>					-2.58			0.83			-0.31			2.42			-3.70

Rdto: rendimiento kg/ha

SD : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estandar

Fuente: Elaboración propia

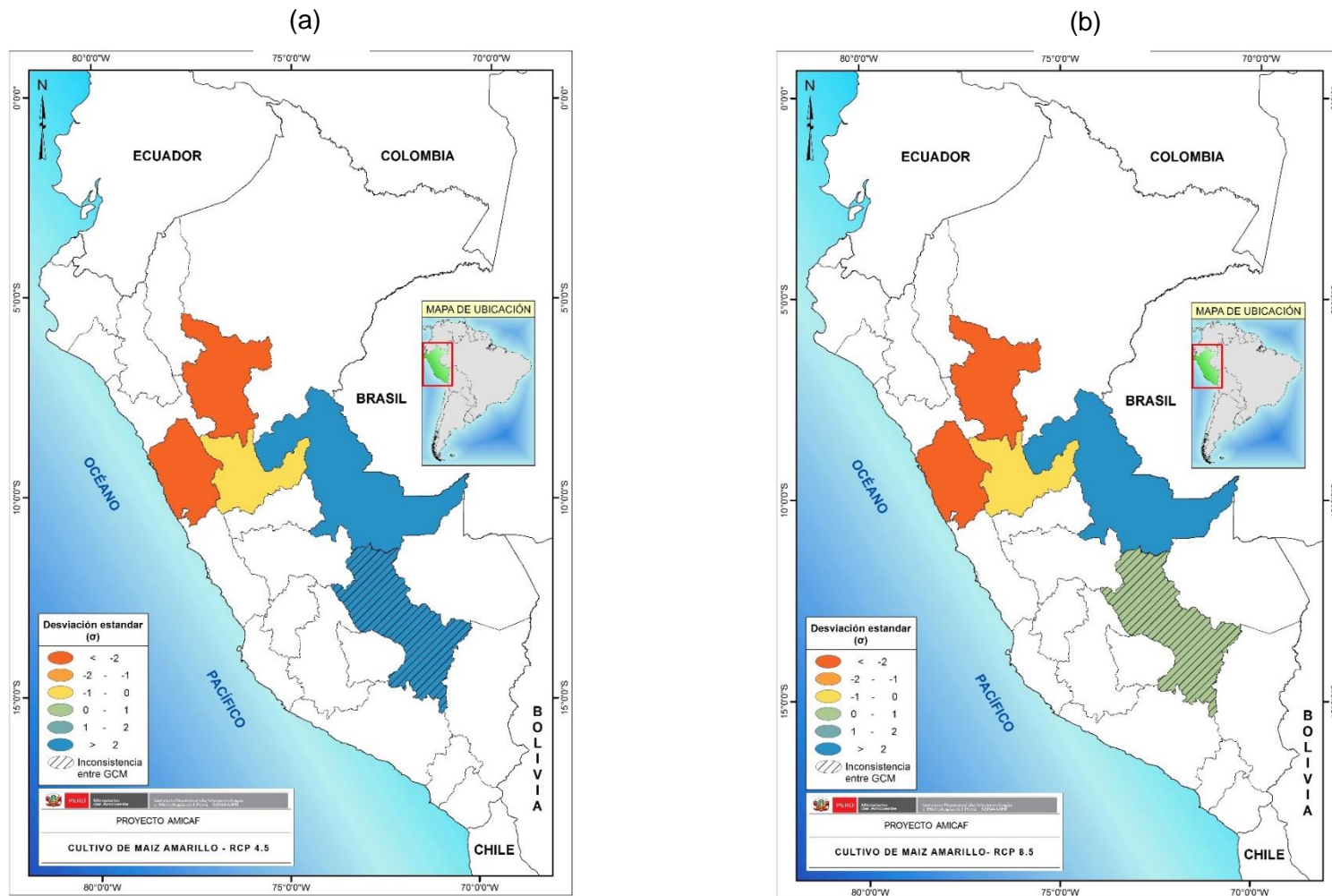


Figura 5a y 5b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de maíz amarillo duro con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia.

#### 5.2.4. Cultivo de maíz amiláceo

La campaña agrícola 2011-2012 se sembraron 255,452 hectáreas, siendo ésta la mayor superficie sembrada en las últimas siete campañas agrícolas de maíz amiláceo. El rendimiento promedio de maíz amiláceo por hectárea a julio del 2012 es de 1,3 t/ha, de los departamentos evaluados que alcanzaron significancia en la variación del rendimiento fueron Tacna con el de mayor rendimiento promedio de 2,99 t/ha y La Libertad con 1,28 t/ha, correspondiendo a Ayacucho el de menor rendimiento promedio con 0,85 t/ha. (DGCA- MINAGRI, 2012)

En base al análisis de la información sobre las proyecciones en el rendimiento de maíz amiláceo en el futuro (Tabla 15, Figuras 6a y 6b) se puede observar que solo se ha logrado respuestas significativas en 2 departamentos que producen este cultivo, de manera diferente, por estar en condiciones edafoclimáticas y tecnológicas propias, de la siguiente manera:

Se proyecta una disminución en el rendimiento del cultivo del maíz amiláceo, altamente significativa (\*\*) solo en el departamento de Ayacucho, con los tres modelos de circulación global y en los dos escenarios de emisiones; en el caso del departamento de la Libertad, la proyección no es consistente.

Existe la proyección de incremento del rendimiento en el departamento de Tacna para los dos escenarios futuros de emisiones de gases de efecto invernadero y para los tres modelos de circulación global.

El maíz amiláceo es un alimento eminentemente energético propio de la región andina, dinamizador de la economía y seguridad alimentaria local, regional y nacional.

Sin embargo, solo se han logrado proyectar los rendimientos futuros en dos departamentos y con resultados contrastantes. En el departamento de Ayacucho la proyección es de disminución de los rendimientos y en Tacna de incremento. En el caso de Ayacucho esta disminución del rendimiento iría acompañada de desempleo, más pobreza porque este cultivo alimenticio también genera ingresos a las familias alto andinas, donde se siembra mayormente. Los tomadores de decisiones tienen que saber aprovechar esta información para organizar proyectos de investigación y de ciencia aplicada para minimizar los impactos en este caso.

Es posible que en el caso de Ayacucho donde mayormente el cultivo es conducido en seco, el efecto combinado de los incrementos en temperatura (máxima y mínima) y de precipitaciones generaría condiciones favorables para un mayor ataque de plagas y enfermedades y disminución del rendimiento. Situación que también se constituye en un reto para los planificadores e investigadores agrarios a fin de generar estrategias de prevención y control (Sistemas de Alerta Temprana Sanitaria y buenas prácticas agrícolas).

**Tabla 15. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos de maíz amiláceo con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Ayacucho			La Libertad			Tacna		
			Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)
Maíz amiláceo	CanESM2	RCP 4.5	-548.9	**	-6.30	-6.0	n.s	-0.12	255.2	**	4.95
		RCP 8.5	-663.7	**	-7.62	10.9	n.s	0.22	328.7	**	6.37
		SD	87.1			50.7			51.6		
	CNRM-CM5	RCP 4.5	-214.5	**	-3.51	-18.0	n.s	-0.47	171.9	**	3.47
		RCP 8.5	-289.6	**	-4.74	-25.1	n.s	-0.66	203.1	**	4.10
		SD	61.1			38.1			49.5		
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	-294.5	**	-4.22	21.4	n.s	0.52	222.4	**	4.24
		RCP 8.5	-433.4	**	-6.21	54.5	*	1.31	287.4	**	5.48
		SD	69.8			41.5			52.4		
	<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>					-4.68		-0.03			4.22
	<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>					-6.19		0.29			5.32

Rdto: rendimiento kg/ha

SD : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estandar

Fuente: Elaboración propia



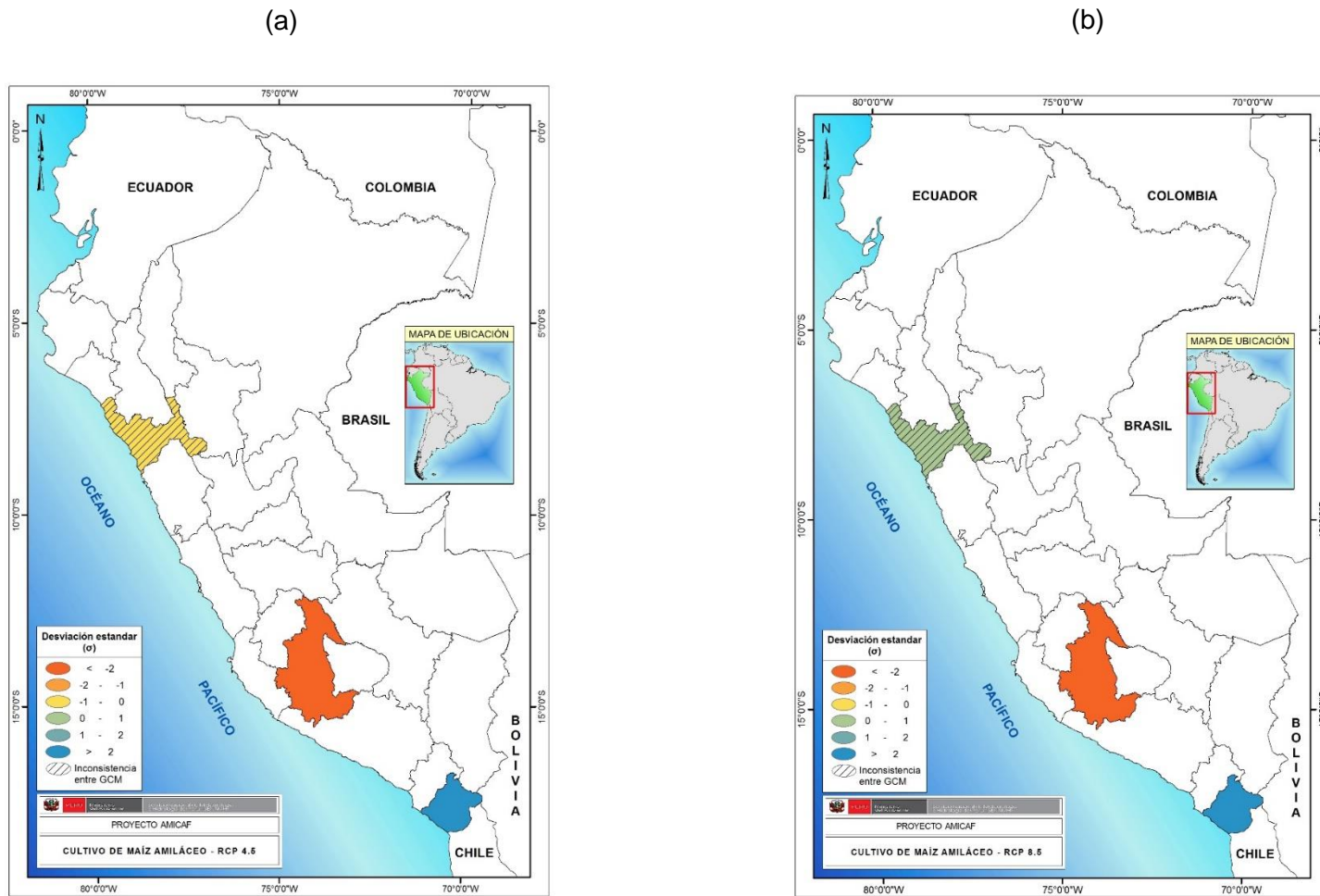


Figura 6a y 6b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de maíz amiláceo con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia

### **5.2.5. Cultivo de haba**

La superficie nacional sembrada de haba para la campaña 2011-2012 fue de 72 262 ha para grano seco, mayormente en los departamentos de Cusco (12 925 ha), Puno (10 164 ha), Ayacucho (8511 ha), Huancavelica (8441 ha), Cajamarca (5229 ha), La Libertad con 5215 ha) Apurímac (5102 ha), Junín 4360 ha, Pasco (1030 ha). DGCA-MINAGRI (2012)

Es un cultivo de origen europeo, pero muy bien adaptado a la zona altoandina, donde existen una alta biodiversidad, como por ejemplo el haba gigante de Puno con la cual existen proyectos de exportación a países como Estados Unidos, Canadá, Francia, Grecia desde el año 2009, a través de los proyectos de cadenas productivas del haba promovidas por la DGCA-MINAGRI.

En base al análisis de la información sobre las tendencias en el rendimiento del cultivo de haba en el futuro (2050) mostrados en la Tabla 16 y Figuras 7a y 7b, se proyectan incrementos significativos en el rendimiento del cultivo de haba en Cerro de Pasco para los tres modelos y ambos escenarios de emisión, estos incrementos podrían estar asociados a la mejora de las condiciones de temperatura y humedad que existirán en el escenario futuro, ya que actualmente es una zona más fría y con mayores riesgos a sequías y heladas; para el departamento de Junín las proyecciones de incremento no son consistentes.

Se proyecta una disminución consistente en el rendimiento del cultivo de haba en el departamento de Ayacucho, aspecto que es preocupante porque este cultivo es parte de la dieta básica y genera ingresos para los pequeños productores que se dedican a este cultivo. Los investigadores agrarios tienen mayores retos en el futuro, porque van a existir impactos positivos y negativos sobre los rendimientos de este cultivo de manera diferenciada según las diferentes zonas agroecológicas donde se siembre.

**Tabla 16. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos de haba con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Ayacucho		Cerro de Pasco			Junín			
			Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)			
Haba	CanESM2	RCP 4.5	-243.1	**	-4.56	311.5	**	3.32	87.6	*	1.17
		RCP 8.5	-322.1	**	-6.04	382.4	**	4.08	93.9	*	1.25
		SD	53.3			93.8			75.1		
	CNRM-CM5	RCP 4.5	-153.7	**	-4.44	148.1	*	1.57	37.4	n.s	0.41
		RCP 8.5	-191.7	**	-5.53	253.8	**	2.69	29.1	n.s	0.32
		SD	34.7			94.2			91.3		
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	-201.4	**	-3.89	238.0	**	2.30	40.0	n.s	0.45
		RCP 8.5	-278.0	**	-5.37	292.4	**	2.82	114.1	*	1.29
		SD	51.7			103.5			88.7		
	<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>					-4.30		2.40			0.68
	<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>					-5.65		3.20			0.95

Rdto: rendimiento kg/ha

SD : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estandar

Fuente: Elaboración propia

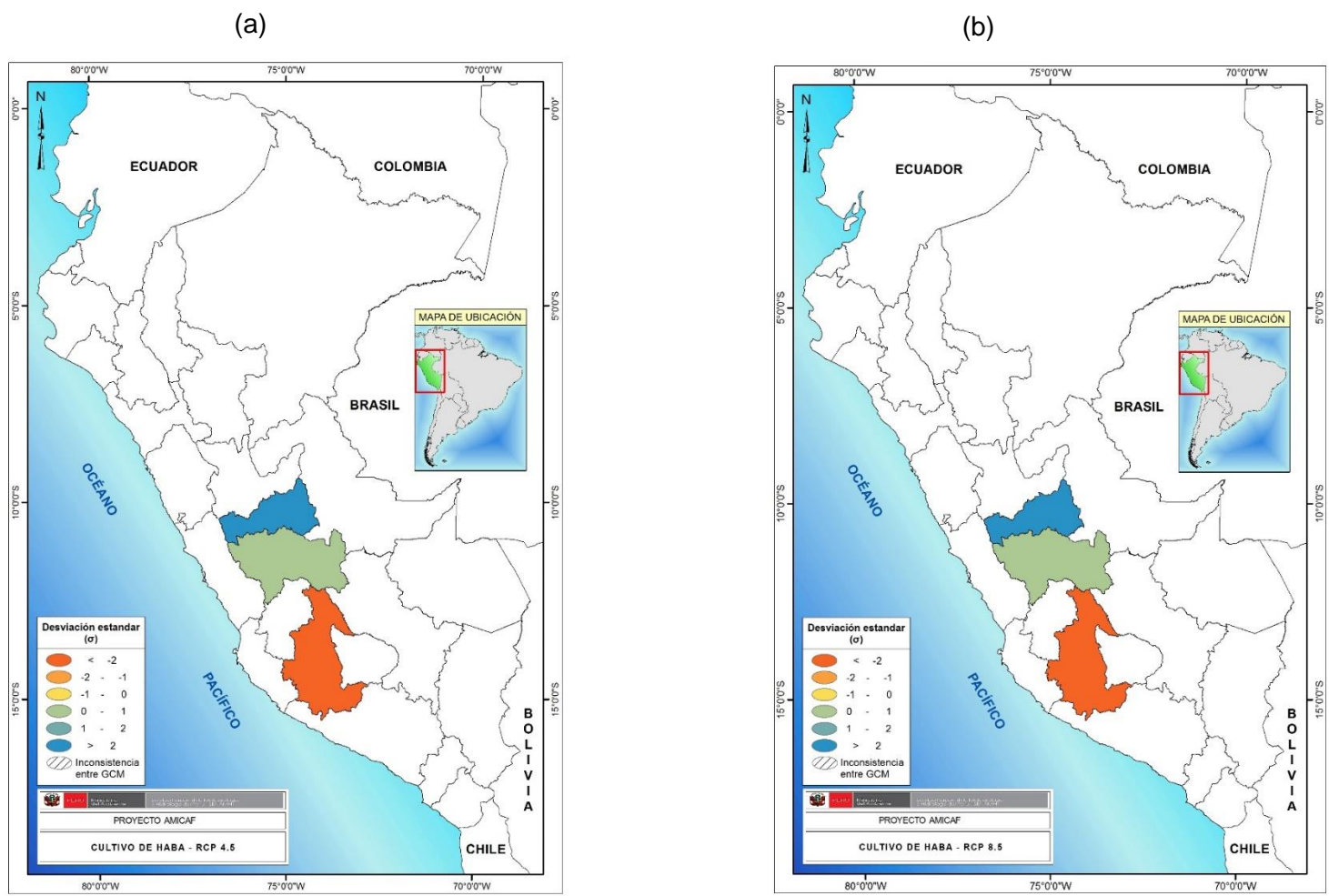


Figura 7a y 7b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de haba con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia

### 5.2.6. Cultivo de camote

La superficie nacional de este cultivo se ubica mayormente en la región de la costa con un total de 17 340 ha, siendo Lima el departamento con mayor superficie (7 609 ha), Lambayeque (3 544 ha), Cajamarca (1 398 ha). INEI (2013).

