



## Reducción de escala estadística y corrección de errores de sesgo de los datos sobre el cambio climático aplicados a la modelación de cultivos en Centroamérica



UNIGIS



PARIS  
LODRON  
UNIVERSITÄT  
SALZBURG



CATHOLIC RELIEF SERVICES



CIMMYT  
International Maize and Wheat  
Improvement Center

*Taking Tortillas Off the Roaster:  
Climate-Resilient Farm and Food  
Systems for Central America (TOR2)*

Carlos Navarro-Racines, Carlos Gonzalez

J. Ramírez-Villegas, E. Martínez, D. Martínez-Barón, A. Eitzinger

Septiembre 2024

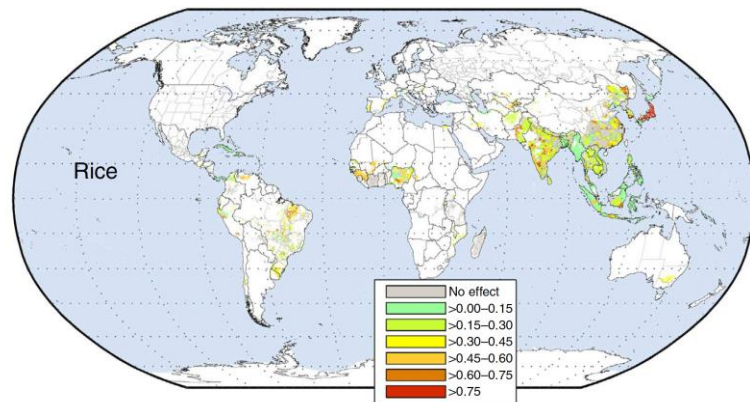
*II Reunión de la Comunidad de Práctica en Estadísticas Agropecuarias de México, Centroamérica y República Dominicana*

La Alianza es parte de CGIAR, un consorcio mundial de investigación para un futuro sostenible. El consorcio está formado por 15 centros de investigación, 10 de ellos en el mundo de habla hispanica.

# ¿Por qué decisiones climáticamente inteligentes?

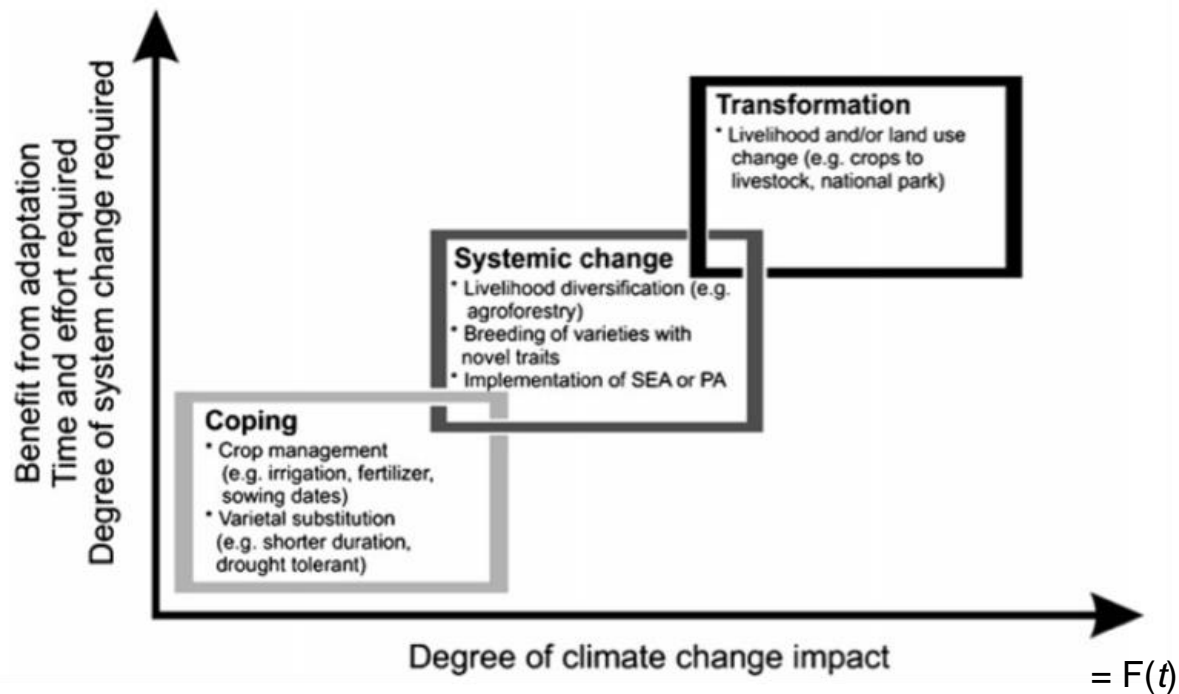


- El clima influye ~32-39% de la productividad
- Nuestros sistemas son sensibles a él, no *resilientes* a él



[1] Total crop yield variability explained due to climate variability over the last three decades (Ray et al., 2015)

# Adaptación en escalas de tiempo



- Corto plazo
  - Basado en pronóstico agroclimático
- Mediano plazo
  - Enfoque amplio en mejoras genéticas
  - Impacto potencial del cambio climático progresivo sobre la agricultura.
- Nivel de transformación
  - Cambios en los sistemas de cultivo en general
  - Cambio de uso de la tierra

Ramirez-Villegas and Khoury (2013) Climatic Change

# Preguntas de investigación

1. ¿Como el cambio climático futuro puede afectar la aptitud y la distribución geográfica de los principales cultivos de importancia para la seguridad alimentaria en Centroamérica, este de México y el Caribe?
2. ¿En qué zonas los sistemas de producción de los principales cultivos de importancia para la seguridad alimentaria en la región deben ser adaptados, dónde deben ser diversificados o dónde pueden establecerse nuevas áreas de producción?
3. ¿Cuál es la incertidumbre asociada a la cuantificación de los impactos del cambio climático futuro sobre los principales cultivos de importancia para la seguridad alimentaria en la región?

## Mensaje 1

Necesitamos modelos de clima y cultivos para cuantificar impactos y para diseñar opciones de adaptación efectivas.



Datos  
biofísicos y  
de clima



Opciones de  
adaptación  
efectivas

# Metodología: Enfoque modelación clima-cultivo



## Impacto e incertidumbres



- Incertidumbres modelación de clima
- Incertidumbres modelación de cultivos
- Opciones de adaptación
- Evaluación de ventajas comparativas

## Modelación de cultivos

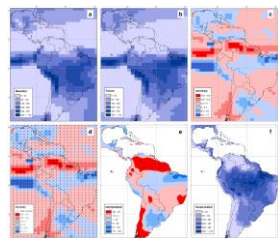


- 14 cultivos seleccionados
  - 7 seguridad alimentaria y 7 de generación de ingresos
  - Calibración de parámetros
  - Datos de presencia (GBIF, Monfreda, MAPSPAM)

## Modelación Climática

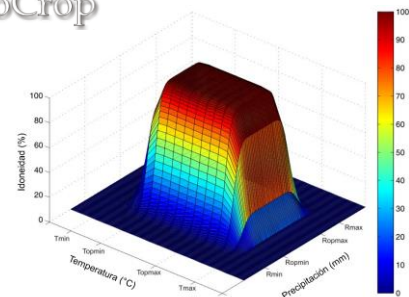


- Clima histórico
  - WorldClim v2.1
- Clima futuro
  - IPCC-CMIP6, 5 Km
  - 24 GCMs, 3 SSPs
  - 2030s, 2050s, 2070s
  - Anomalías climáticas
  - Escenarios climáticos
  - Evaluación skill



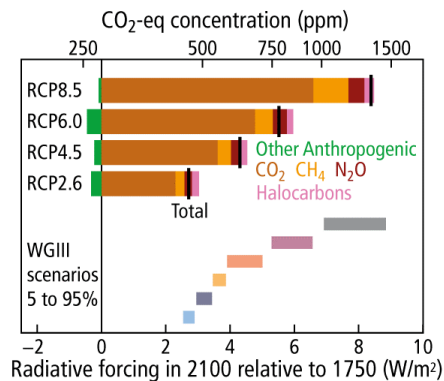
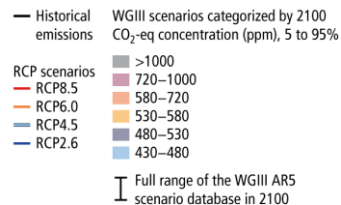
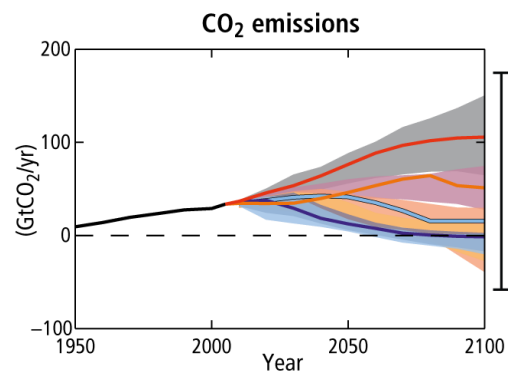
- Aptitud climática actual
- Aptitud climática futura
  - Cambios en aptitud
  - Identificación de áreas de adaptación, diversificación y áreas potenciales.