En base al análisis de la información sobre las tendencias en el rendimiento del cultivo de camote en el futuro (2050) presentados en la Tabla 17 y las Figuras 8a y 8b, se observa la proyección de una disminución significativa en el rendimiento de camote en el departamento de Piura solo con el modelo CanESM2 para los dos escenarios, se debe tomar esta tendencia como poco confiable.

En este caso es importante indicar que en la zona del Bajo Piura existe material genético adaptado a las condiciones de calor y salinidad, a partir del cual se podrían ampliar las líneas de investigación futuras para la adaptación correspondientes en coordinación con el INIA y las Universidades de la zona.

**Tabla 17. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos de camote con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Piura			
			Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	
Camote	CanESM2	RCP 4.5	-4791.7	**	-2.59	
		RCP 8.5	-8127.6	**	-4.40	
		SD	1847.3			
	CNRM-CM5	RCP 4.5	-464.0	n.s	-0.08	
		RCP 8.5	-1334.4	n.s	-0.24	
		SD	5469.3			
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	-2764.3	n.s	-0.50	
		RCP 8.5	-3815.0	n.s	-0.69	
		SD	5509.7			
	<hr/>					
	Promedio 4.5 ( $\delta$ )					-1.06
	Promedio 8.5 ( $\delta$ )					-1.78

Rdto: rendimiento kg/ha

SD : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estandar

Fuente: Elaboración propia

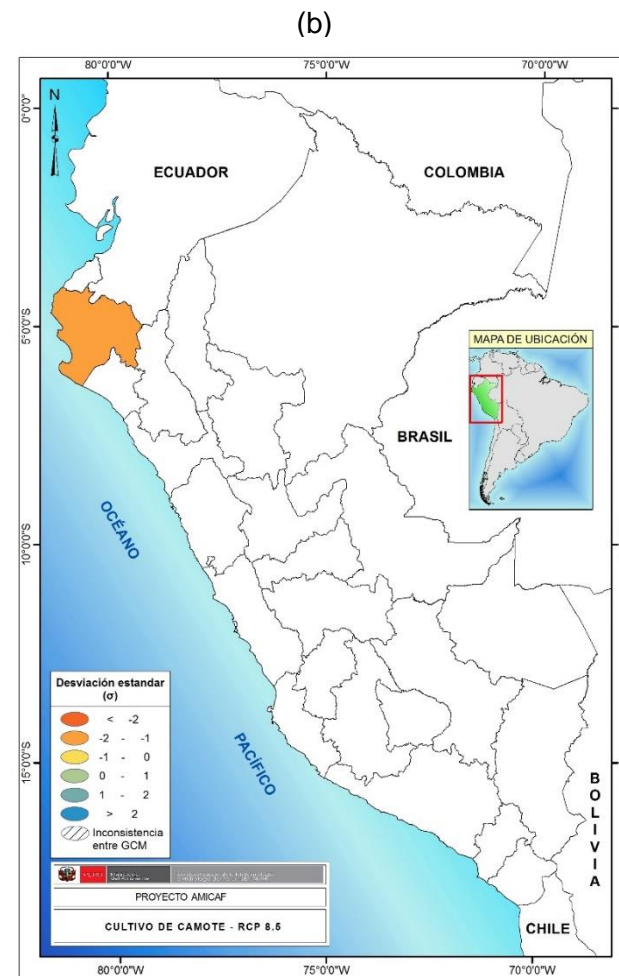
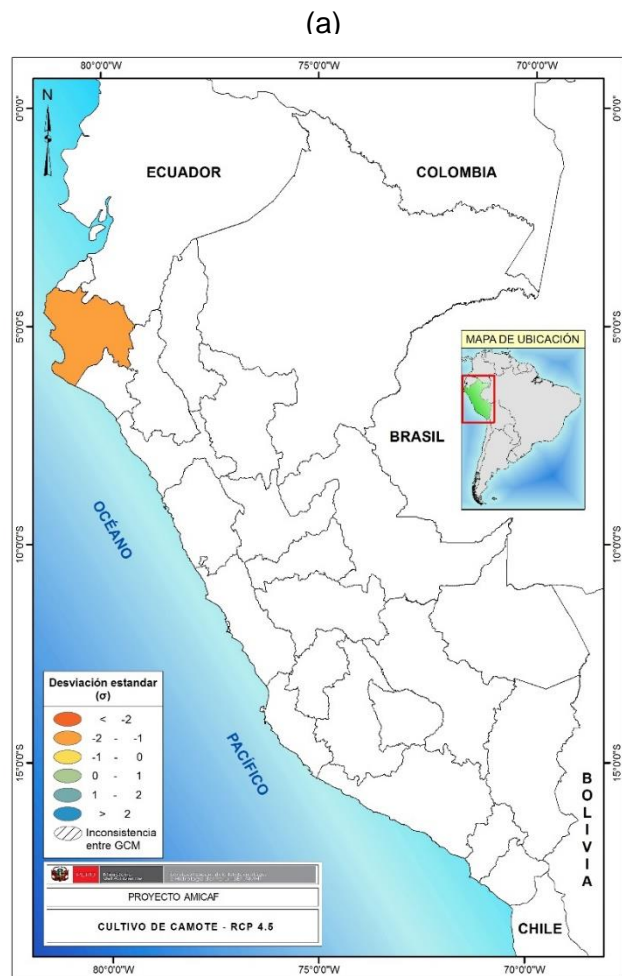


Figura 8a y 8b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de camote con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia

### 5.2.7. Cultivo de cebolla

A nivel nacional se siembra cebolla en una extensión de 19 226 ha, siendo La principal zona productora de cebolla el departamento de Arequipa con una extensión de 8 989 has, Ica (2004 ha), la libertad con 1171 ha, Ancash (686 ha) y Lima (683 ha), también se siembra regularmente en otros departamentos en menor extensión y principalmente para el mercado local. Es utilizada en varios platos como ingrediente imprescindible por su sabor especial, contiene antocianidinas como la cianidina y flavonoides, es recomendado contra el reumatismo, ayuda a prevenir la osteoporosis, gracias a su alto contenido de flavonoide, quercetina, antioxidante de la familia del polifenol, cuya actividad es superior a la de las isoflavinas. (DGCA-MINAGRI, 2012)

En base al análisis de la información sobre las tendencias en el rendimiento del cultivo de cebolla en el futuro (2050), mostrados en la Tabla 18 y Figuras 9a y 9b, se puede observar que se ha logrado respuestas significativas solo en el departamento de Arequipa, principal zona de producción de este cultivo.

Existe la proyección de una disminución significativa del rendimiento del cultivo de la cebolla, para los dos escenarios de emisiones y para los tres modelos de circulación global utilizados.

Debido al incremento de la temperatura mínima (4 °C a 6°C) y de la máxima (1 °C a 2°C) y de las lluvias entre 10 % y 20 % proyectados para el año 2050, la cebolla puede tener desajustes fisiológicos y problemas fitosanitarios mayores a los que se presentan ahora, por lo cual las instituciones dedicadas a la investigación como el INIA y las Universidades en el futuro deberán tener un mayor liderazgo para investigar nuevas variedades y estrategias tecnologías de manejo integrado de plagas, con el uso de sistemas de alerta tempranas fitosanitarias operativas en las cuales el SENAMHI, cumplirá un rol de gran trascendencia.

**Tabla 18. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos de cebolla con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5).**

Cultivos	GCM	Escenarios	Arequipa			
			Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	
Cebolla	CanESM2	RCP 4.5	-18437.4	**	-3.98	
		RCP 8.5	-23610.3	**	-5.10	
		SD	4627.6			
	CNRM-CM5	RCP 4.5	-9489.9	**	-3.88	
		RCP 8.5	-11562.5	**	-4.73	
		SD	2444.2			
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	-13492.9	**	-4.16	
		RCP 8.5	-17582.1	**	-5.42	
		SD	3246.2			
	<hr/>					
	<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>					-4.01
	<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>					-5.08

Rdto: rendimiento kg/ha

SD : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estandar

Fuente: Elaboración propia



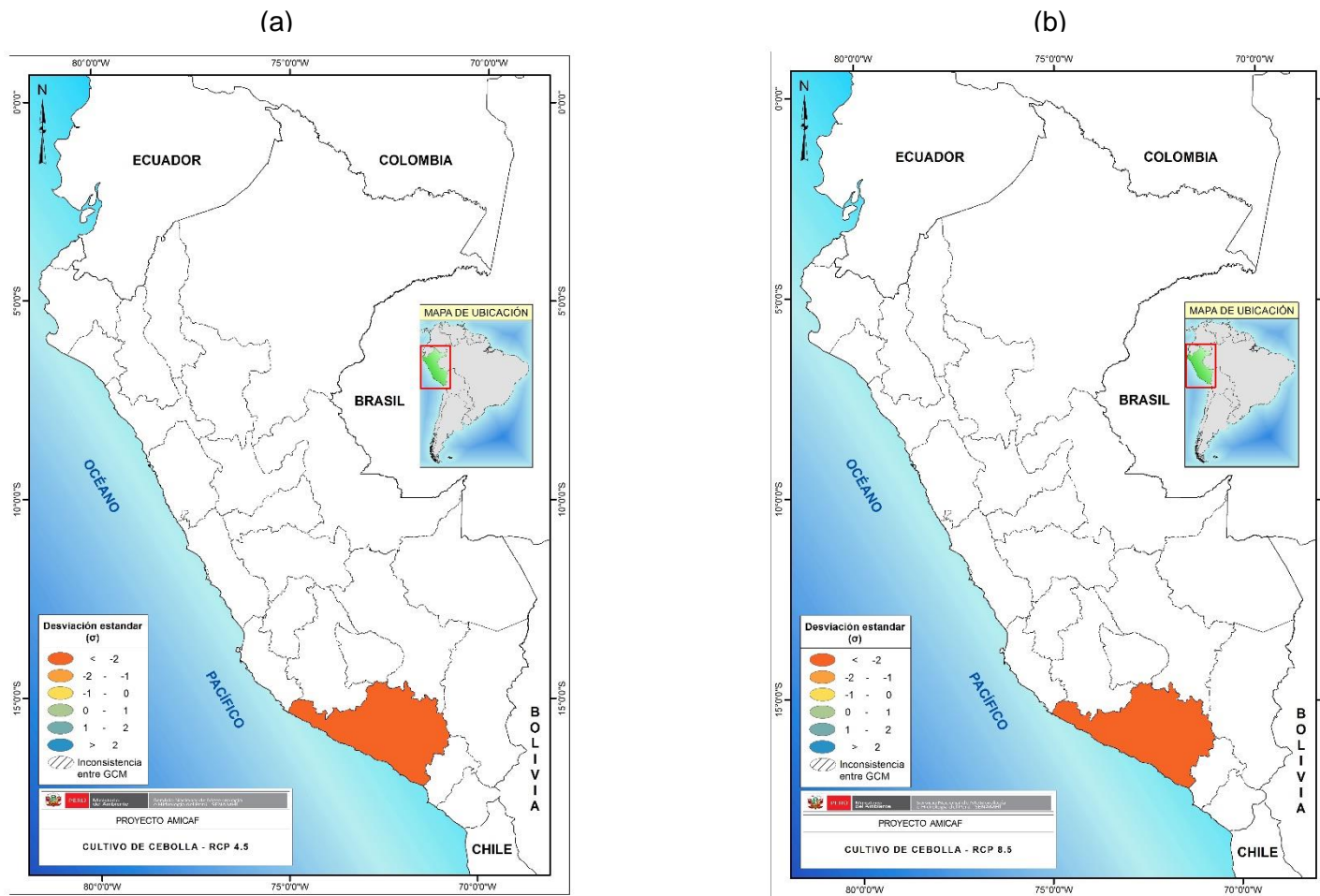


Figura 9a y 9b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de cebolla con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia

### 5.2.8. Cultivo de tomate

El rendimiento promedio nacional del cultivo de tomate se mantiene en alrededor de 30 t/ha, pero varía mucho entre regiones: en Ica, por ejemplo, se alcanzan rendimientos de 80 t/ha (Ica y Lima concentran cerca del 70% de la producción de tomate). La superficie sembrada a nivel nacional alcanzó una superficie de 5 764 ha, ubicadas principalmente en el departamento de Ica (1 375 ha) y Lima (1 252 ha), Ancash (326 ha). En el caso de Ica el cultivo se realiza para la exportación, también se siembra en otros departamentos, principalmente de la costa para atender al mercado local (INEI, 2013).

En la actualidad, el tomate es la hortaliza de mayor consumo en el mundo, ya que su producción total al año alcanza los 130 millones de toneladas. La demanda ha ido aumentando significativamente por el creciente reconocimiento de su valor nutritivo, representado por el licopeno, entre otros (MINAGRI, 2012).

Para el caso del cultivo del tomate industrial, el riego por goteo en la costa ha permitido el éxito del cultivo a escala comercial.

En base al análisis de la información sobre las tendencias en el rendimiento del cultivo de tomate en el futuro (2050) presentados en la Tabla 19 y figuras 10a y 10b, se puede observar que solo se ha logrado respuestas significativas en dos departamentos (Ancash y Lima).

Para ambos casos se proyecta una disminución significativa en el rendimiento futuro del cultivo de tomate en los dos escenarios de emisiones y para los tres modelos de circulación trabajados.

Si consideramos las proyecciones futuras del incremento de las temperaturas y precipitación se puede indicar que la causa principal de esta disminución del rendimiento en el cultivo del tomate se debería al incremento de problemas fitosanitarios generados por esta variabilidad climática, por lo que se recomienda que se organicen programas de alerta temprana sanitaria para este cultivo, manejo integrado de plagas y enfermedades y buenas prácticas agrícolas, mediante proyectos de investigación participativos entre universidades, INIA, DRA, productores y empresas agrícolas.