EcoCrop



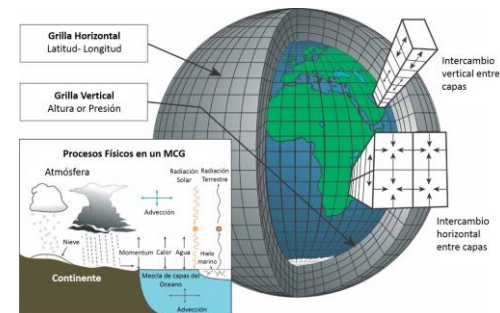
# Proyección de clima futuro: Escenarios y Modelos de Clima

## RCP



Escenarios de emisión y los niveles de forzamiento radiativo resultantes para las Vías de Concentración Representativas (RCP; IPCC, 2013)

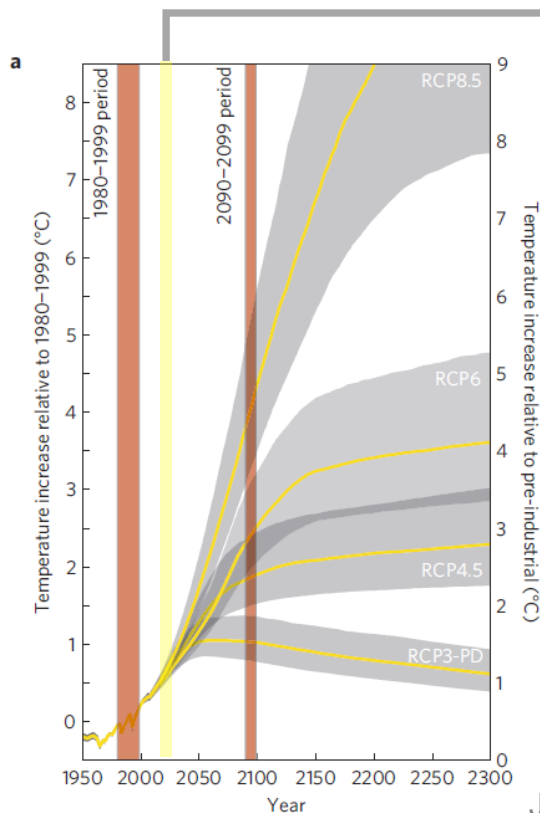
## GCM



Los Modelos de Circulación General (GCM) son la manera en que podemos proyectar el clima a futuro



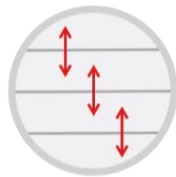
## Mensaje clave 2



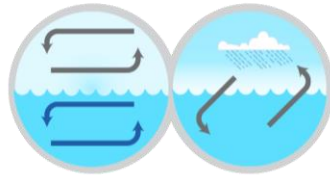
En la agricultura, los diferentes escenarios de emisiones no son importantes... de aquí a 2030-2040 la **diferencia entre escenarios es mínima**

J. Rogelj et al, 2012

# Evolución de los GCMs



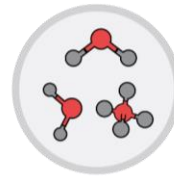
1890s  
Radiative  
Transfer



1960s  
Non-Linear  
Fluid Dynamics    Hydrological  
Cycle



1970s  
Sea Ice and  
Land Surface



1990s  
Atmospheric  
Chemistry



2000s  
Aerosols and  
Vegetation

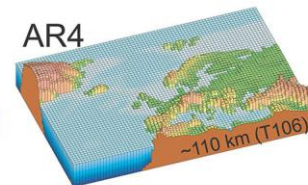
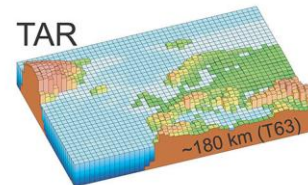
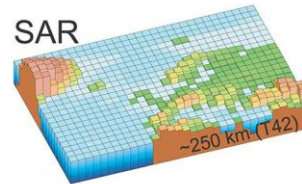
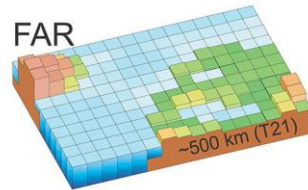


2010s  
Biogeochemical  
Cycles and Carbon

Energy Balance Models

Atmosphere-Ocean General Circulation Models

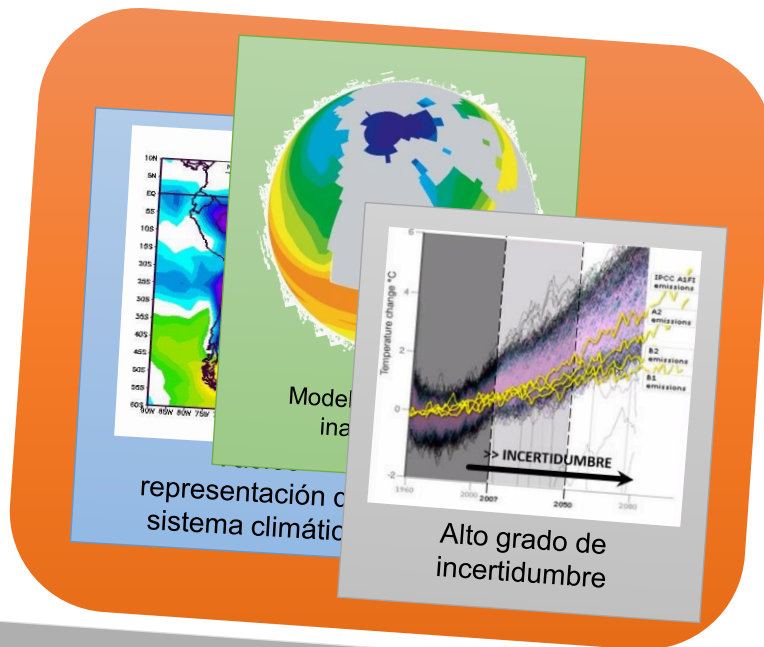
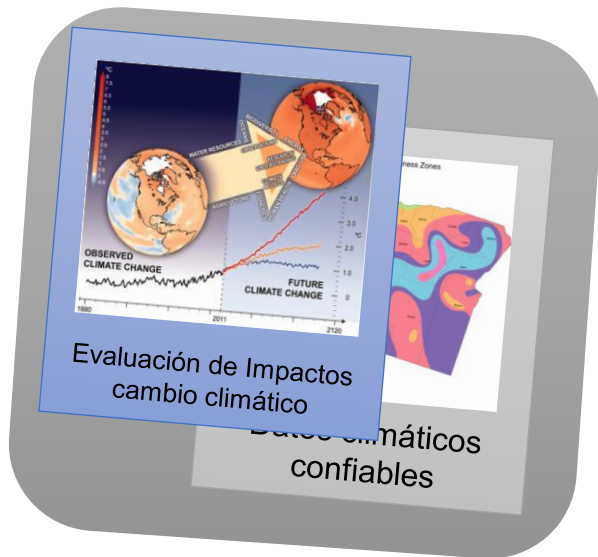
Earth System Models