**Tabla 19. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos de tomate con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Ancash			Lima		
			Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)
Tomate	CanESM2	RCP 4.5	-4649.9	**	-3.98	-3201.7	**	-2.23
		RCP 8.5	-5894.5	**	-5.04	-5872.1	**	-4.09
		SD	1168.4			1436.5		
	CNRM-CM5	RCP 4.5	-2677.2	**	-3.20	-5628.4	**	-4.33
		RCP 8.5	-3334.8	**	-3.99	-7574.5	**	-5.82
		SD	836.7			1301.2		
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	-3692.9	**	-4.07	-6142.9	**	-4.32
		RCP 8.5	-4614.6	**	-5.09	-7378.2	**	-5.19
		SD	907.2			1422.8		
	<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>					-3.75		-3.62
	<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>					-4.71		-5.03

Rdto: rendimiento kg/ha

SD : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estándar

Fuente: Elaboración propia

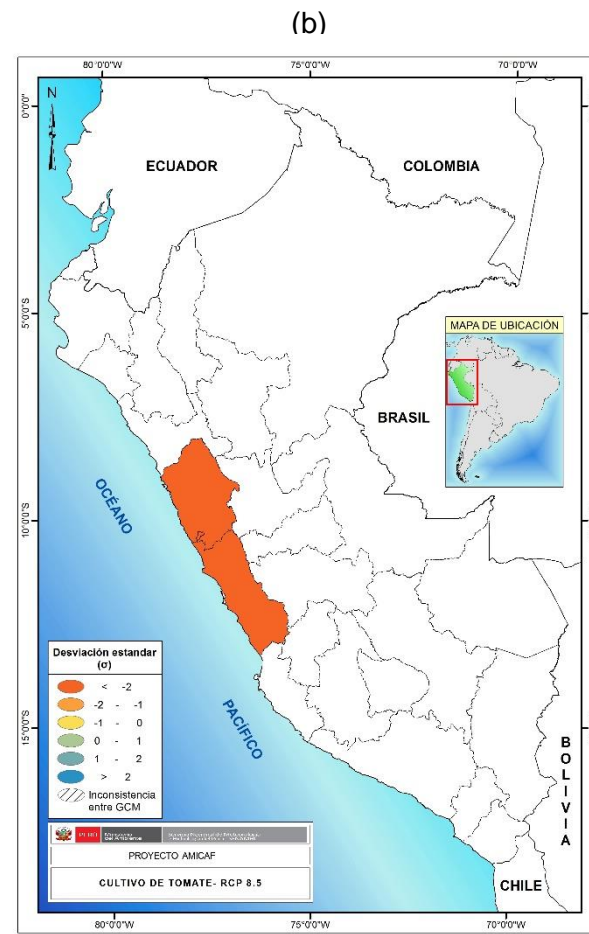
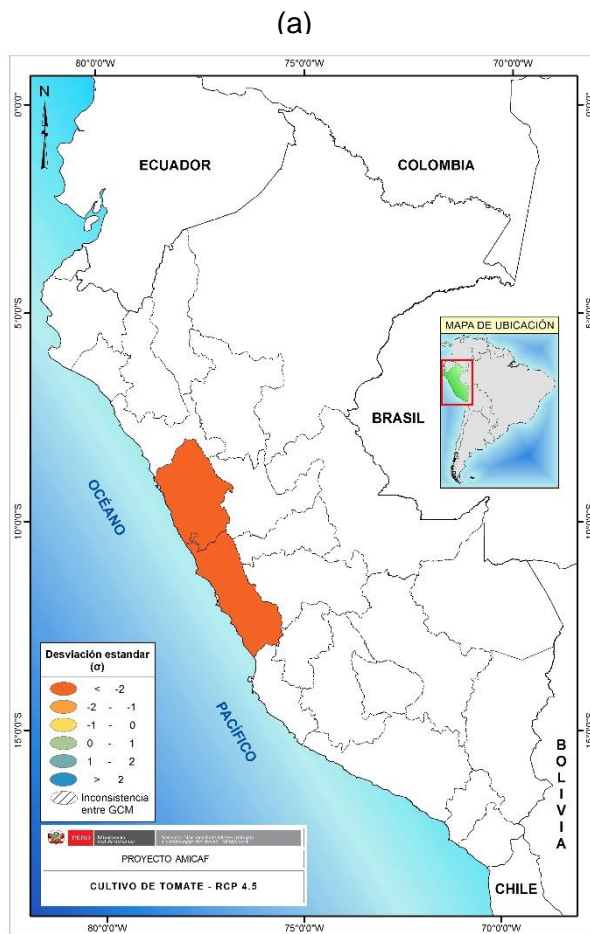


Figura 10a y 10b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de tomate con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia

### 5.2.9. Cultivo de trigo

El Trigo, representa uno de los principales alimentos básicos para las familias peruanas. Es insumo para la producción de harinas, destinadas a la elaboración de pan, fideos, galletas, entre otros y es el tercer cereal más producido después del maíz y el arroz. A nivel mundial, el trigo es la principal fuente de proteína vegetal en la alimentación humana. DGCA-MINAGRI, 2012.

El trigo forma parte del consumo básico de la población peruana, pero la producción es deficitaria. En la campaña agrícola 2011-2012, la superficie sembrada nacional de trigo fue de 152 579 hectáreas. El 97% de la superficie cultivada se encuentra ubicada en la sierra (secano) y el 3% en la costa. La producción del cereal se desarrolla mayormente entre los 2000 y 4000 msnm, en suelos pedregosos y superficiales, en laderas donde no prosperan otros cultivos. En estas zonas la población campesina aprovecha este grano para su alimentación y su economía (DGCA-MINAGRI, 2012).

El rendimiento promedio nacional en el año 2012 fue de 1,489 t/ha, el departamento que tiene el mejor rendimiento promedio es Arequipa con 6,714 t/ha, seguido de Junín con 2,257 t/ha, La Libertad con 1,888 t/ ha, Apurímac con 1,583 t/ha. Estos departamentos mantienen rendimientos por encima del promedio nacional. Para satisfacer la demanda de este importante alimento se tiene que importar “trigo duro” (para pastas), en el año 2012 fue de 174 mil toneladas de las cuales Canadá participó con el 90,0%, seguido de EE.UU con el 7,0% y México con el 3,0% respectivamente, y la importación de trigo para harina fue de 1 259,3 miles de toneladas lo cual representa un crecimiento del 460,2% en el volumen importado con respecto al año 2006. Casi la totalidad de la oferta nacional proveniente de las importaciones de trigo 842 %, la producción nacional solo represento para este año 15,8% (DGCA-MINAGRI, 2012).

En base al análisis de la información sobre las tendencias en el rendimiento del cultivo de trigo en el futuro (2050) mostrado en la Tabla 20 y las Figuras 11a y 11b, se puede observar que para ninguno de los departamentos evaluados se encuentran proyecciones significativas para los tres modelos

Existen proyecciones significativas de disminución en el rendimiento del cultivo de trigo en dos modelos (CAN ESM2 y MPI-ESM-MR) y ambos escenarios de emisión para los departamentos de Arequipa y Junín; en Cajamarca solo para el modelo CRNM-CM5.

En el resto de los departamentos: Apurímac, Huancavelica, La Libertad y Puno, los resultados no se muestran consistentes o significativos.

De acuerdo a estas tendencias la situación futura de nuestro país en relación al abastecimiento de trigo creara situaciones de tensión en la seguridad alimentaria de la población, por lo que se debería seguir incentivando la elaboración de pan con otras harinas como la de camote, quinua, etc.

Las consecuencias del cambio climático por el incremento de temperatura mínima, máxima y precipitación, generarían en la disminución significativa de los rendimientos de trigo en los Departamentos de Arequipa, Cajamarca, y Junín, significaría que los pequeños productores de los andes que cultivan trigo, tendrán mayores niveles de pobreza e inseguridad alimentaria. Situación que plantea un reto a los planificadores e investigadores agrarios para determinar las estrategias más apropiadas para hacer frente al tema de sanidad vegetal que cambiara por las condiciones que se esperarían en el clima futuro.

**Tabla 20. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos del cultivo de trigo con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Apurímac		Arequipa		Cajamarca		Huancavelica		Junín		La Libertad		Puno								
			Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)							
Trigo	CanESM2	RCP 4.5	-125.5	*	-1.47	-978.2	**	-5.69	-17.6	n.s	-0.61	-23.5	n.s	-0.92	-347.0	**	-2.36	-11.4	n.s	-0.18	39.5	*	1.11
		RCP 8.5	-48.9	n.s	-0.57	-1414.5	**	-8.23	-23.7	n.s	-0.83	-27.6	*	-1.09	-272.0	*	-1.85	46.5	n.s	0.74	10.3	n.s	0.29
		DS	85.4			171.9			28.7			25.4			147.2			62.7			35.7		
	CNRM-CM5	RCP 4.5	-32.6	n.s	-0.61	-117.6	n.s	-0.86	-633.5	**	-25.38	-3.1	n.s	-0.11	-49.7	n.s	-0.50	-14.0	n.s	-0.29	5.3	n.s	0.14
		RCP 8.5	-56.6	*	-1.06	-112.8	n.s	-0.83	-678.6	**	-27.18	-9.4	n.s	-0.32	-143.7	*	-1.45	-20.8	n.s	-0.42	18.2	n.s	0.48
		DS	53.5			136.6			25.0			29.7			99.4			49.0			38.1		
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	-33.1	n.s	-0.44	-226.0	*	-1.03	-6.2	n.s	-0.31	-12.7	n.s	-0.33	-161.8	*	-1.10	-13.2	n.s	-0.18	11.0	n.s	0.45
		RCP 8.5	-37.4	n.s	-0.50	-542.5	**	-2.47	-7.3	n.s	-0.36	-33.4	n.s	-0.87	-175.2	*	-1.19	59.5	n.s	0.79	7.1	n.s	0.29
		DS	75.1			219.9			20.1			38.2			147.3			75.1			24.8		
			<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>		-0.84		-2.53			-8.77		-0.45			-1.32			-0.21					0.56
			<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>		-0.71		-3.84			-9.46		-0.76			-1.49			0.37					0.35

Rdto: rendimiento kg/ha

DS : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estandar

Fuente: Elaboración propia

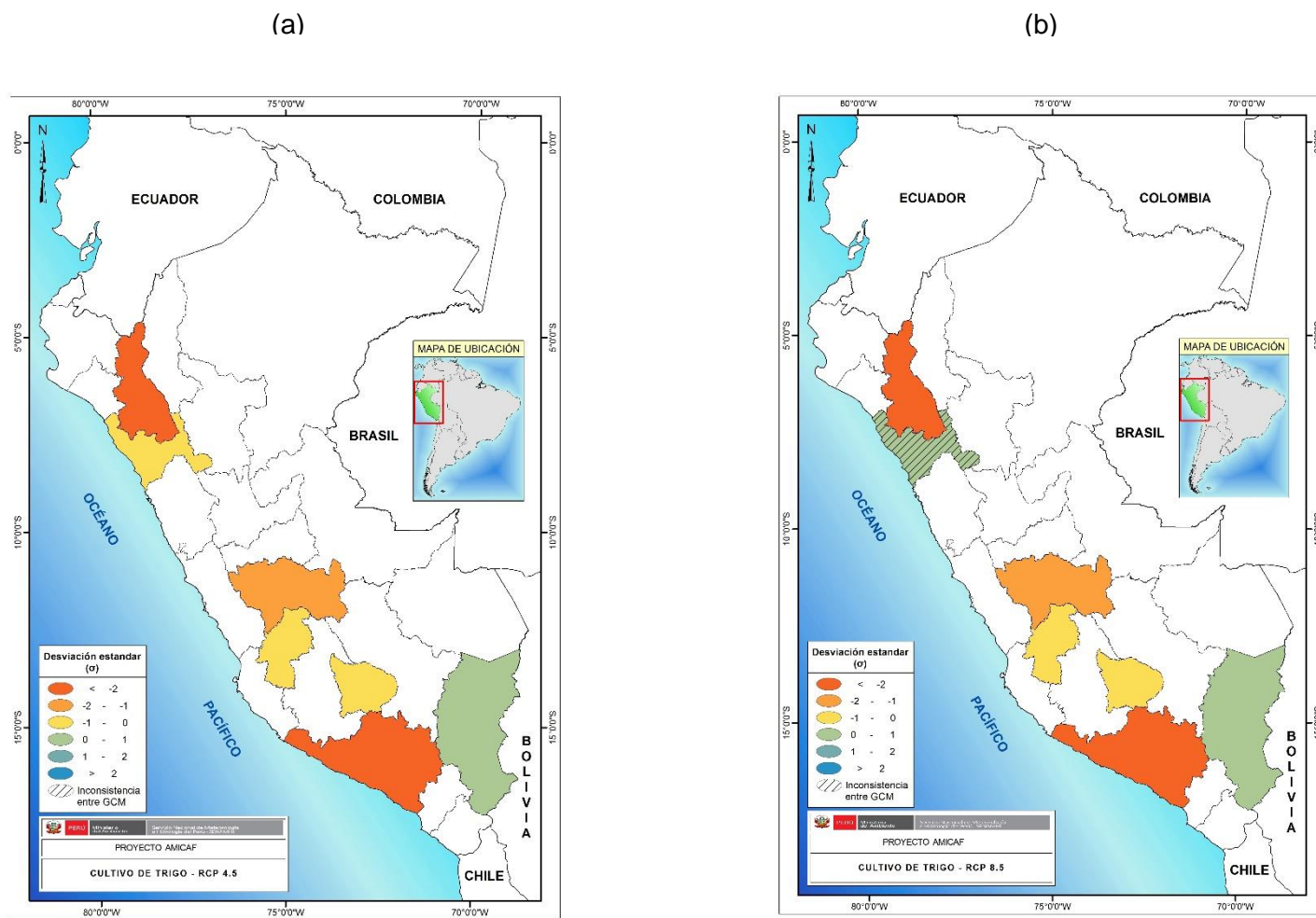


Figura 11a y 11b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de trigo con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia



### 5.2.10. Cultivo de arveja

Es un cultivo alimenticio común en la zona alto andina, la superficie sembrada en la campaña 2011-2012 fue de 86 821 ha, siendo los departamentos con mayor superficie de siembra Cajamarca (29 904 ha), Huancavelica 8 607 ha, La libertad 8 740 ha y Ayacucho (6 072 ha). Arequipa es el departamento con el mayor rendimiento promedio de 3,596 t/ha (INEI, 2013)

En base al análisis de la información sobre las tendencias en el rendimiento del cultivo de arveja en el futuro (2050) se muestran la (Tabla 21 y Figuras 12a y 12b), donde se proyecta una disminución significativa en el rendimiento en el Departamento de Ayacucho, para los tres modelos y los dos escenarios de emisiones evaluados, situación delicada para este departamento porque tiene mayores retos al futuro relacionados con la investigación de material genético y de técnicas agronómicas que ayuden a mitigar estos impactos, que ocasionara el incremento de la temperatura máxima, mínima y las precipitaciones.

En el caso del departamento de Junín la proyección no es consistente.

**Tabla 21. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos del cultivo de arveja con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Ayacucho			Junín		
			Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)
Arveja	CanESM2	RCP 4.5	-104.3	**	-3.08	-238.4	*	-1.82
		RCP 8.5	-108.4	**	-3.20	-180.8	*	-1.38
		SD	33.8			131.1		
	CNRM-CM5	RCP 4.5	-52.9	**	-2.69	-10.1	n.s	-0.10
		RCP 8.5	-60.4	**	-3.07	-76.2	n.s	-0.77
		SD	19.7			98.4		
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	-60.2	**	-3.34	-121.4	n.s	-0.88
		RCP 8.5	-80.6	**	-4.47	-122.6	n.s	-0.89
		SD	18.0			137.8		
	<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>					-3.03		-0.93
	<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>					-3.58		-1.01

Rdto: rendimiento kg/ha

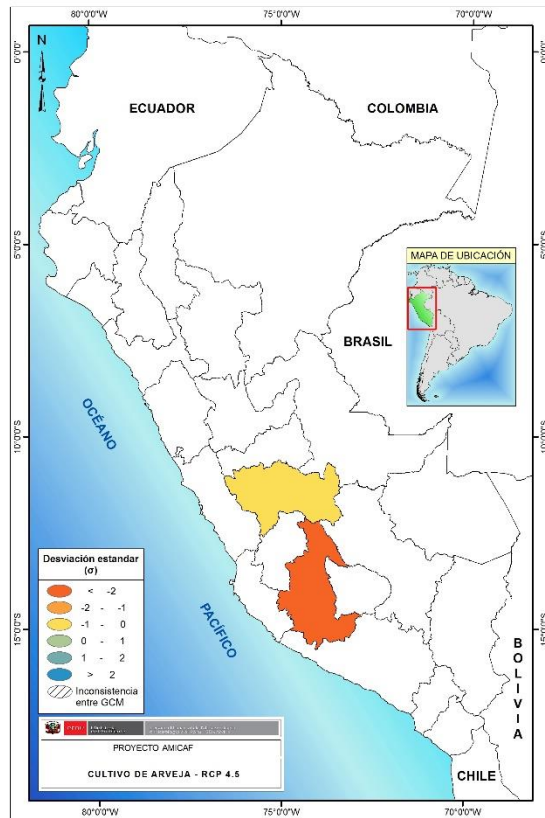
SD : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estandar

Fuente: Elaboración propia

(a)



(b)

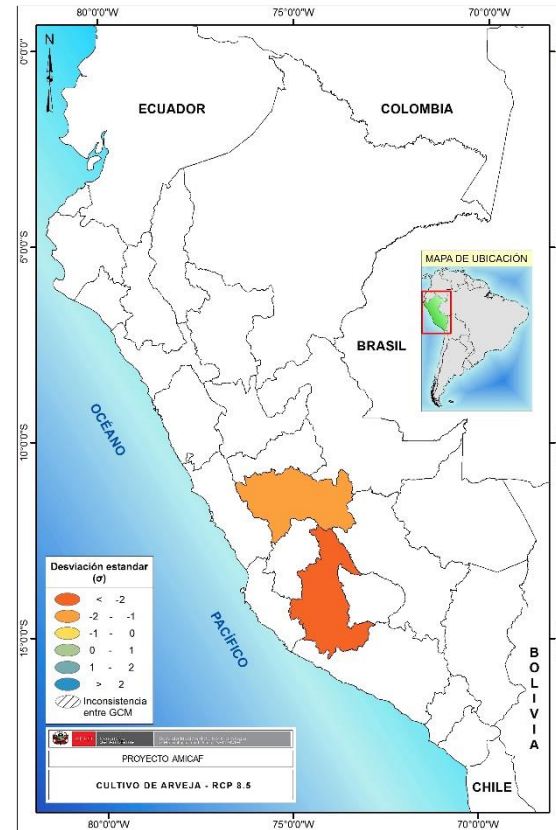


Figura 12a y 12b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de arveja con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia

### **5.2.11. Cultivo de cebada**

La cebada se cultiva en la sierra, durante la campaña 2011-2012 se sembraron 156 038 hectáreas, siendo los departamentos con mayor superficie La Libertad (30 107 ha), seguido de Puno (26 544 ha), Huancavelica (17 717 ha), Cusco (15 916 ha), Ayacucho (14 292 ha), Junín (12 985 ha), Cajamarca (12 484 ha) Ancash (10 703 ha) y Huánuco (7 605 ha).