AR5 ~50 Km



# Clima & Agricultura



**Necesidades**

**Limitaciones**

# Set de datos BCSD de alta resolución

[www.nature.com/scientificdata](http://www.nature.com/scientificdata)

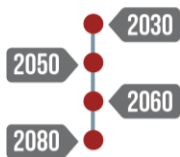
## SCIENTIFIC DATA

### OPEN High-resolution and bias-corrected DATA DESCRIPTOR CMIP5 projections for climate change impact assessments

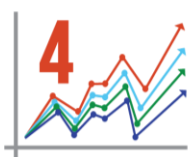
Carlos Navarro-Racines<sup>1,2</sup>, Jaime Tarapues<sup>1,2</sup>, Philip Thornton<sup>2,3</sup>, Andy Jarvis<sup>1,2</sup> & Julian Ramirez-Villegas<sup>1,2,4\*</sup>



35  
General  
Circulation  
Models (GCM)



4 different  
30-year running  
mean periods



4  
Representative  
Concentration  
Pathways (RCP)



436  
Different global  
scenarios produced.  
(Not all GCM are available  
for each RCP).

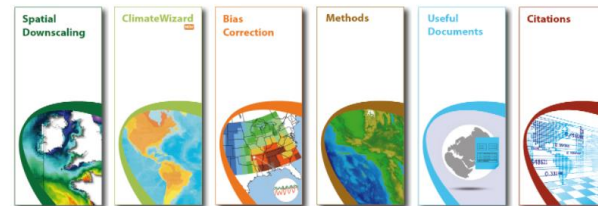


Contact About Us



Home Data Methods Documentation Links Citations

News: When citing the CCAFS-Climate Statistically Downscaled Delta Method data please cite our new paper: Navarro-Racines, C., Tarapues, J., Thornton, P., Jarvis, A., and Ramirez-Villegas, J. 2020. High-resolution and bias-corrected CMIP5 projections for climate change impact assessments. Sci Data 7, 7. doi:10.1038/s41597-019-0343-8



Data Provided by the CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS)

The data distributed here are in ARC GRID, and ARC ASCII format, in decimal degrees and datum WGS84. CCAFS and its partners have processed this data to provide seamless continuous future climate surfaces. Users should acknowledge CCAFS as the source used in the creation of any reports, publications, new data sets, derived products, or services resulting from the use of this data set. For commercial access to the data, send requests to Andy Jarvis at the International Center for Tropical Agriculture (CIAT).

These open-access datasets are hosted by Amazon Web Services.



This work by <http://ccafs-climate.org/> is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



CCAFS GCM DATA PORTAL  
2014

<http://www.ccafs-climate.org>



# Corrección de sesgo (Downscaling estadístico)

- Base climatológica: **WorldClim**
- Tomar superficies GCM originales (series de tiempo)
- Calcular promedios para línea base y períodos específicos
- Calcular anomalías
- Interpolan anomalías (spline)
- Sumar anomalías a **WorldClim**

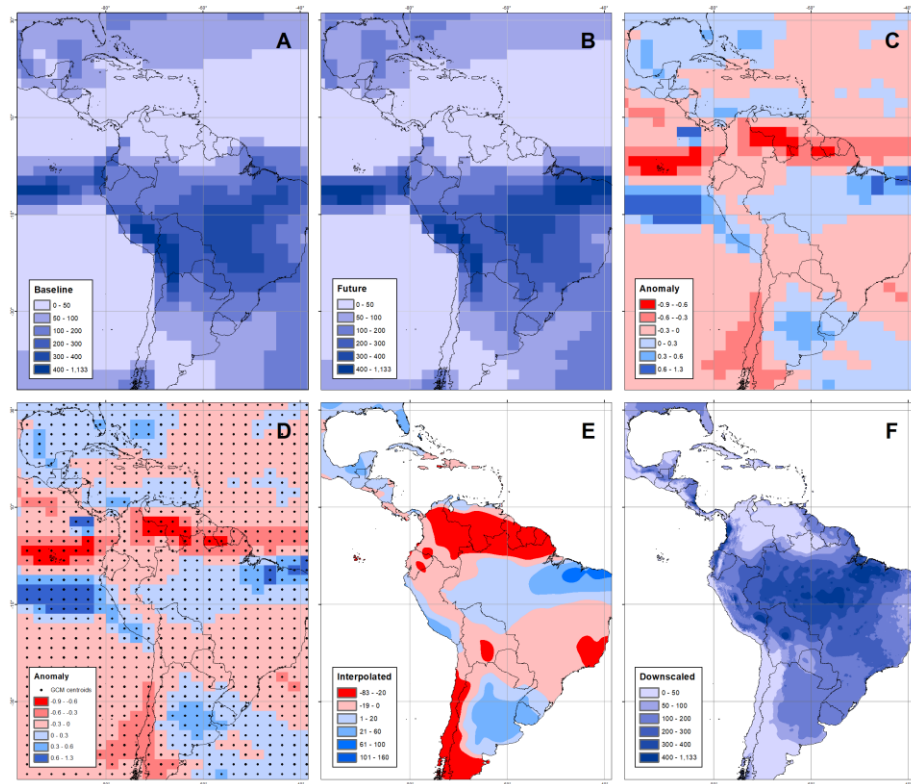
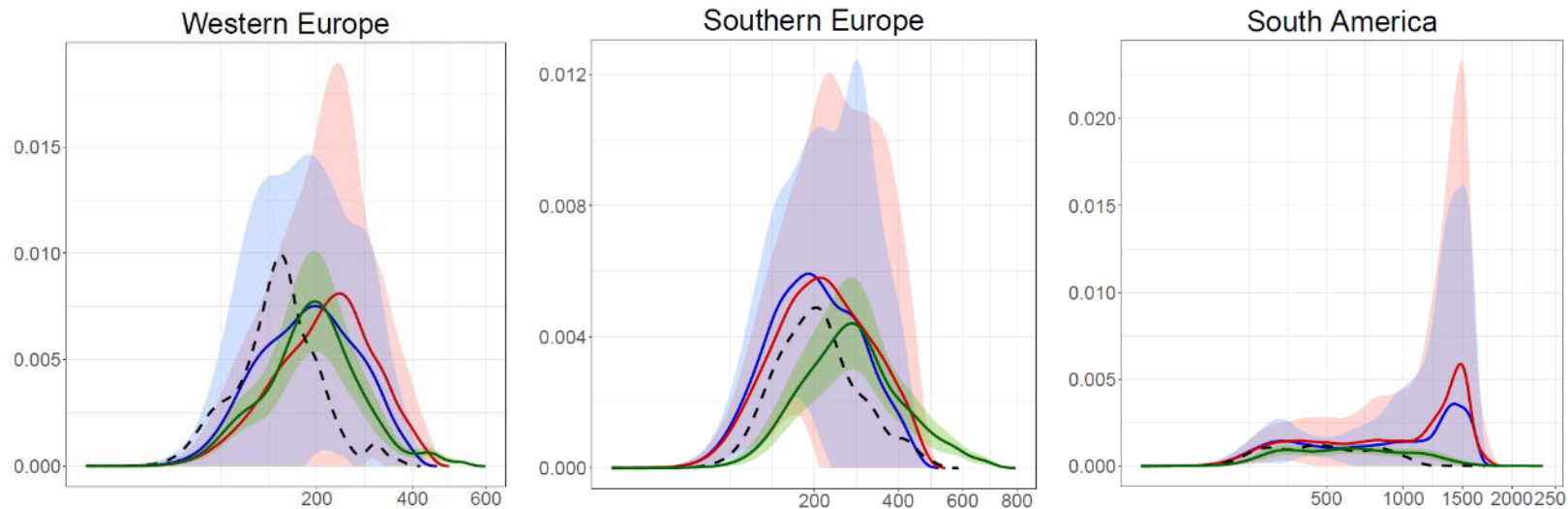


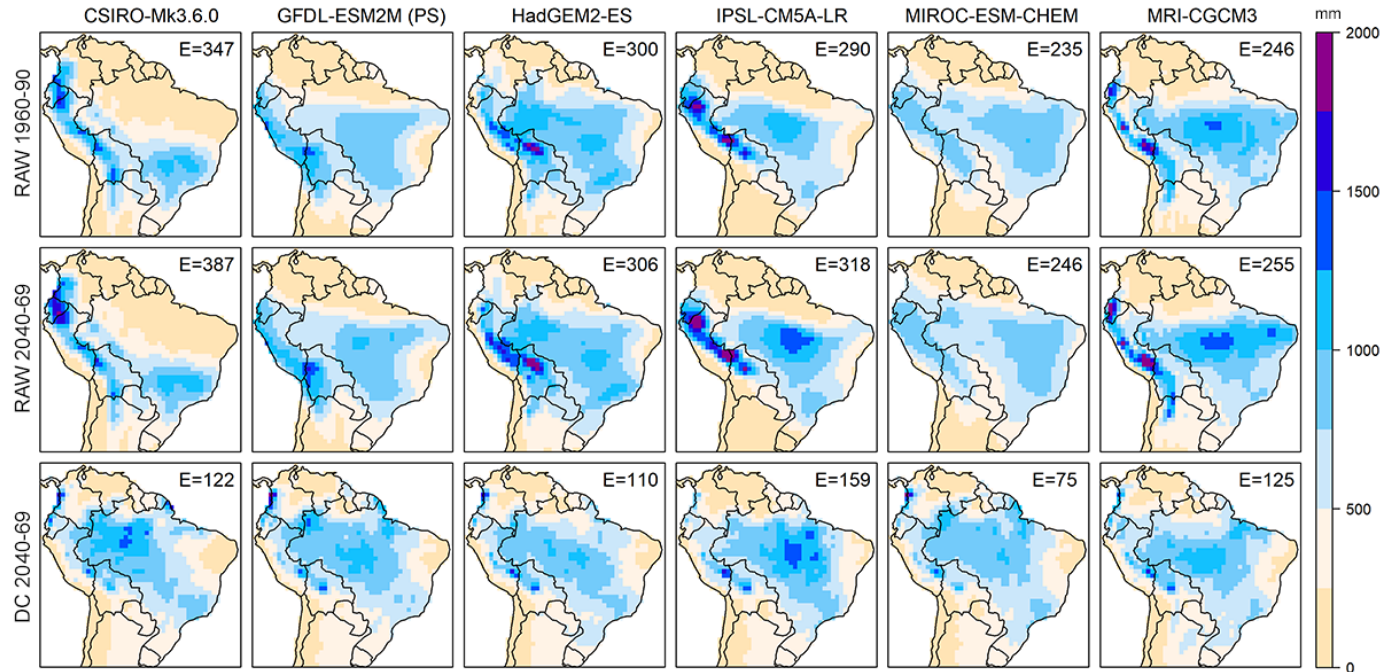
Fig. 1. Ilustración del proceso de reducción de escala con la precipitación total de enero utilizando el patrón GCM GFDL-CM3. (a) Datos de referencia, (b) datos futuros para la década de 2050 (promedio 2040-2069), (c) delta o anomalía para la década de 2050, (d) delta o anomalía para la década de 2050 con centroides (puntos) GCM superpuestos, (e) anomalía interpolada de 30 arcos-segundos y (f) superficie climática futura reducida a una resolución espacial de 30 arcos-segundos. Valores en mm/mes.

# Validación



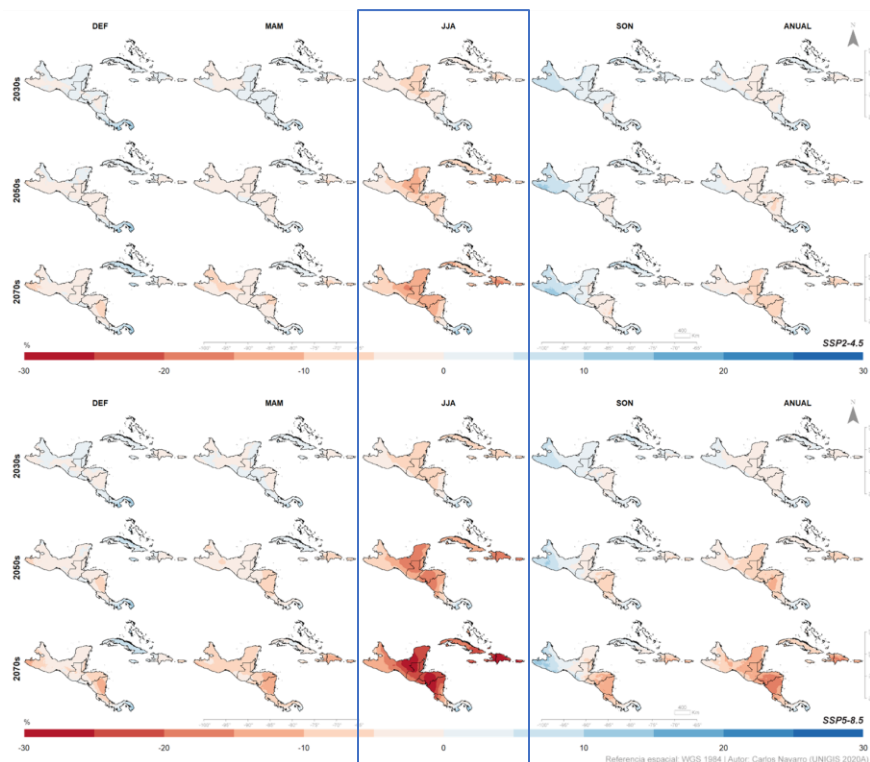
Funciones de densidad de probabilidad (PDF) de la precipitación estacional para la temporada diciembre-enero-febrero en comparación con las observaciones. Las líneas continuas pertenecen al promedio de PDF y el sombreado muestra el promedio  $\pm$  una desviación estándar, para todos los GCM-futuro (rojo), GCM-histórico (azul) y DC GCM (verde). La línea punteada es el PDF promedio de las observaciones (es decir, WorldClim).  
(Navarro-Racines, et al, 2020)

# Evaluación

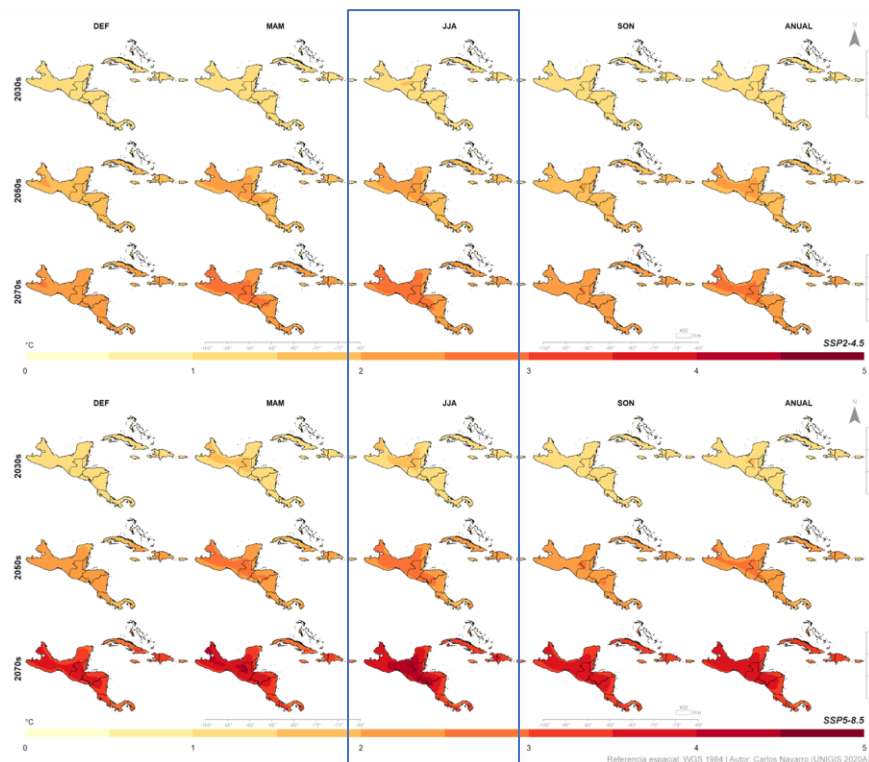


Demostración de la metodología de calibración de DC utilizando una variedad de simulaciones de GCM. Los mapas muestran resultados para la lluvia estacional DJF. GFDL-ESM2M se selecciona como el "hermano perfecto" para la verificación con las proyecciones calibradas utilizando otros datos de GCM. El error RMS para la región que se muestra se da como el valor E en la parte superior derecha de los mapas. (Navarro-Racines, et al, 2020)