En Pasco la superficie reportada fue 268 hectáreas (INEI, 2013). La cebada que se produce en el país es para el autoconsumo por ser un importante alimento en la dieta de la población andina y también para forraje. Desde el punto de vista nutritivo, por su riqueza en betaglucanos, un tipo de fibra soluble, se está estudiando el efecto de su consumo, bien como alimento o como complemento alimenticio, en la reducción de los niveles elevados de colesterol (hipercolesterolemia).

En cambio la cebada para cerveza (cebada maltera), prácticamente el íntegro que el Perú importa principalmente por la empresa Cervecera Backus, de Argentina. La cebada nacional se destina sobre todo a la alimentación y al forraje

En base al análisis de la información sobre las tendencias en el rendimiento del cultivo de cebada en el futuro, mostrado en la Tabla 22 y Figuras 13a y 13b, se observan respuestas en 3 departamentos, de manera diferente, por estar en condiciones edafoclimáticas y utilizar tecnológicas propias de cada región.

Se proyectan incrementos significativos en el rendimiento futuro del cultivo de cebada en Cerro de Pasco, tanto para los tres modelos y dos escenarios de emisión, para este cultivo que actualmente tiene una superficie muy pequeña (268 ha. DGCA-MINAGR, 2012).

Para los casos mostrados para el resto de los departamentos, los resultados no presentan consistencia.

**Tabla 22. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos del cultivo de la cebada con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Ayacucho			Cajamarca			Cerro de Pasco			Huancavelica			Junín			La Libertad		
			Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)
Cebada	CanESM2	RCP 4.5	25.2	n.s	0.15	27.2	n.s	0.63	520.4	**	4.19	-134.1	**	-2.35	-235.0	*	-1.82	56.3	n.s	0.45
		RCP 8.5	16.7	n.s	0.10	28.0	n.s	0.65	606.3	**	4.88	-141.0	**	-2.47	-178.2	*	-1.38	57.8	n.s	0.46
		SD	168.7			43.0			124.3			57.1			129.2			126.2		
	CNRM-CM5	RCP 4.5	-123.7	*	-1.06	0.5	n.s	0.02	264.4	**	3.26	-20.0	n.s	-0.60	-9.9	n.s	-0.10	32.8	n.s	0.57
		RCP 8.5	-109.5	n.s	-0.94	4.4	n.s	0.21	387.2	**	4.78	-43.8	*	-1.30	-75.1	n.s	-0.77	18.1	n.s	0.31
		SD	116.7			20.9			81.1			33.7			97.0			57.7		
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	-104.5	*	-1.21	-1.0	n.s	-0.05	336.7	**	3.46	-15.2	n.s	-0.38	-119.6	n.s	-0.88	-0.8	n.s	-0.02
		RCP 8.5	-153.0	*	-1.77	-1.6	n.s	-0.09	449.7	**	4.62	-30.2	n.s	-0.76	-120.9	n.s	-0.89	28.2	n.s	0.55
		SD	86.4			18.5			97.4			39.6			135.9			51.2		
	<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>					<b>-0.71</b>					<b>3.63</b>			<b>-1.11</b>			<b>-0.93</b>			<b>0.33</b>
	<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>					<b>-0.87</b>					<b>4.76</b>			<b>-1.51</b>			<b>-1.01</b>			<b>0.44</b>

Rdto: rendimiento kg/ha

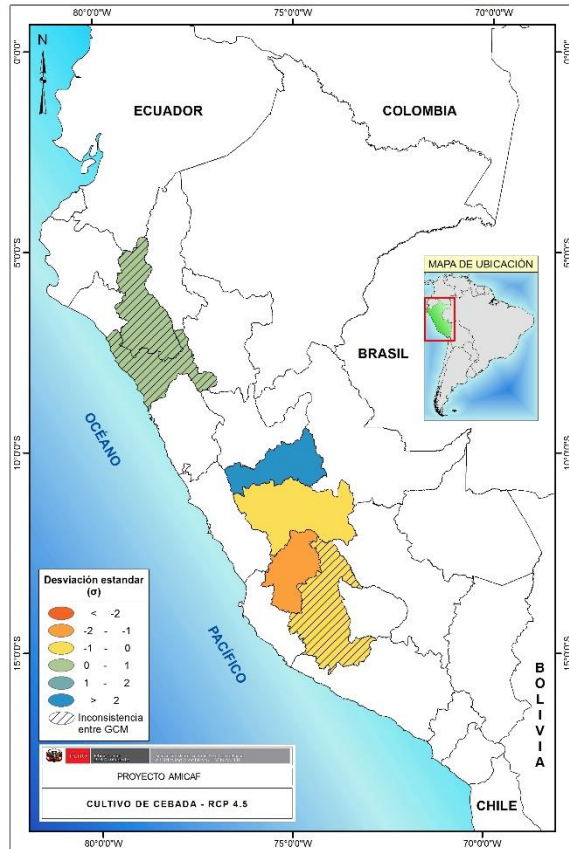
SD : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estandar

Fuente: Elaboración propia

(a)



(b)

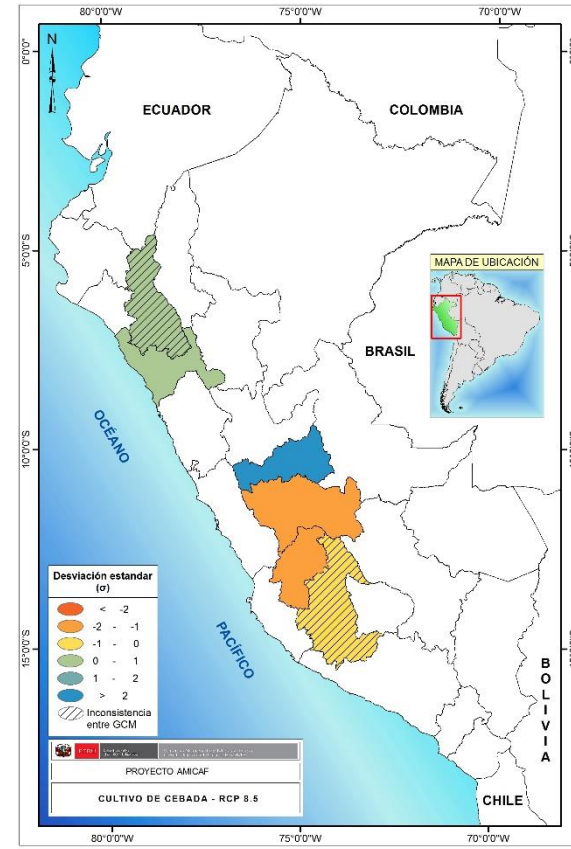


Figura 13a y 13b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de cebada con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia

### 5.2.12. Cultivo de frijol

La superficie sembrada de frijol grano para la campaña 2011- 2012 fue de 87 420 ha principalmente en el departamento de Cajamarca que tiene la mayor superficie sembrada con 21,361 ha, con una participación del 35,5%, seguido de Amazonas con 8 243 ha (13,7%), Huánuco con 4 900 ha (8,2%), Apurímac con 4 820 ha (8,0%), Huancavelica con 4 597 ha (7,6%), Junín con 3 062 ha (5,1%), La Libertad con 2 365 ha (3,9%) y Ayacucho con 2 019 ha (3,4%); estos departamentos concentran el 88,7% de toda la superficie sembrada nacional. El Departamento de Arequipa mantiene el mejor rendimiento promedio de 3 922 t/ha, seguido de Ica con 3 094 t/ha y Moquegua con 2 954 t/ha, cabe mencionar que no son las principales regiones productoras de este cultivo. Cajamarca presenta rendimientos de 1,689 t/ha. El rendimiento promedio nacional es de 2,954 t/ha. Es un cultivo de gran importancia en la alimentación a nivel nacional se siembra en las chacras de los pequeños productores en asociación con el maíz amiláceo, como una estrategia tradicional de adaptación a la variabilidad climática y seguridad alimentaria (INEI, 2013).

En base al análisis de la información sobre las tendencias en el rendimiento del cultivo de frijol en el futuro (2050), se muestran Tabla 23 y las Figuras 14a 14b, donde se proyectan incrementos significativos en el rendimiento del cultivo de frijol en los departamentos de Cajamarca, Huánuco y Ucayali para los dos escenarios de emisiones y para los tres modelos de circulación global utilizados.

Para los departamentos de Cusco y Junín los resultantes no son consistentes para todos los modelos evaluados.

Estas tendencias positivas y negativas en el rendimiento ocurren debido a las diferencias edafoclimáticas que existen en cada departamento, por lo que las instituciones locales de investigación (INIA, universidades) y desarrollo (Direcciones Regionales Agrarias, Autoridades locales, empresas privadas, etc.) en el futuro deberán tener un rol de mayor protagonismo en investigación para generar estrategias que permitan aprovechar los impactos positivos (incremento del rendimiento) y negativos (disminuye el rendimiento) del cambio climático de manera apropiada mejorando las capacidades de respuesta de la población, que actualmente es muy débil.

**Tabla 23. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos del cultivo de frijol con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Cajamarca		Cuzco		Huánuco		Junín		Ucayali						
			Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)					
Frijol	CanESM2	RCP 4.5	309.6	**	4.45	-462.5	**	-2.26	455.3	**	4.45	204.8	**	2.82	447.4	**	3.21
		RCP 8.5	345.6	**	4.97	-489.2	**	-2.39	561.1	**	5.48	233.9	**	3.21	551.2	**	3.95
		SD	69.6			204.7			102.4			72.8			139.5		
	CNRM-CM5	RCP 4.5	121.7	*	1.76	-98.3	n.s	-0.74	236.7	**	3.06	62.3	n.s	0.61	199.8	*	1.70
		RCP 8.5	149.6	**	2.16	-142.8	*	-1.08	285.1	**	3.69	70.8	n.s	0.69	241.9	**	2.06
		SD	69.3			132.3			77.3			102.6			117.3		
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	178.6	**	2.98	-78.1	n.s	-0.67	373.9	**	3.89	28.5	n.s	0.26	277.7	**	3.51
		RCP 8.5	258.2	**	4.31	-129.3	*	-1.11	447.9	**	4.66	108.7	n.s	0.98	386.3	**	4.89
		SD	59.9			116.5			96.2			110.5			79.0		
	<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>				3.06		-1.22		3.80		1.23		2.81				
	<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>				3.81		-1.53		4.61		1.63		3.63				

Rdto: rendimiento kg/ha

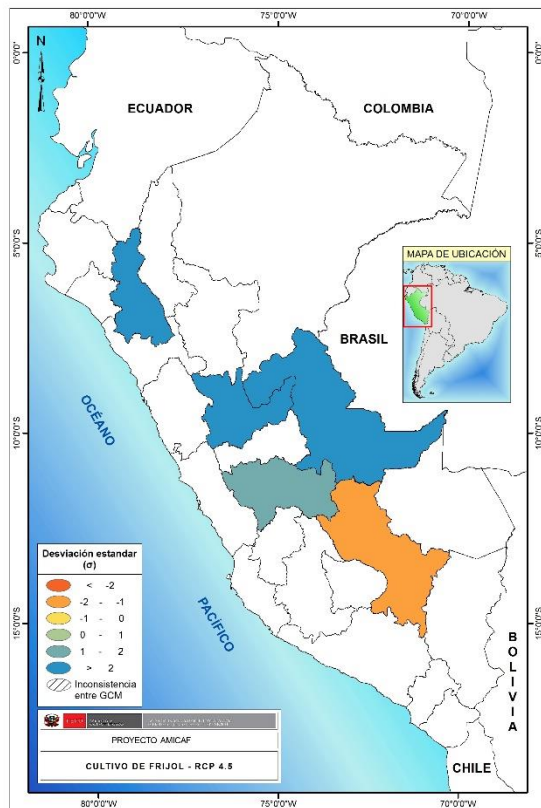
SD : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estandar

Fuente: Elaboración propia

(a)



(b)

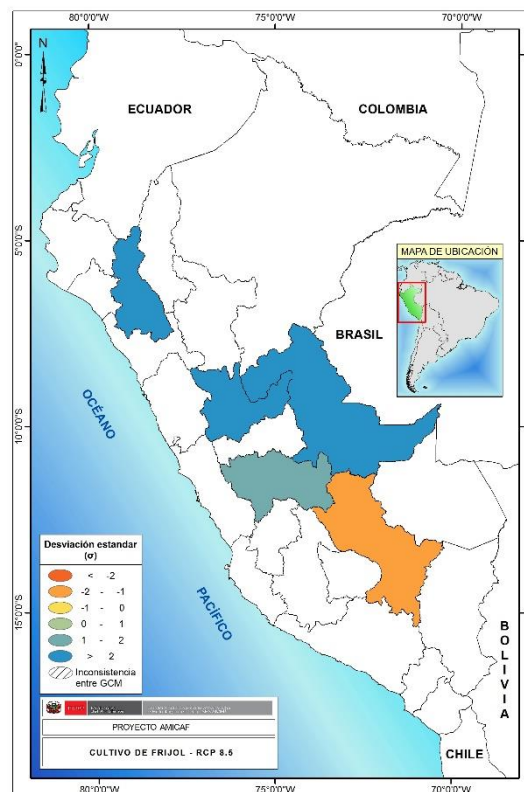


Figura 14a y 14b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de frijol con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia



### 5.2.13. Cultivo de plátano

A nivel nacional, se cultivan alrededor de 160,000 ha de plátanos; de ellas, la principal y mayor área de cultivo, aproximadamente el 70% se encuentra en la selva. Las principales zonas de producción y sus respectivos rendimientos promedios son: Loreto (10 t/ha), San Martín (11 t/ha), Ucayali (14 t/ha), Piura (24 t/ha), Junín (10 t/ha), Amazonas (12 t/ha) (DGCA-MINAGRI, 2012)

El cultivo de plátano y banano se caracteriza por ser un producto agrícola de gran expansión en la región selva y norte del país, este cultivo exige un clima cálido y una constante humedad en el aire característicos de estas zonas. Generalmente se siembra de manera asociada a otros cultivos de frutales en una gran diversidad de suelos. Existe germoplasma nativo según las regiones, y es un componente fundamental de la alimentación e ingreso familiar. El tipo plátano es consumido mayormente cocido o en frituras, en verde o maduro; entre las principales variedades comerciales está el 'Bellaco', 'Bellaco Plátano' 'Inguiri'. El tipo banano es consumido como fruta de mesa, destacando las variedades comerciales 'Seda' (Cavendish, Gros Michell), 'Isla', 'Moquicho o Biscochito' y 'Capirona'. Aproximadamente el 90% de la producción nacional se destina al autoconsumo y la diferencia es para la comercialización regional, nacional y para exportación (DGCA-MINAGRI, 2012).

En base al análisis de la información sobre las tendencias en el rendimiento del cultivo de plátano en el futuro, se muestra la Tabla 24 y Figuras 15a y 15b, donde se observa una proyección significativa de disminución del rendimiento de plátano en el departamento de Amazonas, para los dos escenarios de emisión y para los tres modelos de circulación evaluados.

Se muestran también proyecciones significativas de un incremento en el rendimiento de plátano en los departamentos de Cajamarca y Cusco para los dos escenarios y los 3 modelos de circulación global utilizados. Para el caso de Junín y Madre de Dios también se observa la tendencia al incremento pero sólo para los modelos CanSM2 y MPI-ESM-MR para los dos escenarios de emisiones.

En el Perú, el cultivo del plátano se caracteriza por ser una valiosa alternativa para la economía y la alimentación familiar, dado su alto contenido de hidratos de carbono, potasio, magnesio, ácido fólico, entre otros. Este valor nutricional es conocido y aprovechado por la población de la selva y costa norte que lo consume de manera habitual en su dieta diaria. Es consumido en forma de fruto, harina, cocido, o en frituras (chips o chifles).

De acuerdo a las proyecciones de incrementos en el rendimiento en los departamentos evaluados, será necesario a futuro poner mayor atención en los aspectos técnicos mediante un manejo agronómico eficiente y también para su transformación agroindustrial para mejorar la economía familiar.

Por los hallazgos de este estudio, se considera conveniente que las instituciones del estado (INIA, DRA, Agrorural, universidades) con los gobiernos locales y empresas privadas deberán trabajar de manera más organizada para aprovechar mejor este impacto positivo que traerá el cambio climático en el periodo 2050.

En el caso de Amazonas que es el único departamento que hay proyecciones de una disminución en el rendimiento, se deberá investigar, la utilización de variedades nuevas, con buena tecnología de producción y utilización final, que podrían revertir esta situación porque los otros departamentos de la selva las proyecciones son de incrementos en el rendimiento.