# Resultados: Cambios proyectados en la región

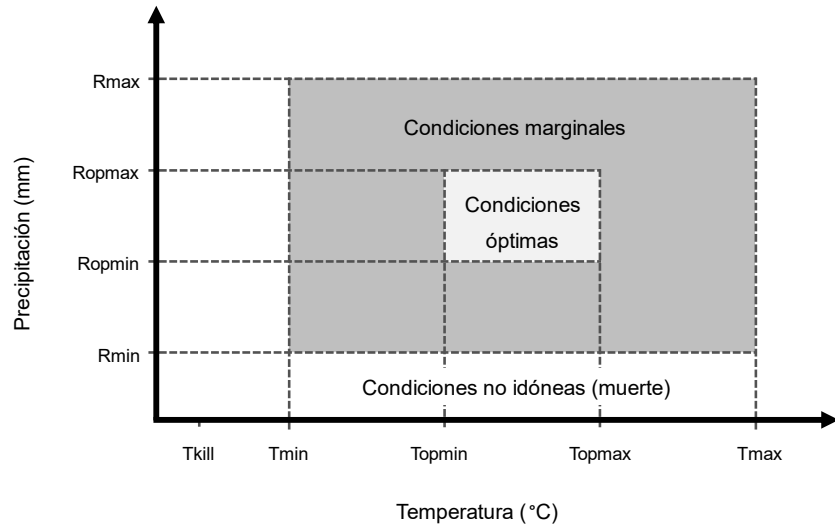


Cambios proyectados en precipitación estacional para 2030s, 2050s y 2070s, bajo los escenarios SSP2-4.5 (arriba) y SSP5-8.5 (abajo).

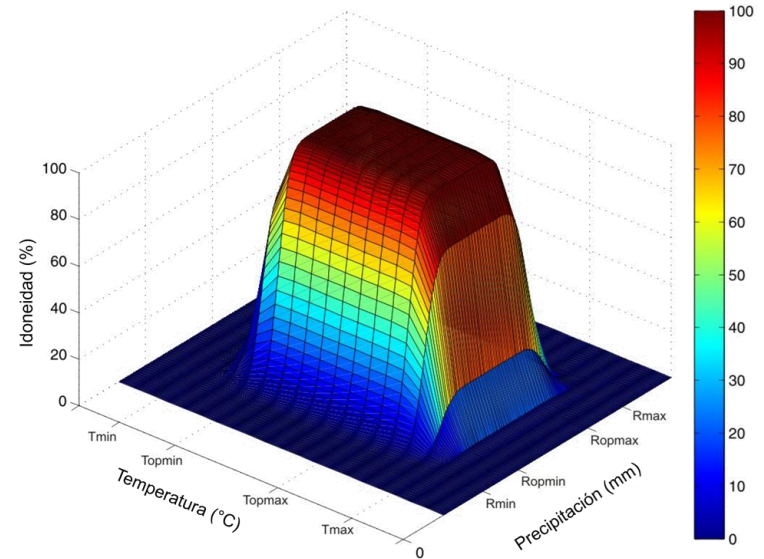


Cambios proyectados en temperatura media para 2030s, 2050s y 2070s, bajo los escenarios SSP2-4.5 (arriba) y SSP5-8.5 (abajo).

# Metodología: El model EcoCrop



El modelo evalúa si existen condiciones climáticas adecuadas dentro del ciclo de un cultivo determinado y...



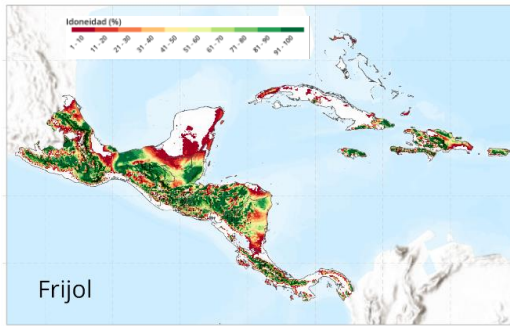
...calcula la aptitud climática de la interacción resultante entre precipitación y temperatura

*Modificado de Ramírez-Villegas et al. (2013)*

# Frijol

Idoneidad actual

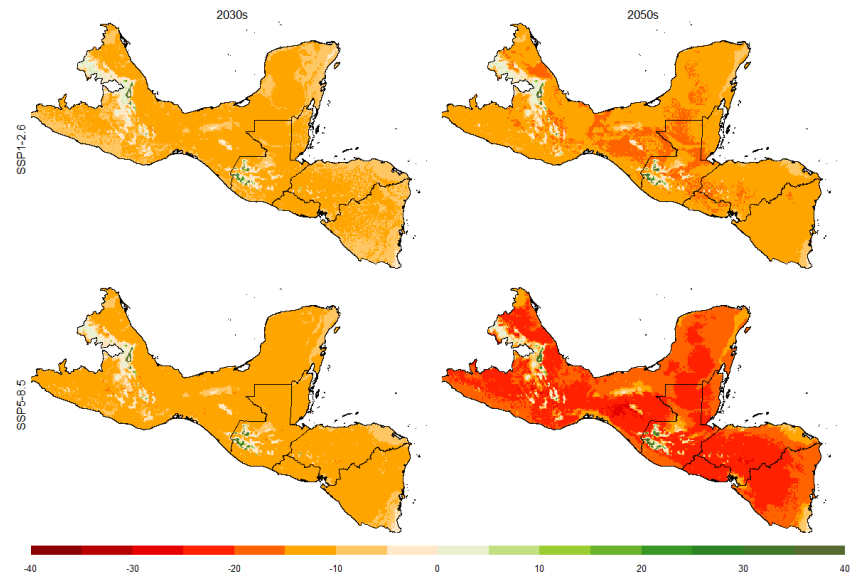
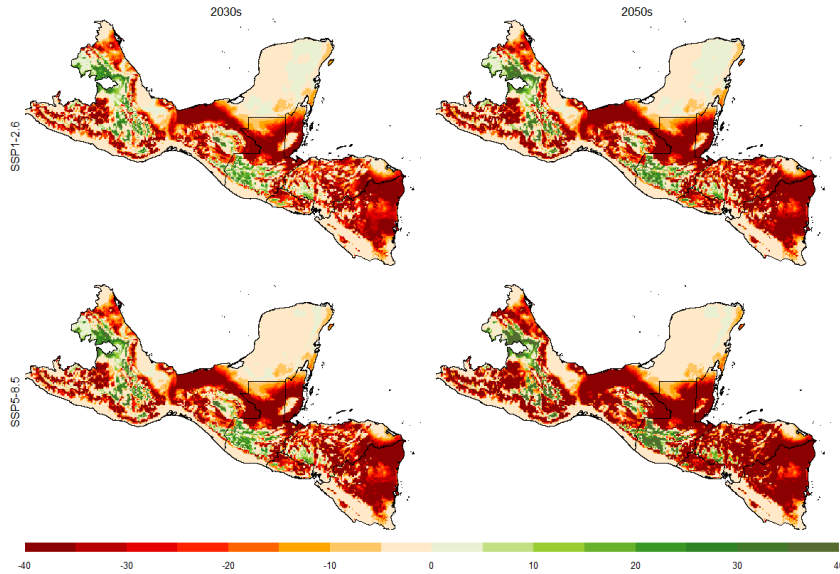
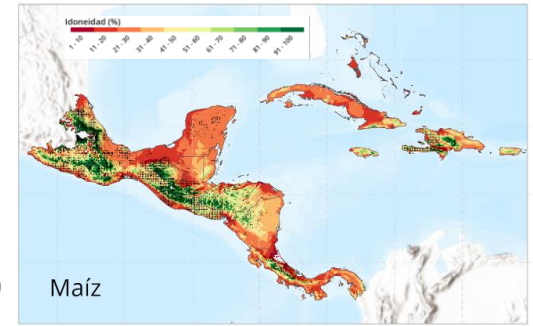
WorldClim v2.1 1970-2000



# Maíz

Idoneidad actual

WorldClim v2.1 1970-2000

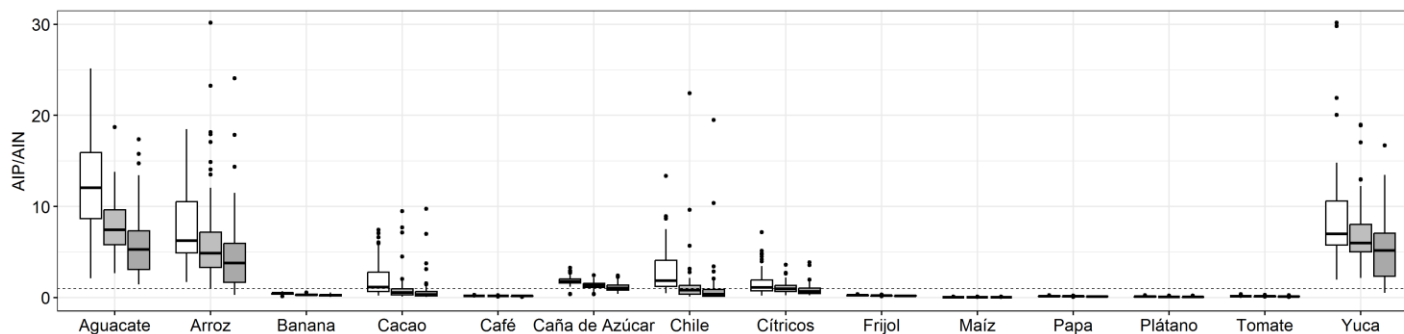
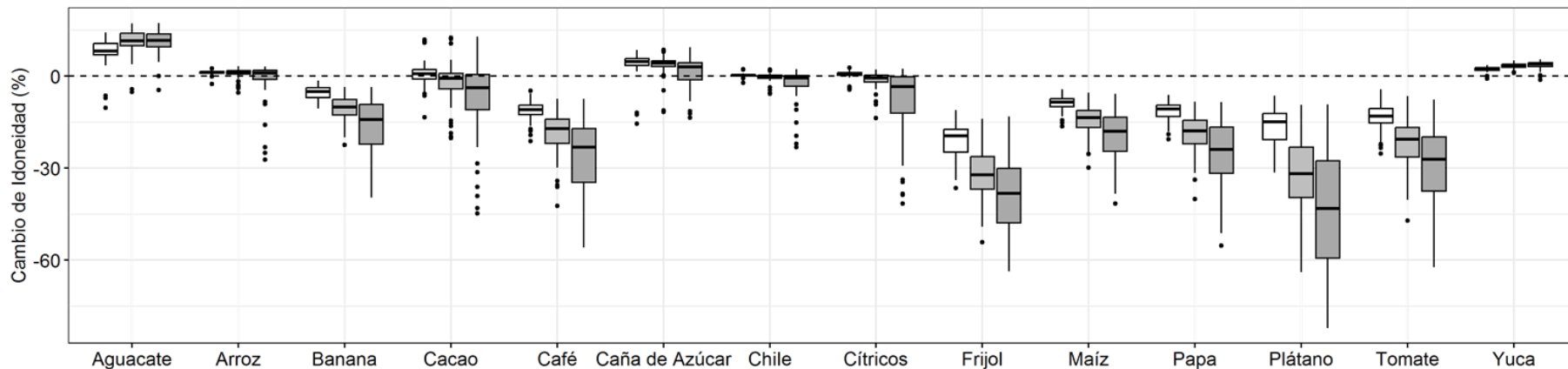


Cambio de idoneidad futura

24 GCM del CMIP6 SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5; 2030s, 2050s, 2070s



# Cambios en idoneidad y áreas aptas



Cambio de idoneidad (%) de la proporción de áreas impactadas positiva y negativamente (AIP/AIN).

Los diagramas de caja son combinaciones de cultivos por periodo (2030s blanco, 2050s gris, 2070s gris oscuro) considerando todos los SSP. Líneas gruesas son la mediana; las cajas muestran el primer y tercer cuartil.

## Mensaje clave 3

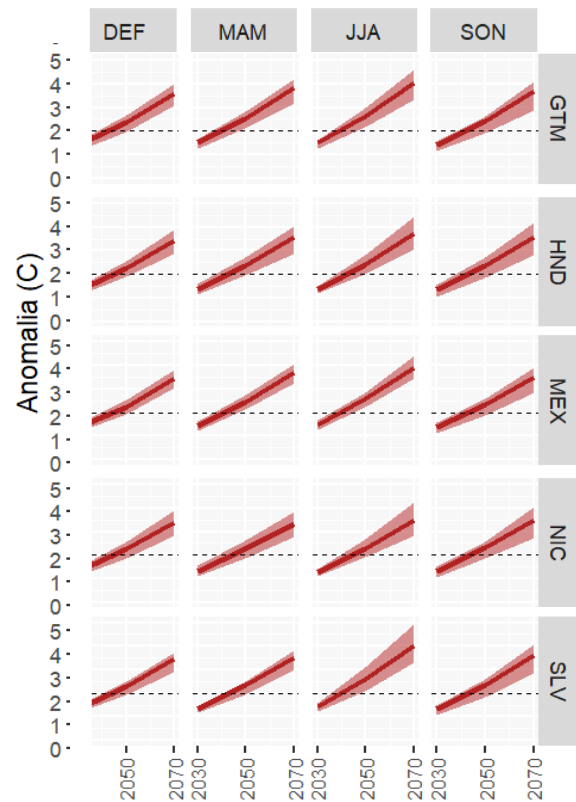
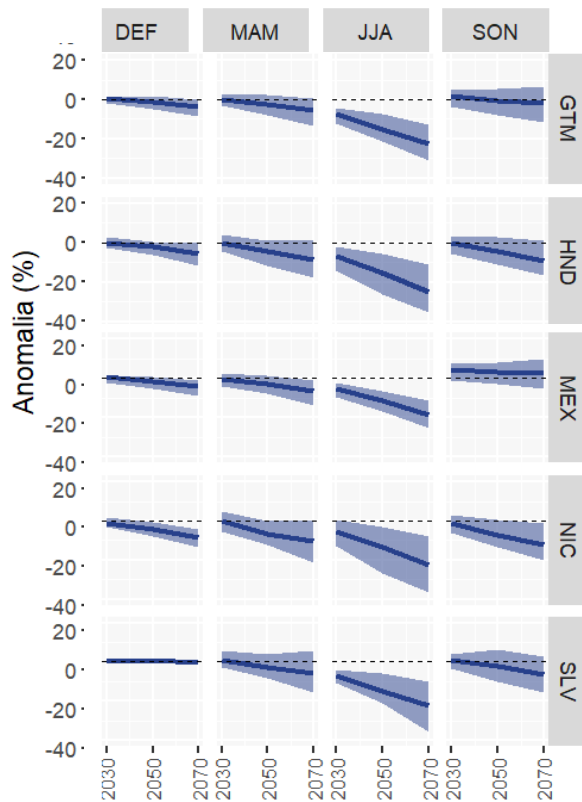
La incertidumbre científica *SI* es relevante para la agricultura: tenemos que tomar decisiones dentro de un contexto de incertidumbre



"Some say it's irrevocable, others say it's irreversible. Given such an absence of consensus I suggest we do nothing drastic."