**Tabla 24. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos del cultivo de plátano con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Amazonas		Cajamarca		Cuzco		Junín		Loreto		Madre Dios							
			Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)						
Platano	CanESM2	RCP 4.5	-1855.6	**	-3.64	14333.7	**	4.49	22367.6	*	1.01	4944.2	*	1.23	85.5	n.s	0.21	2541.1	**	2.18
		RCP 8.5	-2327.4	**	-4.56	17435.0	**	5.46	28592.8	*	1.29	8730.9	**	2.18	22.6	n.s	0.06	2100.3	*	1.81
		SD	510.5			3193.6			22106.7			4011.1			400.2			1163.3		
	CNRM-CM5	RCP 4.5	-769.4	**	-2.08	7099.0	**	3.22	13041.1	**	2.44	2792.2	n.s	0.74	70.6	n.s	0.15	483.3	n.s	0.43
		RCP 8.5	-902.4	**	-2.44	8678.3	**	3.94	15045.2	**	2.81	3717.3	n.s	0.99	168.9	n.s	0.36	-161.7	n.s	-0.14
		SD	370.5			2204.0			5348.1			3763.3			467.7			1127.8		
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	-1307.6	**	-2.84	9354.1	**	3.73	15873.3	**	2.61	7858.6	*	1.96	247.2	n.s	0.68	1484.9	*	1.27
		RCP 8.5	-1490.0	**	-3.24	12612.3	**	5.04	21960.0	**	3.62	7810.5	*	1.95	284.6	n.s	0.78	1700.6	*	1.45
		SD	460.3			2504.5			6071.3			4004.2			364.1			1172.9		
	<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>				-2.85		3.81		2.02		1.31		0.35							1.29
	<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>				-3.41		4.81		2.57		1.71		0.40							1.04

Rdto: rendimiento kg/ha

SD : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estándar

Fuente: Elaboración propia

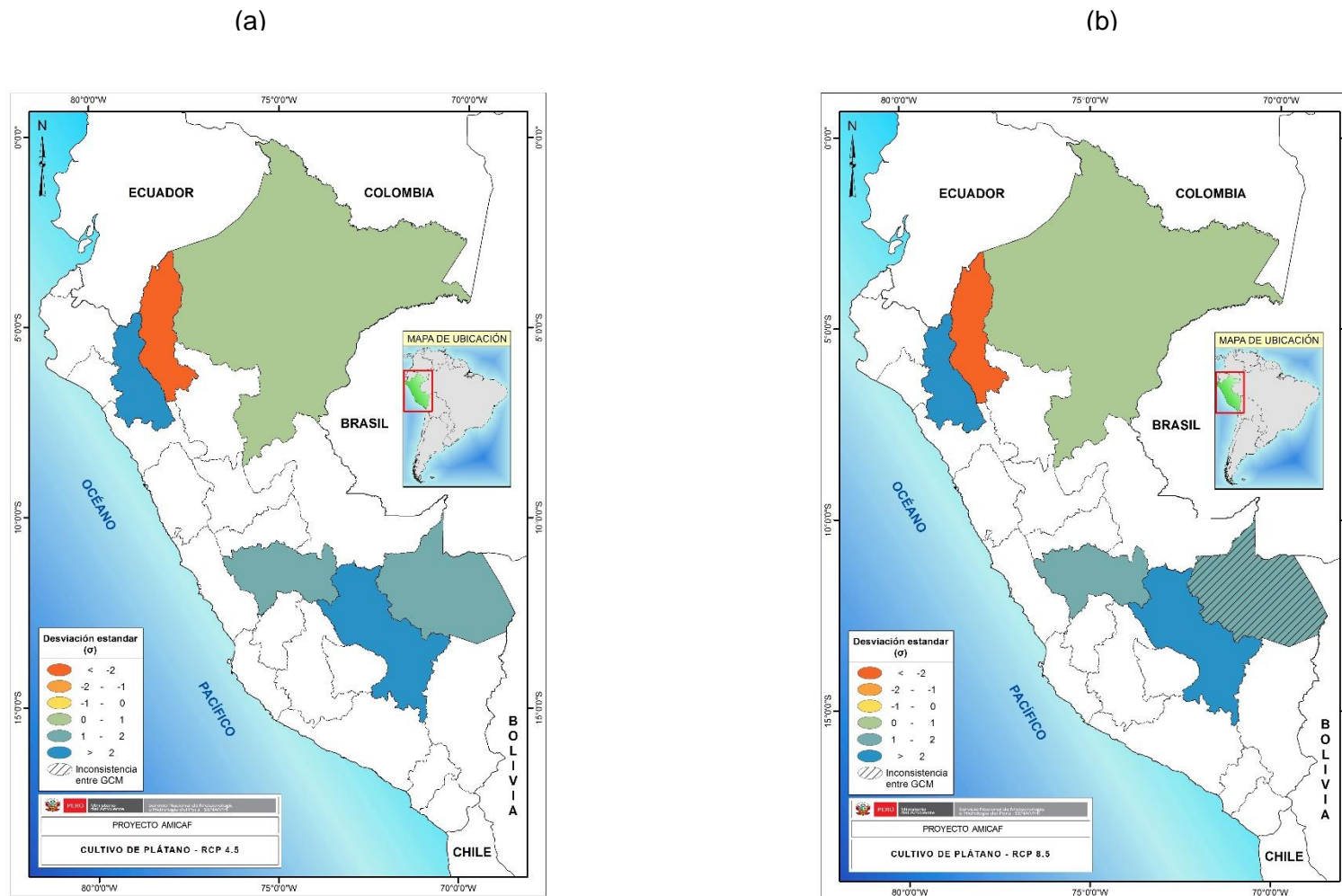


Figura 15a y 15b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de plátano con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia

#### 5.2.14. Cultivo de yuca

La superficie de yuca cultivada en el año 2012 fue de 102 865 ha. El mayor porcentaje (67%) de las áreas productoras se encuentran en la selva (Loreto 29,6%, San Martín 16,2%, Ucayali 9,9%, Amazonas 9,3%), 30,5% en sierra (Cajamarca 8,9%, Junín 6,9%, Cusco 4,6%, Huánuco 5,9% y Pasco 4,2%) y 2,5% en costa (Lambayeque 1,3 %, Lima 1,1 % y Tumbes 0,1%). La selva es la región que muestra mayor incremento, debido a la alta tasa de consumo alimenticio por la población nativa y migrantes de familias provenientes de la sierra y costa (INEI, 2013).

En base al análisis de la información sobre las tendencias en el rendimiento del cultivo de la yuca en el futuro presentados en la Tabla 25 y figuras 16a y 16b, se puede observar que por lo general las proyecciones han sido de incremento significativo en el rendimiento, para los Departamentos de Cusco, Junín, Loreto y San Martín, tanto para los dos escenarios futuros de emisiones como para los tres modelos. Validando esta tendencia, la magnitud del incremento está proyectada a más de dos veces la desviación estándar (Tabla 25)

Considerando las proyecciones obtenidas se deben investigar la transformación industrial del cultivo de yuca, que daría mejoras en la economía familiar, debido a que existen diferencias en la aptitud industrial del germoplasma altamente diverso que existe en el país (450 entradas de las 6067 entradas que tiene el banco de germoplasma del Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT- provienen de Perú).

Para lograr avances en el futuro, sobre la seguridad alimentaria y mejora de la economía de los productores de yuca se necesita realizar trabajos inter y multidisciplinarios entre el INIA, Instituto e investigación de la Amazonia tropical (IIAP), Universidades, con el apoyo participativo de la población y los gestores locales del desarrollo (gobiernos regionales, Municipalidades, Comunidades nativas, empresas del sector privado).

Los impactos esperados a partir del desarrollo de alternativas tecnológicas sostenibles tendrán efectos en los aspectos sociales (seguridad alimentaria), económicos (disminuir los costos de producción en aproximadamente 25%, mejorar los ingresos) tecnológicos (manejo agronómico que permitirán incrementar la productividad actual a 18 t/ha/año y tecnologías de transformación, eficientes y rentables) y ecológicos porque las tecnologías generadas serán sostenibles, mejorando las capacidades y la resiliencia de las poblaciones beneficiarias que mejoraran su producción cuidando sus recursos naturales a través del mejoramiento de sus capacidades.

**Tabla 25. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos del cultivo de yuca con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Cuzco		Junín		Loreto		San Martín					
			Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig $\delta$ (Rdto/DS)				
Yuca	CanESM2	RCP 4.5	8140.8	**	4.01	1736.5	**	2.49	381.9	*	1.43	2138.2	**	3.75
		RCP 8.5	10030.9	**	4.94	2195.0	**	3.14	405.8	*	1.52	2575.9	**	4.51
		DS	2029.1			698.8			266.9			570.7		
	CNRM-CM5	RCP 4.5	3859.7	**	3.51	992.0	**	2.47	340.6	*	1.89	1029.9	*	1.87
		RCP 8.5	4766.5	**	4.33	1278.7	**	3.19	384.8	**	2.13	1234.4	**	2.24
		DS	1100.1			401.4			180.4			551.0		
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	5151.2	**	4.74	1327.6	**	2.35	326.1	*	1.95	1821.9	**	3.00
		RCP 8.5	6859.4	**	6.31	1619.1	**	2.86	414.0	**	2.47	2080.7	**	3.42
		DS	1087.7			565.2			167.4			607.6		
	<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>			4.09		2.44		1.76		2.87				
<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>			5.19		3.06		2.04		3.39					

Rdto: rendimiento kg/ha

DS : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : rendimiento entre la desviación estandar

Fuente: Elaboración propia

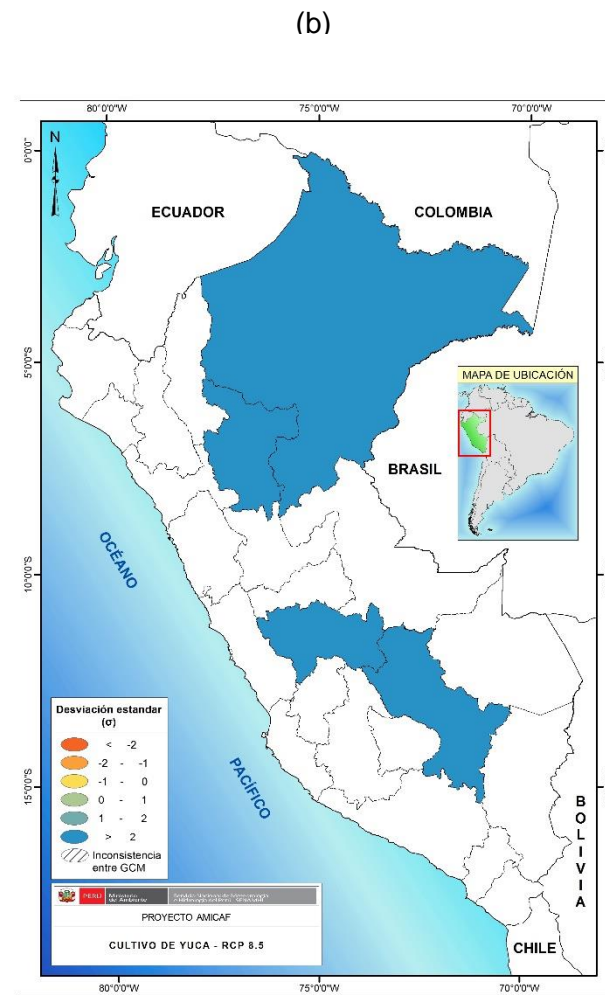
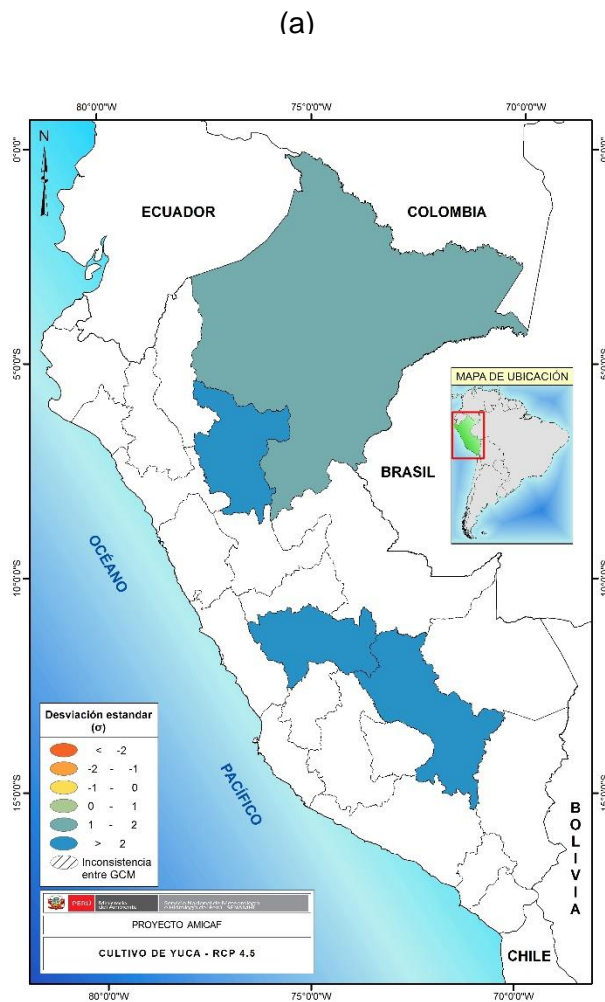


Figura 16a y 16b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de yuca con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia

### 5.2.15. Cultivo de cacao

El cultivo de cacao fue el segundo cultivo permanente de importancia, tiene una superficie sembrada de 144,2 mil hectáreas. La producción nacional se concentra en la parte baja de la vertiente oriental de la cordillera de los Andes entre los 200 y 900 metros sobre el nivel de mar. Las principales zonas de cultivo se ubican principalmente en los valles Río Apurímac-Ene (Junín, Ayacucho y Cusco), La Convención (Cusco), Huallaga (Huánuco y San Martín), Tambo (Junín), y el del Marañón (Cajamarca y Amazonas). Según datos del MINAGRI (2012), las principales zonas de producción y sus rendimientos promedios a nivel nacional para el año 2010 son: San Martín con 0,8 t/ha, Cusco con 0,2 t/ha, Ayacucho (0,7 t/ha), Junín (0,5 t/ha), Amazonas (0,5 t/ha), Huánuco (0,4 t/ha). (INEI, 2013)

El Perú es uno de los principales centros de origen del cacao, tiene una alta diversidad y variabilidad genética, verificable en los diferentes ecotipos de cacao. La cadena de cacao abarca la producción del grano, el procesamiento, su comercialización y la producción de chocolates y confites, es uno de los cultivos de mayor éxito en los programas de cultivos alternativos a la coca; nuestro país es el segundo exportador mundial de cacao orgánico y su cultivo es el sustento directo de aproximadamente 45 mil familias. Existen variedades nativas y germoplasma que debe ser investigado con mayor atención (INEI, 2013).

En base al análisis de la información sobre las tendencias en el rendimiento del cultivo de cacao en el futuro (2050), se muestra en la Tabla 26 y Figuras 17a y 17b, donde se observa solo para el Departamento de San Martín una proyección significativa de incremento del rendimiento, tanto para los tres modelos como para los dos escenarios de emisión, situación que es importante porque los agricultores de esta zona ya se encuentran bien entrenados en el uso de las tecnologías agroecológicas más adecuadas para producir cacao de manera sostenible.

Los resultados para los Departamentos de Loreto, Madre de Dios y Ucayali no muestran consistencia o tendencia.

El futuro del cultivo de cacao debe consolidarse con técnicas ecológicas y programas de asistencia técnica por parte del Estado y del sector privado, mayoritariamente en los aspectos de transformación en chocolates de alta calidad, que le daría mayor rentabilidad a los pequeños productores que se dedican a este cultivo, considerando el impacto positivo que va a tener el cambio climático en este cultivo en el futuro (2050), particularmente en la zona de San Martín.