# Cuantificación de incertidumbres

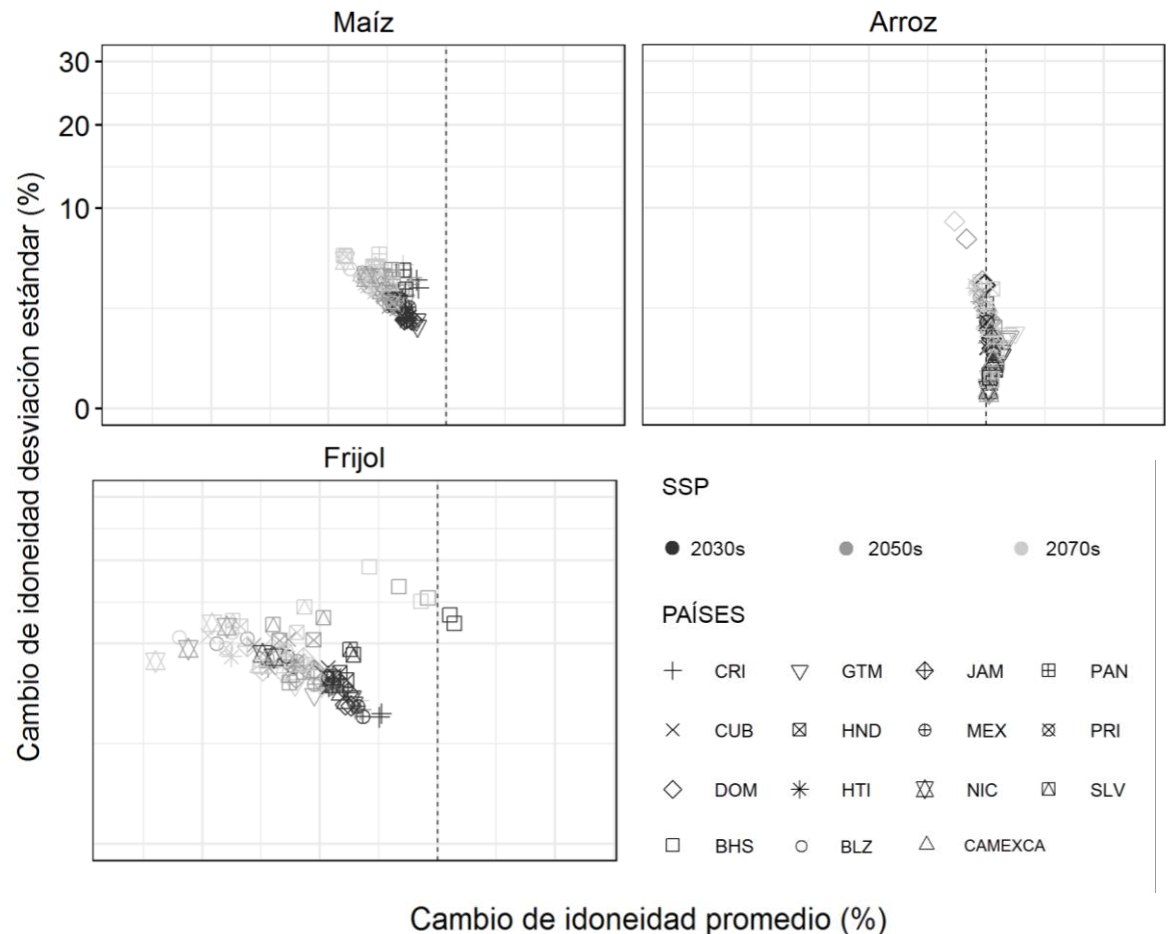
*Incertidumbres en la proyección del cambio de precipitación estacional (en %) para SSP5-8.5 y tres periodos, considerando la dispersión de 24 GCMs del CMIP6 para algunos países*



Guatemala (GTM), Honduras (HND), México (MEX), Nicaragua (NIC), El Salvador (SLV)

# Cuantificación de incertidumbres

*Cambios proyectados en la idoneidad climática expresada como un promedio de 24 GCMs y su incertidumbre expresada como la desviación estándar de los GCMs bajo el escenario SSP5-8.5*

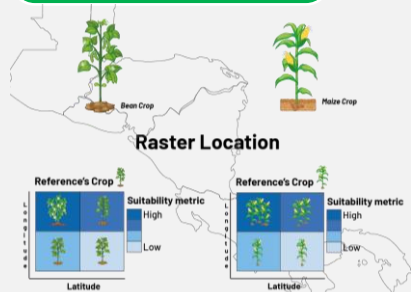


**Cambios en la aptitud de los cultivos y ventaja comparativa: Un enfoque metodológico para informar a los responsables de la toma de decisiones.**

**Shifts in Crop Suitability and The Crops Comparative Advantage: A Methodological Approach for Decision Makers**

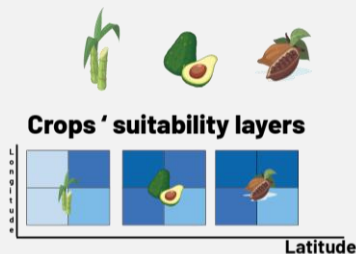
# Flujo de integración de datos y modelos

A. Aptitud-shift.  
Cultivos de  
referencia. Maíz &  
Frijol



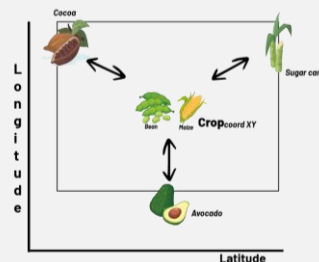
Aptitud por cultivos  
de maíz y frijol  
localizados

B. Aptitud.  
Cultivos de  
Testeo. Cacao,  
Aguacate & Caña  
de Azúcar



Aptitud para el cacao, el  
aguacate y la caña de  
azúcar

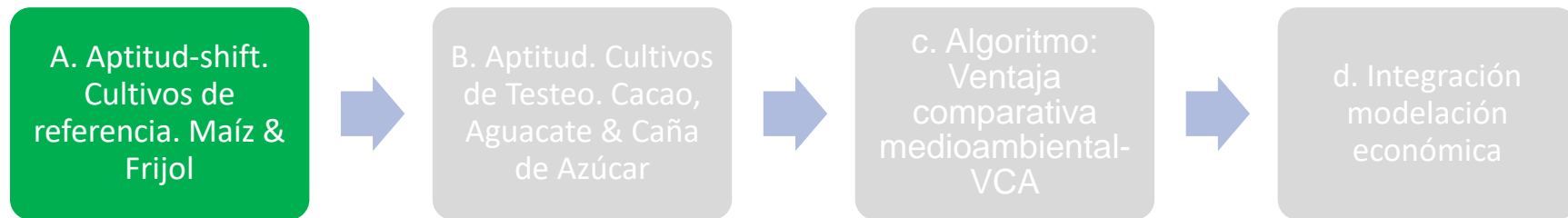
c. Algoritmo:  
Ventaja  
comparativa  
medioambiental-  
VCA



VCA y mapas de  
tensión

d. Integración  
modelación  
económica

¿Cuál es el valor económico  
previsto de la transición de un  
cultivo de referencia a un cultivo de  
prueba para 2050, según los  
resultados del análisis del VCA?



## Resultados: *Cambios de aptitud climática para Frijol y Maíz*

# Shift: Cambios en la aptitud de los cultivos

Shift se calcula como la *diferencia de aptitud de un cultivo concreto entre el año de referencia (1975-2010) y el año futuro proyectado para 2050 (2040-2060)*.