**Tabla 26. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos del cultivo de cacao con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Loreto			Madre Dios			San Martín			Ucayali		
			Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)
Cacao	CanESM2	RCP 4.5	-271.0	**	-2.57	18.5	n.s	0.98	161.2	*	1.86	59.8	n.s	0.95
		RCP 8.5	-304.8	**	-2.90	20.2	*	1.07	230.7	**	2.66	79.4	*	1.26
		SD	105.3			18.9			86.8			62.8		
	CNRM-CM5	RCP 4.5	5.1	n.s	0.06	18.5	n.s	0.98	117.0	*	1.32	73.1	n.s	0.79
		RCP 8.5	-49.4	n.s	-0.54	20.2	*	1.07	104.6	*	1.18	19.7	n.s	0.21
		SD	91.9			18.9			88.8			92.1		
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	153.6	*	1.82	6.5	n.s	0.54	117.3	*	1.24	17.6	n.s	0.16
		RCP 8.5	-41.8	n.s	-0.49	5.6	n.s	0.47	165.1	*	1.74	-12.3	n.s	-0.12
		SD	84.5			12.1			94.9			106.5		
	<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>					<b>-0.23</b>			<b>0.83</b>			<b>1.47</b>		<b>0.64</b>
	<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>					<b>-1.31</b>			<b>0.87</b>			<b>1.86</b>		<b>0.45</b>

Rdto: rendimiento kg/ha

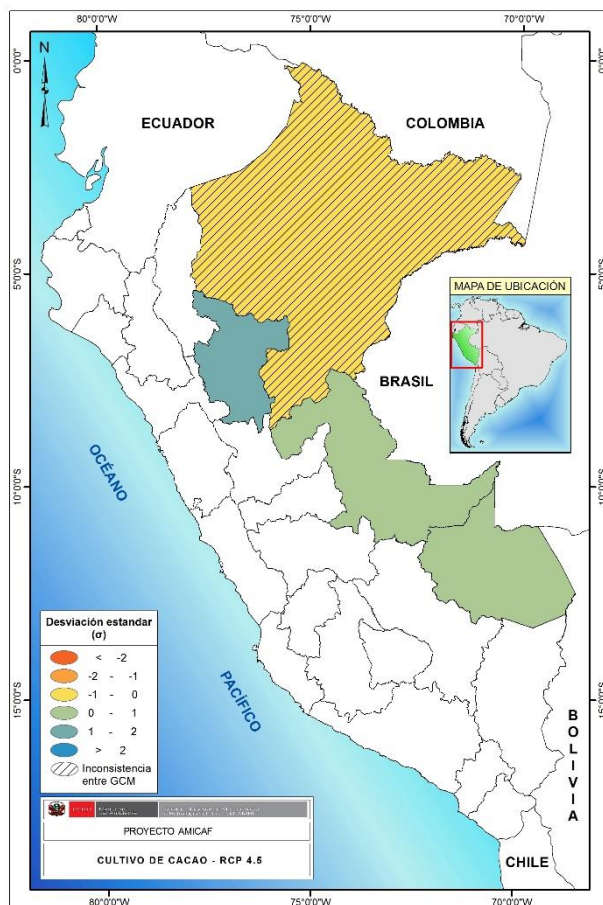
SD : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estándar

Fuente: Elaboración propia

(a)



(b)

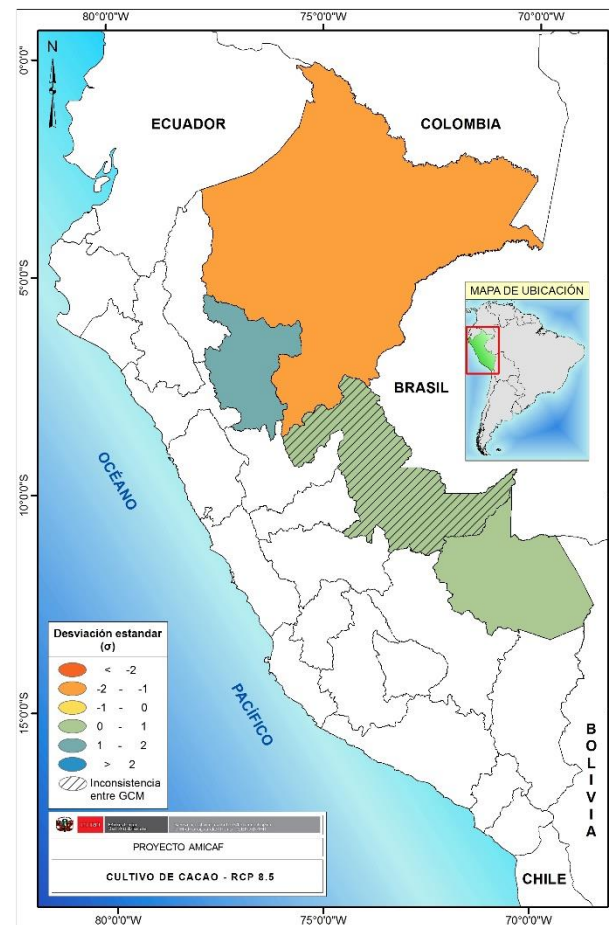


Figura 17a y 17b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de cacao con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia

### 5.2.16. Cultivo de café

La producción de café en el país se concentra en los departamentos de Junín con 67 790 toneladas, Cajamarca 59 020 t, San Martín 53 334 t, Amazonas 34 743 t, Cusco 24 475 t y el resto del país con 25 430 t. Estos departamentos concentran el 90,43% de la producción nacional, teniendo el resto del país una participación de 9,57%. La región con mayor superficie cosechada es Junín con 89,351 ha, seguido de Cajamarca con 65,401 ha y Cusco con 60,348 ha. Cajamarca mantiene la mayor productividad con 0,947 t/ha, seguido de San Martín con 0,942 t/ha y Junín con 0,725 t/ha (INEI, 2013).

De acuerdo al CENAGRO (2012), del grupo de cultivos permanentes el que más sobresale es el café con 425,4 mil hectáreas, pero con un desarrollo ascendente recién a partir del año 2005 en zonas como Tarapoto, Lamas, como un producto alternativo a la coca con apoyo técnico, comercialización y venta por parte del Gobierno América (USDA) a través de la Cooperativa Oro Verde. Sin embargo las zonas más antiguas y representativas de Café se encuentran en Cusco, y la selva central de los departamentos de Cerro de Pasco y Junín.

En base al análisis de la información sobre las tendencias en el rendimiento del cultivo de cacao en el futuro (2050) que se muestran en la Tabla 27 y Figuras 18a y 18b; se observa la proyección de una disminución significativa en el rendimiento del cultivo de café en el departamento de Madre de Dios para los dos escenarios de emisiones y para los tres modelos evaluados.

En cambio, para Cerro de Pasco, se presentan proyecciones de incrementos significativos solo para los modelos CRRM-CM5 y MPI-ESM-MR para ambos escenarios de emisión. Cusco y Junín presentan resultados no consistentes o sin tendencia.

Las diferencias en los rendimientos se deben a las diferentes condiciones edáficas y climáticas que tienen las zonas agroecologías cafetaleras propias de cada departamento. Por lo que se requiere tener programas locales de asistencia técnica sobre sistemas de Alertas tempranas fitosanitarios, y buenas prácticas que permitan tener una producción sostenible de café. Los retos en el futuro demandaran mayor información sobre las variables climáticas a nivel local, por lo que el rol del SENAMHI será en el futuro de mayor protagonismo en el área de agrometeorología.

**Tabla 27. Proyecciones futuras al año 2050 de los rendimientos del cultivo de café con el uso de tres modelos de circulación global y en dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RCP 4.5) y alto (RCP 8.5)**

Cultivos	GCM	Escenarios	Cerro de Pasco			Cuzco			Junín			Madre Dios		
			Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)	Rdto	Sig	$\delta$ (Rdto/DS)
Café	CanESM2	RCP 4.5	106.3	n.s	0.45	269.1	**	2.87	88.3	n.s	0.58	-200.5	**	-3.00
		RCP 8.5	214.0	n.s	0.91	218.4	**	2.33	89.2	n.s	0.59	-252.6	**	-3.78
		DS	234.8			93.9			151.3			66.9		
	CNRM-CM5	RCP 4.5	176.2	*	1.02	44.3	n.s	0.55	21.0	n.s	0.20	-97.5	**	-2.25
		RCP 8.5	245.8	*	1.42	59.8	n.s	0.75	30.5	n.s	0.29	-124.9	**	-2.88
		DS	172.7			80.2			105.2			43.4		
	MPI-ESM-MR	RCP 4.5	246.9	*	1.26	57.2	n.s	0.61	31.9	n.s	0.34	-114.5	**	-2.13
		RCP 8.5	223.8	*	1.14	92.8	n.s	0.99	54.3	n.s	0.58	-158.2	**	-2.94
		DS	195.5			93.5			93.9			53.8		
	<b>Promedio 4.5 (<math>\delta</math>)</b>				0.91			1.34			0.37			-2.46
	<b>Promedio 8.5 (<math>\delta</math>)</b>				1.16			1.35			0.49			-3.20

Rdto: rendimiento kg/ha

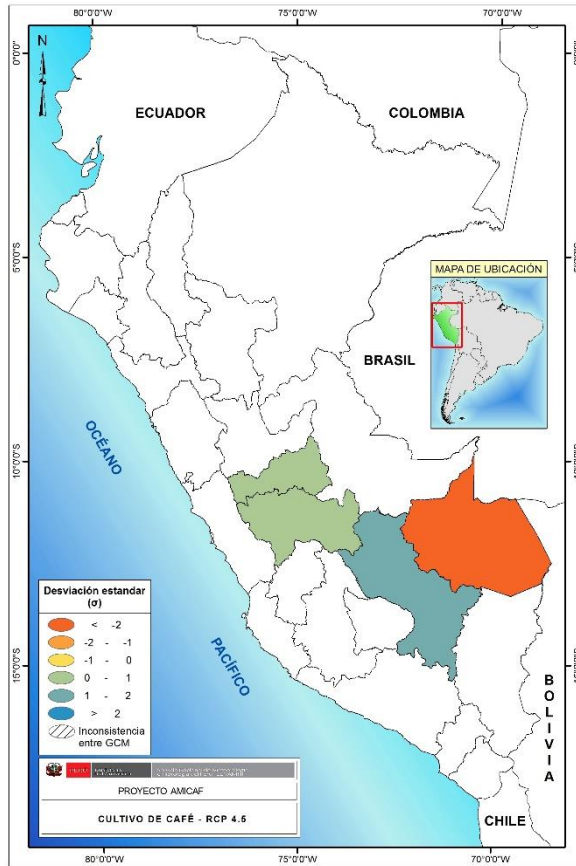
SD : Desviación estándar

Sig: Significancia ( n.s: no significativo; \*: significativo; \*\*: altamente significativo)

$\delta$  : cambio entre el rendimiento y la desviación estandar

Fuente: Elaboración propia

(a)



(b)

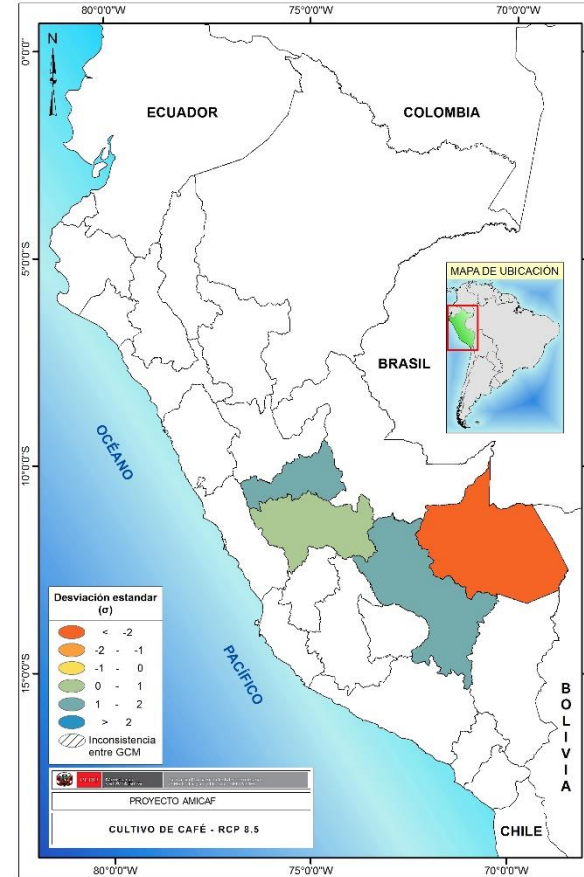


Figura 18a y 18b. Mapas de integración estadística ( $\sigma$ ) de la proyección del rendimiento del cultivo de café con el uso de tres modelos de circulación global para dos escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050. Fuente: Elaboración propia

## **6. Conclusiones**

### **6.1. Modelos de rendimientos de cultivos**

- De los 31 cultivos propuestos por el Grupo Técnico de Trabajo (GTT) para el modelamiento de los cultivos, el 52% fue descartado por contar con información de mala calidad o por no contar con información fenológica o de coeficientes de cultivo, información básica para el uso del modelo Wabal. Los cultivos descartados para aplicar los modelos fueron: alfalfa, limón, maíz choclo, pallar, olivo, ajo, zapallo, lenteja, zanahoria, avena, quinua, olluco, orégano, naranjo y ají.
- El 48% de la información existente, corresponde a 16 cultivos que contó con información que permitió desarrollar los modelos estadísticos de rendimiento de cultivos.
- De los modelos estadísticos encontrados para los diferentes cultivos y regiones, en la costa las temperaturas extremas son las variables que más influyen en el rendimiento de los cultivos. En la región de la sierra y selva son la precipitación y las componentes del balance hídrico las más influyentes.

### **6.2. Impactos del cambio climático en los rendimientos de los cultivos**

- A partir del proceso de regionalización estadística de escenarios climáticos para el Perú, con tres modelos de circulación global (CanESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR) y dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero medio (RPC 4.5) y alto (RPC 8.5), para las variables de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, se ha proyectado los rendimientos futuros (al 2050) para 16 cultivos seleccionados. Asimismo, a partir de la integración estadística se ha generado mapas temáticos, para visualizar las tendencias de los rendimientos, para los dos escenarios de emisiones y el promedio de los tres modelos de circulación.
- Los resultados muestran proyecciones del rendimiento de cultivos a futuro, con tendencias negativas y positivas, se ha encontrado mayor frecuencia de impactos negativos que positivos.
- Los cultivos en los cuales se han proyectado una disminución significativa en el rendimiento (impacto negativo del cambio climático) para los tres modelos climáticos y para los dos escenarios de emisiones, son 10 de los 16 cultivos evaluados, dependiendo de las regiones donde se encuentren:

- ✓ ARROZ (La Libertad y Loreto)
  - ✓ MAIZ AMARILLO DURO (Ancash)
  - ✓ MAIZ AMILACEO (Ayacucho)
  - ✓ PLATANO (Amazonas)
  - ✓ PAPA (Lima, Ica, Tacna)
  - ✓ HABA (Ayacucho)
  - ✓ ARVEJA (Ayacucho)
  - ✓ CAFÉ (Madre de Dios)
  - ✓ CEBOLLA (Arequipa)
  - ✓ TOMATE (Lima y Ancash)
- Los cultivos en los cuales se han proyectado incrementos significativos en el rendimiento (impacto positivo del cambio climático) para los tres modelos climáticos y los dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero son ocho de un total de 16 cultivos analizados:
    - ✓ YUCA (Loreto, Junín, San Martín y Cusco).
    - ✓ PLATANO (Cajamarca y Cusco)
    - ✓ CEBADA (Cerro de Pasco).
    - ✓ FRIJOL (Cajamarca, Huánuco y Ucayali)
    - ✓ MAIZ AMILACEO (Tacna).
    - ✓ MAIZ AMARILLO DURO (Ucayali)
    - ✓ CACAO (San Martín)
    - ✓ HABA (Cerro de Pasco)
  - Las diferentes respuestas del cultivo en diferentes regiones (impactos positivos y negativos) obedecen a la complejidad de los territorios donde se cultivan, las variaciones edáficas, climáticas, tecnológicas y culturales propias de los sistemas de producción y diversos que caracterizan principalmente a la región de la sierra, donde es peculiar el uso de diferentes pisos ecológicos para ubicar la gran biodiversidad alimentaria base para la seguridad alimentaria actual y futura.
  - De todo el país, el Departamento de Ayacucho sería uno de los más afectados, se ha proyectado al 2050 una disminución significativa de los rendimientos de los cultivos de la seguridad alimentaria: haba, arveja y maíz amiláceo.
  - De todo el país, uno de los departamentos que más se beneficiara del cambio climático proyectado al 2050 (incremento de temperatura máxima: 1°C a 2°C, temperatura mínima 4 °C a 6 °C, precipitaciones 10 % a 20 %) para cultivos de seguridad alimentaria sería Cerro de Pasco, donde se proyectan incrementos en el rendimiento de los cultivos de cebada y haba.

- En la región de la selva se proyectan al año 2050, incrementos en el rendimiento de los cultivos de yuca, plátano y maíz amarillo duro, situación que muestra un impacto positivo del cambio climático. Los planificadores de desarrollo de la región, podrían mejorar la infraestructura vial para transportar a la sierra y costa los excedentes de las cosechas y permitir que los productores tengan precios más justos.
- En la región de la sierra se proyectan los impactos negativos del cambio climático por la disminución en el rendimiento de sus principales cultivos como papa, haba, arveja, cebada, maíz amiláceo, trigo y frijol.

## **7. Recomendaciones**

- Conformar mesas de trabajo para investigar los impactos del cambio climático en la dinámica poblacional de las plagas y sus consecuencias en el rendimiento y calidad en los cultivos de maíz amarillo duro, papa y arroz considerando las proyecciones futuras al 2050.
- Promover actividades que mejoren la calidad de la información básica de campo (rendimiento de cultivos).
- Promover investigaciones en modelamiento de cultivos, para establecer estrategias que permitan afrontar eventos climáticos extremos y como parte de una evaluación integral del impacto del cambio del clima a nivel de regiones o valles agrícolas.
- Promover la consolidación de una base de datos agronómica para cultivos (fenología, Kc, biometría, cosecha, variedades, etc.), con fines de estudios localizados, integrales e interdisciplinarios.
- Promover investigaciones orientadas a generar variedades que se adapten a un escenario climático de incremento de la temperatura y humedad proyectadas que ocasionarán problemas fitosanitarios.



## 8. Referencia bibliográfica

BID-CEPAL. 2014. La economía del cambio climático en el Perú. 151 pp.

Calzada Beza, J. 1970. Métodos Estadísticos para la Investigación. 3 ed. Lima, Peru.611 pp.

CENAGRO. 2012. IV Censo Nacional Agropecuario. Instituto Nacional de Estadística e Informática.

CIAT. 2013. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Investigación en Yuca.

Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Irrigation and drainage paper 56. Rome, 1998.

Delobel, François, Rojas, Oscar. 2013. MOSAICC: An inter-disciplinary system of models to evaluate the impact of climate change on agriculture. En: Land and Water Days in Near East & North Africa. Amán (Jordania).

Dirección General de Competitividad Agraria- MINAGRI. 2012. Principales aspectos de la cadena productiva de la cebolla.

Dirección General de Competitividad Agraria- MINAGRI. 2012. Principales aspectos de la cadena productiva de la papa.

Dirección General de Competitividad Agraria-MINAGRI. 2012. Principales aspectos de la cadena productiva de trigo

Dirección General de Competitividad Agraria-MINAGRI. 2012. Principales aspectos de la cadena productiva de maíz amiláceo.

Dirección General de Competitividad Agraria-MINAGRI. 2012. Principales aspectos de la cadena productiva de maíz amarillo duro

ENFEN. 2012. Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú. Nota Técnica del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño, del 09 de abril.

FAO. 2006. Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Serie Riego y Drenaje N° 56. 323pp.

FAO. 2015. Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade. Food Agriculture Organization of the United Nations. Edited by Aziz Elbehri. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/2d309fca-89be-481f-859e-72b27a3ea5dc/>

FAOSTAT. 2010. Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics Division-. (<http://faostat3.fao.org> )

Food and Agriculture Organization of The United Nations, Comisión Internacional del arroz – FAO. 2003. Guía Para Identificar Limitaciones De Campo En la producción de Arroz. <http://www.fao.org/3/a-y2778s.pdf>

Gommes, R., 1999. Roving Seminar on crop-yield weather modelling; lecture notes and exercises. WMO. Geneva, 153 pp.

Gommes, R., 2010. Water balance-Wabal. 10 pp.

INEI (2013). IV Censo Agropecuario 2012.

Ministerio de la Mujer y Desarrollo Social-2010. Mapa de la Vulnerabilidad a la seguridad Alimentaria. MIMDES- DGPDS- DIDS

PEJEZA-MINAGRI (2015). Proyecto Especial Jequetepeque Zaña.

Sanabria J. & J. P. Lhomme. 2013. Climate change and potato cropping in the Peruvian Altiplano. *Theor Appl Climatol* 112:683–695.

Sanabria J., P. Calanca, C. Alarcon y G. Canchari. 2014. Potential impacts of early twenty-first century changes in temperature and precipitation on rainfed anual crops in the Central Andes of Peru.

SENAMHI. 2013a. Análisis del clima actual y futuro en la Cuenca del río Mantaro y sus impactos en la disponibilidad hídrica y cultivos priorizados en la subcuenca del río Shullcas, Junín. Proyecto PRAA.103 pág.

SENAMHI. 2013b. Análisis del clima actual y futuro en la Cuenca del río Urubamba y sus impactos en la disponibilidad hídrica y cultivos priorizados en la subcuenca del río Santa Teresa, Cusco. Proyecto PRAA.95 pág.

SENAMHI. 2014. Regionalización Estadística de Escenarios Climáticos en Perú. Proyecto AMICAF. 24 Pág.

Yzarra, W., Sanabria, J., Caceres, H., Olimpio, S., Lhomme, J. 2015. Impact of climate change on some grapevine varieties grown in Peru for pisco production. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 49, 103-112.

## 9. Anexos

### Anexo 1. Ejemplo de las salidas del modelo Wabal para el cultivo de arroz en Tacna-Costa

Year	ETA <sub>t</sub>	ETA1	ETA2	ETA3	ETA4	EXC <sub>t</sub>	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4	DEF <sub>t</sub>	DEF1	DEF2	DEF3	DEF4	TWR	WSI (raw)	WSI (corr. for surplus)
1972	377	0	124	106	147	0	0	0	0	0	1280	0	663	302	316	1366	100	100
1973	381	0	127	92	162	0	0	0	0	0	1256	0	639	319	298	1344	100	100
1974	349	0	120	96	133	0	0	0	0	0	1266	0	639	317	310	1323	100	100
1975	315	0	119	75	120	0	0	0	0	0	1232	0	616	322	294	1255	100	100
1976	361	0	126	88	148	0	0	0	0	0	1177	0	578	299	300	1246	100	100
1977	329	0	124	86	119	0	0	0	0	0	1312	0	654	313	345	1349	100	100
1978	317	0	121	93	103	0	0	0	0	0	1260	0	609	290	361	1284	100	100
1979	301	0	120	74	107	0	0	0	0	0	1294	0	610	303	381	1302	100	100
1980	315	0	134	75	106	0	0	0	0	0	1351	0	616	352	382	1373	100	100
1981	315	0	128	77	110	0	0	0	0	0	1301	0	635	340	327	1324	100	100
1982	311	0	117	88	106	0	0	0	0	0	1284	0	623	301	361	1302	100	100
1983	360	0	134	83	143	0	0	0	0	0	1234	0	597	329	307	1301	100	100
1984	391	0	126	115	150	0	0	0	0	0	1211	0	616	282	314	1310	100	100
1985	364	0	129	83	152	0	0	0	0	0	1197	0	591	314	292	1268	100	100
1986	398	0	152	108	139	0	0	0	0	0	1153	0	568	272	312	1258	100	100
1987	313	0	119	90	104	0	0	0	0	0	1287	0	634	290	363	1307	100	100
1988	295	0	124	72	99	0	0	0	0	0	1364	0	652	326	385	1366	100	100
1989	358	0	131	76	151	0	0	0	0	0	1253	0	624	324	305	1320	100	100
1990	282	0	114	70	98	0	0	0	0	0	1414	0	651	362	401	1403	100	100
1991	323	0	125	100	97	0	0	0	0	0	1298	0	610	295	393	1328	100	100
1992	283	0	119	71	93	0	0	0	0	0	1387	0	654	345	387	1376	100	100
1993	341	0	128	102	111	0	0	0	0	0	1276	0	628	294	354	1324	100	100
1994	319	0	129	75	116	0	0	0	0	0	1298	0	630	335	333	1325	100	100
1995	308	0	128	77	103	0	0	0	0	0	1349	0	618	355	376	1364	100	100
1996	310	0	126	77	106	0	0	0	0	0	1357	0	655	346	356	1374	100	100
1997	362	0	127	98	138	0	0	0	0	0	1266	0	648	288	330	1336	100	100
1998	382	0	123	110	149	0	0	0	0	0	1324	0	688	318	319	1413	100	100
1999	343	0	130	76	137	0	0	0	0	0	1292	0	634	345	313	1344	100	100
2000	334	0	122	100	112	0	0	0	0	0	1269	0	667	270	332	1311	100	100
2001	376	0	120	77	179	0	0	0	0	0	1238	0	652	325	260	1322	100	100
2002	322	0	128	73	120	0	0	0	0	0	1293	0	614	336	343	1322	100	100
2003	292	0	116	74	101	0	0	0	0	0	1345	0	645	329	371	1344	100	100
2004	312	0	124	77	112	0	0	0	0	0	1365	0	673	322	370	1385	100	100
2005	312	0	117	86	109	0	0	0	0	0	1359	0	662	320	377	1378	100	100
2006	336	0	130	80	126	0	0	0	0	0	1334	0	637	330	368	1378	100	100
2007	326	0	127	80	118	0	0	0	0	0	1368	0	635	355	378	1400	100	100
2008	330	0	128	89	112	0	0	0	0	0	1347	0	644	319	384	1385	100	100
2009	318	0	123	79	116	0	0	0	0	0	1279	0	595	324	360	1304	100	100
2010	305	0	118	80	107	0	0	0	0	0	1282	0	613	304	365	1294	100	100
2011	344	0	129	71	144	0	0	0	0	0	1225	0	604	323	298	1276	100	100
2012	389	0	120	108	161	0	0	0	0	0	1194	0	617	295	282	1292	100	100

## Anexo 2. Ejemplo de las salidas del modelo Wabal para el cultivo de maíz amarillo duro en San Martín-Selva

Year	ETA <sub>t</sub>	ETA1	ETA2	ETA3	ETA4	EXC <sub>t</sub>	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4	DEF <sub>t</sub>	DEF1	DEF2	DEF3	DEF4	TWR	WSI (raw)	WSI (corr. for surplus)
1971	460	0	85	0	375	42	0	0	0	42	346	0	199	0	147	610	76	76
1972	562	0	237	0	325	69	0	0	0	69	362	0	193	0	169	743	76	76
1973	599	0	208	0	391	20	0	0	0	20	304	0	191	0	113	721	83	83
1974	550	0	198	0	352	2	0	0	0	2	410	0	201	0	209	736	75	75
1975	562	0	231	0	331	37	0	1	0	36	335	0	179	0	155	737	76	76
1976	565	0	186	0	379	0	0	0	0	0	476	0	261	0	214	804	70	70
1977	555	0	180	0	375	28	0	0	0	28	451	0	300	0	151	839	67	67
1978	479	0	148	0	331	4	0	0	0	4	544	0	278	0	266	787	61	61
1979	521	0	160	0	361	30	0	0	0	30	463	0	284	0	179	785	67	67
1980	583	0	244	0	339	31	0	0	0	31	286	0	121	0	164	719	81	81
1981	682	0	286	0	396	74	0	0	0	74	150	0	97	0	54	750	91	91
1982	671	0	286	0	385	83	0	9	0	74	171	0	75	0	96	740	91	91
1983	724	0	298	0	425	50	0	1	0	50	192	0	86	0	106	789	92	92
1984	661	0	269	0	392	114	0	0	0	114	135	0	102	0	33	722	92	92
1985	503	0	182	0	321	4	0	0	0	4	423	0	223	0	200	728	69	69
1986	598	0	190	0	408	51	0	0	0	51	342	0	227	0	115	774	77	77
1987	618	0	251	0	367	1	0	0	0	1	354	0	167	0	187	746	83	83
1988	581	0	193	0	388	9	0	0	0	9	371	0	223	0	147	756	77	77
1989	640	0	236	0	403	64	0	1	0	63	177	0	136	0	41	703	91	91
1990	494	0	141	0	353	19	0	0	0	19	369	0	286	0	83	699	71	71
1991	545	0	229	0	316	21	0	0	0	21	326	0	153	0	173	724	75	75
1992	391	0	115	0	277	0	0	0	0	0	536	0	298	0	238	706	55	55
1993	631	0	227	0	403	137	0	0	0	137	190	0	172	0	18	722	87	87
1994	670	0	290	0	380	22	0	1	0	21	214	0	64	0	150	741	91	91
1995	578	0	269	0	309	26	0	2	0	25	312	0	81	0	231	754	77	77
1996	646	0	240	0	406	17	0	0	0	17	223	0	167	0	56	746	86	86
1997	511	0	164	0	346	9	0	0	0	9	346	0	250	0	97	719	71	71
1998	668	0	253	0	415	126	0	1	0	125	168	0	101	0	67	726	92	92
1999	643	0	245	0	398	145	0	2	0	143	138	0	133	0	5	697	92	92
2000	565	0	188	0	377	27	0	0	0	27	302	0	229	0	73	719	78	78
2001	677	0	315	0	361	75	0	0	0	74	202	0	36	0	165	765	89	89
2002	603	0	262	0	341	6	0	2	0	4	332	0	117	0	215	770	78	78
2003	547	0	174	0	373	4	0	0	0	4	413	0	255	0	158	770	71	71
2004	594	0	288	0	306	24	0	24	0	0	360	0	75	0	285	770	77	77
2005	588	0	240	0	349	9	0	0	0	9	373	0	181	0	192	770	76	76
2006	667	0	263	0	404	18	0	0	0	18	240	0	118	0	122	770	87	87
2007	565	0	277	0	288	85	0	1	0	84	359	0	109	0	250	770	73	73
2008	663	0	271	0	392	23	0	0	0	23	247	0	115	0	132	770	86	86
2009	665	0	293	0	372	35	0	0	0	35	309	0	127	0	182	770	86	86
2010	536	0	158	0	378	1	0	0	0	1	438	0	275	0	163	770	70	70
2011	553	0	215	0	338	97	0	0	0	97	394	0	198	0	196	770	72	72
2012	750	0	330	0	421	36	0	9	0	27	73	0	11	0	62	770	97	97

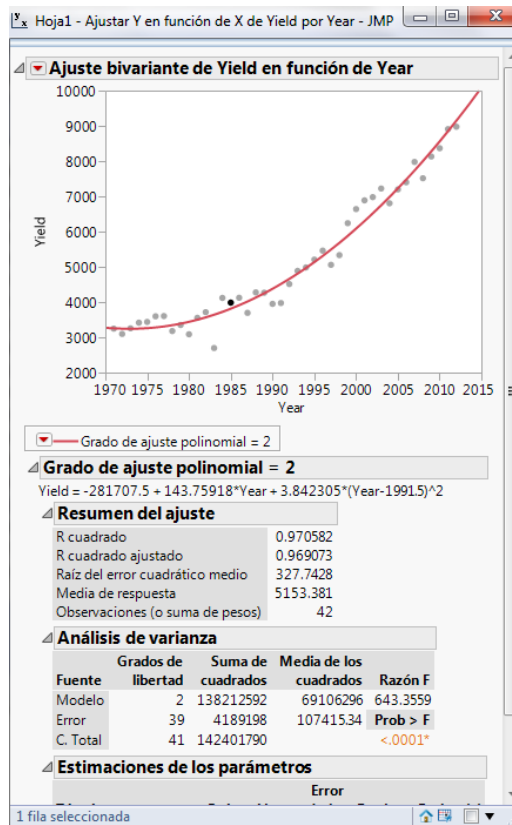
### Anexo 3. Salidas del Wabal copiado en archivos excel

	Year	ETAT	ETA1	ETA2	ETA3	ETA4	EXCt	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4	DEFt	DEF1	DEF2	DEF3	DEF4	TV
1	1977	552	0	271	132	148	0	0	0	0	0	1239	0	810	246	182	
2	1978	514	0	270	101	143	0	0	0	0	0	1360	0	847	309	203	
3	1979	566	0	258	116	192	0	0	0	0	0	1260	0	848	279	133	
4	1980	486	0	259	109	118	0	0	0	0	0	1376	0	844	287	244	
5	1981	567	0	276	121	170	0	0	0	0	0	1270	0	817	269	183	
6	1982	477	0	265	107	106	0	0	0	0	0	1415	0	850	311	253	
7	1983	910	0	468	227	215	0	0	0	0	0	660	0	519	127	13	
8	1984	583	0	258	177	148	0	0	0	0	0	1277	0	858	213	206	
9	1985	496	0	270	109	117	0	0	0	0	0	1381	0	828	309	244	
10	1986	537	0	291	124	121	0	0	0	0	0	1402	0	840	314	247	
11	1987	635	0	295	153	188	0	0	0	0	0	1193	0	799	240	154	
12	1988	522	0	267	139	115	0	0	0	0	0	1350	0	825	270	256	
13	1989	657	0	339	156	162	0	0	0	0	0	1188	0	764	236	188	
14	1990	458	0	243	109	106	0	0	0	0	0	1443	0	881	307	255	
15	1991	513	0	275	108	130	0	0	0	0	0	1407	0	876	301	229	
16	1992	577	0	270	110	197	0	0	0	0	0	1233	0	830	286	117	
17	1993	645	0	266	176	203	0	0	0	0	0	1242	0	895	220	127	
18	1994	565	0	292	117	156	0	0	0	0	0	1257	0	808	273	177	
19	1995	522	0	275	132	116	0	0	0	0	0	1359	0	829	278	252	
20	1996	520	0	276	105	139	0	0	0	0	0	1355	0	845	320	190	

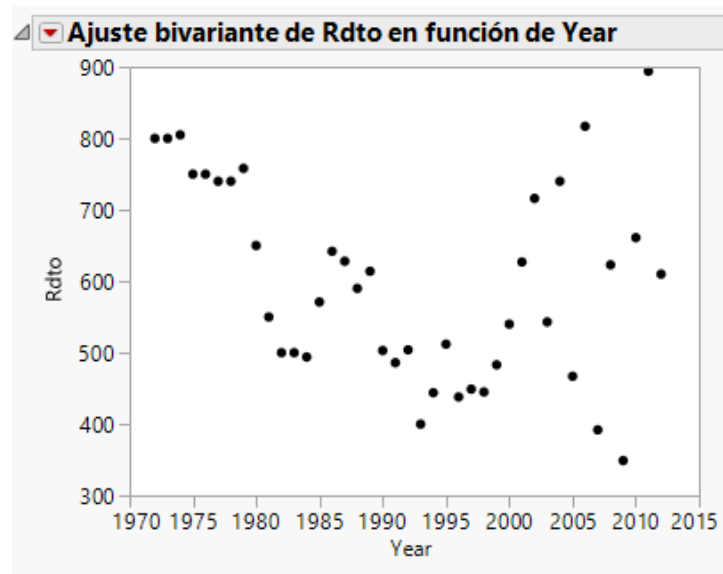
### Anexo 4. Data Yield incorporada al formato excel

	Year	Yield	ETAT	ETA1	ETA2	ETA3	ETA4	EXCt	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4	DEFt	DEF1	DEF2	DEF3	DE
1	1977	4462	552	0	271	132	148	0	0	0	0	0	1239	0	810	246	
2	1978	4545	514	0	270	101	143	0	0	0	0	0	1360	0	847	309	
3	1979	4680	566	0	258	116	192	0	0	0	0	0	1260	0	848	279	
4	1980	5063	486	0	259	109	118	0	0	0	0	0	1376	0	844	287	
5	1981	6256	567	0	276	121	170	0	0	0	0	0	1270	0	817	269	
6	1982	4975	477	0	265	107	106	0	0	0	0	0	1415	0	850	311	
7	1983	4400	910	0	468	227	215	0	0	0	0	0	660	0	519	127	
8	1984	5850	583	0	258	177	148	0	0	0	0	0	1277	0	858	213	
9	1985	5283	496	0	270	109	117	0	0	0	0	0	1381	0	828	309	
10	1986	6163	537	0	291	124	121	0	0	0	0	0	1402	0	840	314	
11	1987	6925	635	0	295	153	188	0	0	0	0	0	1193	0	799	240	
12	1988	6060	522	0	267	139	115	0	0	0	0	0	1350	0	825	270	
13	1989	5301	657	0	339	156	162	0	0	0	0	0	1188	0	764	236	
14	1990	4316	458	0	243	109	106	0	0	0	0	0	1443	0	881	307	
15	1991	5479	513	0	275	108	130	0	0	0	0	0	1407	0	876	301	
16	1992	5276	577	0	270	110	197	0	0	0	0	0	1233	0	830	286	
17	1993	5847	645	0	266	176	203	0	0	0	0	0	1242	0	895	220	
18	1994	7731	565	0	292	117	156	0	0	0	0	0	1257	0	808	273	
19	1995	6541	522	0	275	132	116	0	0	0	0	0	1359	0	829	278	
20	1996	5708	520	0	276	105	139	0	0	0	0	0	1355	0	845	320	

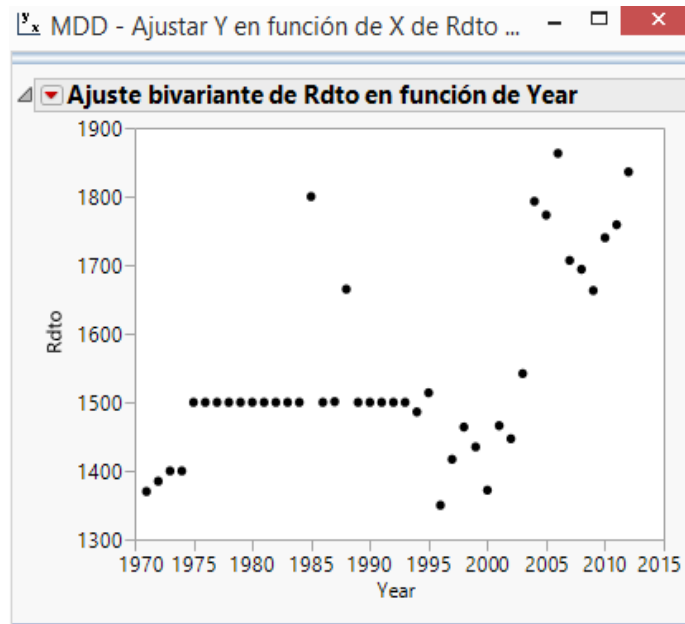
## Anexo 5. Gráficos con ajuste polinomial.



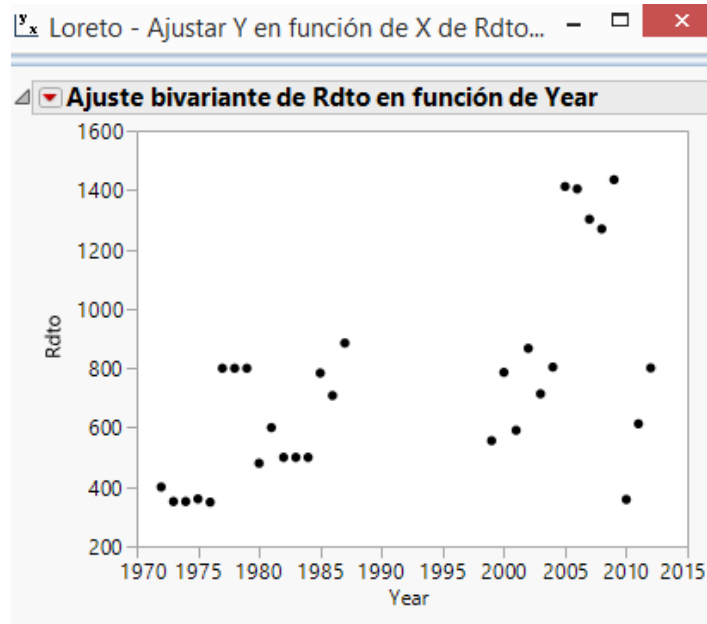
## Anexo 6. Gráfico de rendimientos sin tendencia



### Anexo 7. Gráfico de rendimientos con rendimientos iguales



### Anexo 8. Gráfico de rendimientos con datos faltantes en algunos años



## Anexo 9. Selección de años (1972-1992) que se excluyeron para generar el modelo

Year	Ritro Amazonas	residuos	ETA1	ETA2	ETA3	ETA4	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4	DEF1	DEF2	DEF3	DEF4	TWR	WSI (raw)		
1972	8722	-567.9123437	1192	87	493	0	612	1	0	1	0	2060	138	314	0	1607	2295	52
1973	8845	-248.640564	1166	121	513	0	533	3	0	3	0	2133	95	226	0	1812	2399	49
1974	8754	-158.7101014	1119	134	403	0	582	0	0	0	0	2118	9	465	0	1644	2250	50
1975	8782	34.87914394	1175	104	334	0	737	0	0	0	0	2161	117	558	0	1486	2276	52
1976	8785	188.1271721	1301	132	476	0	693	2	0	2	0	1841	75	257	0	1508	2190	60
1977	9140	678.033983	1057	138	353	0	565	0	0	0	0	2309	31	522	0	1756	2337	45
1978	8527	184.5995768	1159	89	497	0	573	1	0	1	0	2124	128	282	0	1713	2288	51
1979	9144	905.8239533	975	88	324	0	564	0	0	0	0	2482	129	602	0	1751	2379	41
1980	8445	295.7071126	931	66	379	0	486	1	0	1	0	2429	150	468	0	1811	2319	40
1981	8430	354.2490548	954	91	309	0	555	0	0	0	0	2493	136	615	0	1742	2378	40
1982	8971	953.4497797	1099	93	458	0	548	1	0	1	0	2317	122	376	0	1819	2403	46
1983	8080	105.3092874	997	68	305	0	624	0	0	0	0	2423	153	615	0	1654	2364	42
1984	7975	27.8275787	1476	157	632	0	687	393	61	249	0	84	1490	0	1	1489	2407	61
1985	8232	297.0046512	1158	114	514	0	531	4	0	4	0	2240	74	293	0	1873	2479	47
1986	7794	-144.1594927	716	43	231	0	442	0	0	0	0	2857	183	740	0	1934	2492	29
1987	7855	-101.6648539	916	77	365	0	474	0	0	0	0	2527	146	538	0	1843	2381	39
1988	7271	-719.5114322	1011	139	472	0	400	0	0	0	0	2499	43	427	0	2029	2497	41
1989	7293	-746.6992277	846	109	306	0	431	0	0	0	0	2716	95	642	0	1978	2494	34
1990	7318	-786.2282404	1096	140	429	0	528	1	0	1	0	2315	37	414	0	1865	2414	46
1991	6940	-1244.09847	1011	125	390	0	496	0	0	0	0	2560	99	585	0	1876	2494	41
1992	7563	-716.3099175	886	76	384	0	426	0	0	0	0	2703	163	548	0	1992	2513	35
1993	6829	-1560.862582	875	52	418	0	406	0	0	0	0	2603	173	439	0	1991	2427	36
1994	7956	-559.7564634	1176	117	556	0	503	0	0	0	0	2127	94	166	0	1867	2396	49
1995	7731	-925.9915622	1140	131	479	0	531	0	0	0	0	2173	66	273	0	1834	2380	48
1996	9007	193.4321218	776	78	315	0	384	0	0	0	0	2889	154	643	0	2092	2567	30
1997	8436	-549.4854114	819	94	340	0	385	0	0	0	0	2708	128	558	0	2022	2458	33
1998	9357	184.2550383	939	57	422	0	460	0	0	0	0	2582	184	463	0	1935	2463	38

## Anexo 10. Selección “paso a paso” para ejecutar el modelo

**Especificación del modelo**

Seleccionar columnas: 36 columnas

- DEF3
- DEF4
- TWR
- WSI (raw)
- WSI (corr. for surplus)
- jul\_Tmax
- ago\_Tmax
- sep\_Tmax
- oct\_Tmax
- nov\_Tmax
- jul\_tmin
- ago\_tmin
- sep\_tmin
- oct\_tmin
- nov\_tmin
- jul\_prec
- ago\_prec
- sep\_prec
- oct\_prec
- nov\_prec

Elegir variables de papel:

- Y
- Yield without trend (opcional)
- Peso: numérico opcional
- Frecuencia: numérico opcional
- Por: opcional

Personalidad: Mínimos cuadrados estándar

Énfasis: Mínimos cuadrados estándar, Paso a paso, Manova, Varianza log-lineal, Logística nominal, Logística ordinal, Riesgo proporcional, Supervivencia paramétrica, Modelo lineal generalizado, Cribado de respuestas

Construir efectos del modelo:

- Agregar
- Cruzar
- Anidar
- Macros
- Grado: 2
- Atributos
- Transformación
- Sin constante del modelo



## Anexo 11. Selección del umbral del valor p

Amazonas - Ajuste por regresión paso a paso - JMP

**Ajuste por regresión paso a paso para residuos**

**Control de la regresión paso a paso**

Regla de detención: Umbral del valor p    
 Prob. que introducir 0.05    
 Prob. que dejar 0.1

Dirección: Adelante

21 filas no utilizadas a causa de valores faltantes o filas excluidas.

SSE	Grados de libertad del error	RMSE	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Cp	p	AICc	BIC
18772517	19	993.99557	0.0000	0.0000	.	1	336.5069	337.7925

**Estimaciones actuales**

Proteger	Introducido	Parámetro	Estimación	Grados de libertad del numerador	Suma de cuadrados	"Razón F"	"Prob > F"
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Constante del modelo	70.4461626	1	0	0.000	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ETA1	0	1	4573289	0.449	0.5111
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ETA2	0	1	3385342	0.003	0.95519
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ETA3	0	1	19478.42	0.019	0.89276
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ETA4	0	0	0	.	.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ETA4	0	1	1333250	1.376	0.25605
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	EXCt	0	1	196301.7	0.190	0.66793
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	EXC1	0	1	243972.8	0.237	0.63225
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	EXC2	0	1	188099	0.182	0.67456
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	EXC3	0	0	0	.	.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	EXC4	0	1	257702.6	0.251	0.62276
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEF1	0	1	122834.9	0.119	0.7346
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEF1	0	1	699993.4	0.067	0.79815
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEF2	0	1	6821.191	0.007	0.93642
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEF3	0	0	0	.	.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEF4	0	1	1314663	1.355	0.25952
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	TWR	0	1	430187.6	0.422	0.52407
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	WSI (raw)	0	1	501617.9	0.494	0.49106
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	WSI (corr. for surplus)	0	1	501617.9	0.494	0.49106
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	TmaxENE	0	1	3456851	4.063	0.05902

## Anexo 12. Validación del modelo

CN\_MAD verano\_La Libertad2 - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA JMP PDF Architect 3 Creator

Calibri 11 Fuente Alineación Número Estilos Celdas

Year	Yield Without	MAR_Tmax	Year	Yield Without	MODEL
1972	-148.052184	24.1	1972	-148.052184	260.8222
1973	14.3399643	24.5	1973	14.3399643	162.235
1974	169.04136	23.4	1974	169.04136	433.3498
1975	176.052003	23.3	1975	176.052003	457.9966
1976	315.371894	24	1976	315.371894	285.469
1977	295.001032	24.4	1977	295.001032	186.8818
1978	-167.060583	25.3	1978	-167.060583	-34.9394
1979	-38.81295	24.6	1979	-38.81295	137.5882
1980	-354.25607	26.1	1980	-354.25607	-232.1138
1981	54.6100584	24.6	1981	54.6100584	137.5882
1982	147.785434	25.4	1982	147.785434	-59.5862
1983	-944.729943	26.1	1983	-944.729943	-232.1138
1984	394.063927	24.6	1984	394.063927	137.5882
1985	171.167045	24.9	1985	171.167045	63.6478
1986	212.57941	24.9	1986	212.57941	63.6478
1987	-321.698977	26.1	1987	-321.698977	-232.1138
1988	146.331883	25.6	1988	146.331883	-108.8798
1989	15.6719908	24.4	1989	15.6719908	186.8818
1990	-428.678654	26.1	1990	-428.678654	-232.1138
1991	-540.720051	25.6	1991	-540.720051	-108.8798
1992	-145.452201	26.3	1992	-145.452201	-281.4074
1993	75.1248964	25	1993	75.1248964	39.001

Título del gráfico

Título del gráfico

R<sup>2</sup> = 0.4226

**MATRIZ DE IMPACTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN EL RENDIMIENTO DE  
LOS CULTIVOS SELECCIONADOS EN EL PROYECTO AMICAF**

CULTIVOS /REGIONES	Impactos positivos		Impactos negativos	
	Escenario medio (RCP 4.5)	Escenario alto (RCP8.5)	Escenario medio (RCP 4.5)	Escenario alto (RCP8.5)
<b>YUCA</b>				
Loreto	*	**		
Junín	**	**		
San Martín	**	**		
Cuzco	**	**		
<b>MAIZ AMARILLO DURO</b>				
Ancash			**	**
Huánuco			*	*
Ucayali	**	**		
Cuzco	Poca confiabilidad	Poca confiabilidad		
<b>ARROZ</b>				
Loreto			**	**
La Libertad			**	**
Huánuco			*	*
Junín			Poca confiabilidad *	Poca confiabilidad*
Ucayali			Poca confiabilidad	*
<b>PLATANO</b>				
Amazonas			**	**
Cajamarca	**	**		
Cuzco	**	**		
Junín	**	**		
Loreto				
Madre de Dios	*	**		
<b>MAIZ AMILACEO</b>				
Ayacucho			**	**
La Libertad			Poco confiable	Poco confiable
Tacna	**	**		
<b>TRIGO</b>				
Apurímac			Poco confiable	Poco confiable
Arequipa			**	**
Cajamarca			**	**
Huancavelica			Poco confiable	Poco confiable *
Junín			Poco confiable	Poco confiable
La Libertad			Poco confiable	Poco confiable*
Puno	Poco confiable*	Poco confiable		
<b>PAPA</b>				
Lima			**	**
Ica			**	**

Tacna			**	**
La libertad			*	*
Huánuco			**	**
Cuzco			Poco confiable	*
Moquegua	*	**		
<b>CEBADA</b>				
Cerro de Pasco	**	**		
Junín			*	**
Huancavelica			**	**
Ayacucho			Poco confiable	Poco confiables
<b>ARVEJA</b>				
Ayacucho			**	**
Junín			*	**
<b>HABA</b>				
Huánuco	**	**		
Junín	*	*		
Ayacucho			**	**
<b>FRIJOL</b>				
Cuzco			**	**
Cajamarca	**	**		
Huánuco	**	**		
Ucayali	**	**		
Junín	*	*		
<b>CACAO</b>				
Ucayali	*	Poco confiable		
San Martin	**	**		
Loreto			Poco confiable	**
Madre de Dios	*	Poco confiable		
<b>CAFÉ</b>				
Madre de Dios			**	**
Junín	**	**		
Cerro de Pasco	*	**		
Cuzco	**	**		
<b>CEBOLLA</b>				
Arequipa			**	**
<b>TOMATE</b>				
Ancash			**	**
Lima			**	**
<b>CAMOTE</b>				
Piura			**	**

Fuente:?