- $Future\_suit_{crop_i pixel_j}$ , aptitud en el año 2050 para  $crop_i$  localizado en el  $pixel_j$
- $Baseline\_suit_{crop_i pixel_j}$ , aptitud en el año 2010 para el cultivo  $crop_i$  localizado en el  $pixel_j$ .

$$Shift\_suit_{crop_i pixel_j} = Future\_suit_{crop_i pixel_j} - Baseline\_suit_{crop_i pixel_j}$$

## Resultados

Para el  $crop_i$

localizado en el  $pixel_j$

$Shift\_suit_{crop_i pixel_j} > 0$

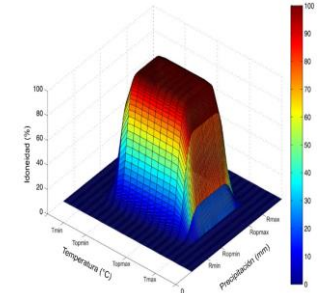
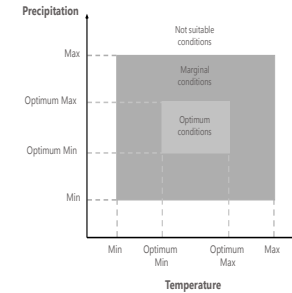
La aptitud futura es superior a la aptitud de referencia

$Shift\_suit_{crop_i pixel_j} < 0$

La aptitud futura es menor que la aptitud de referencia

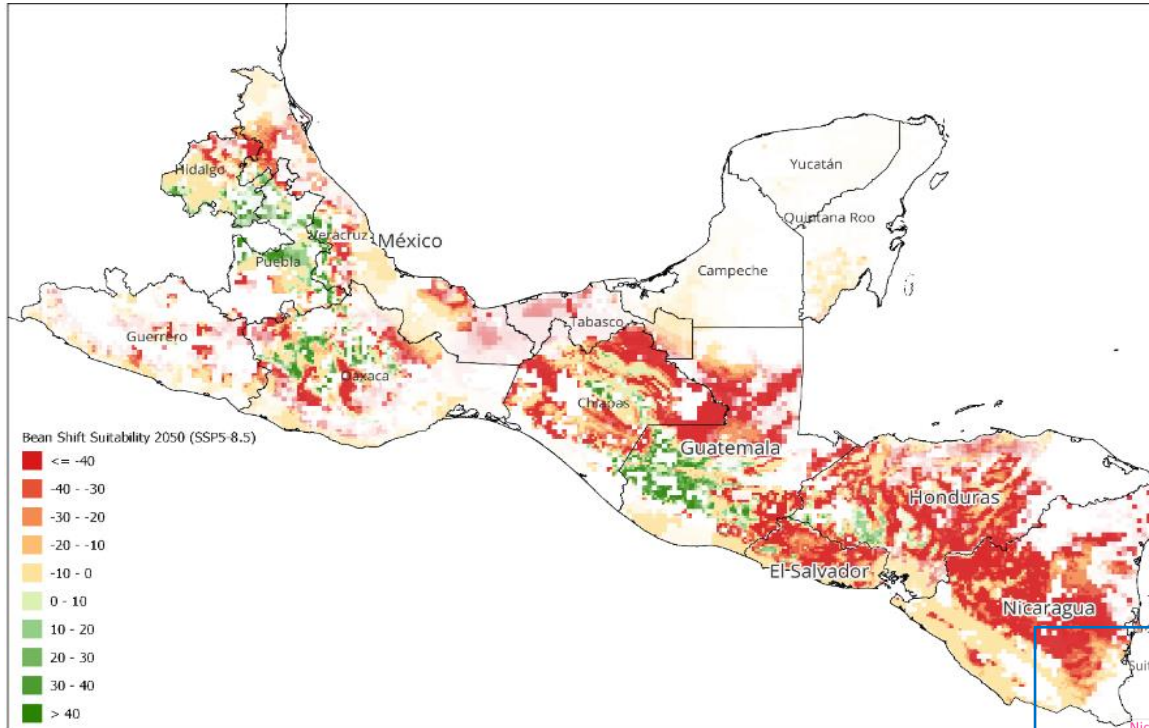
$Shift\_suit_{crop_i pixel_j} = 0$

La línea de base y el futuro tienen los mismos valores

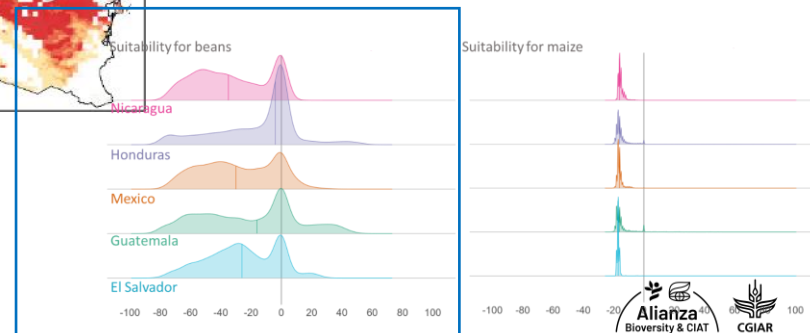




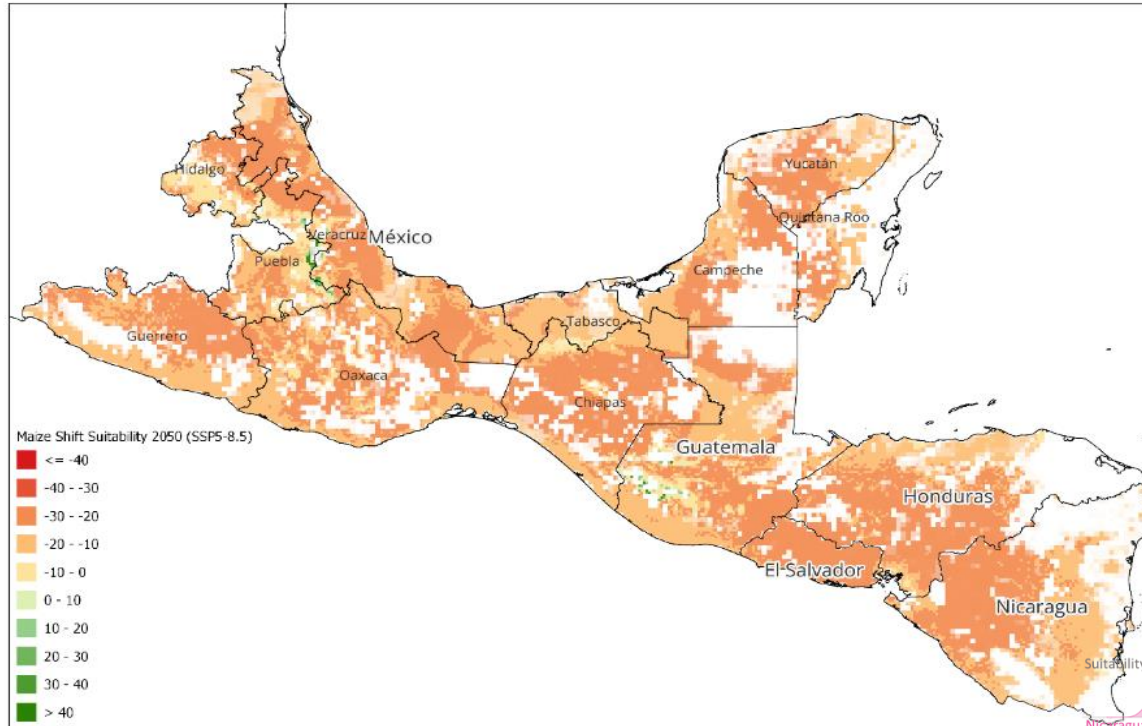
## Cambios en aptitud de Frijol



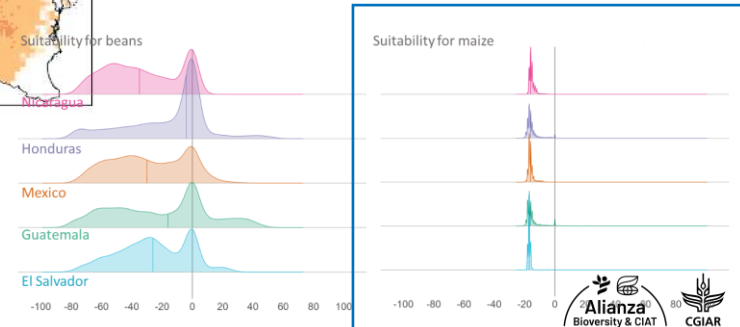
País	Positivo (%)	Negativo (%)
El Salvador	17.8	82.2
Guatemala	47.7	52.3
Honduras	11.2	88.8
Mexico	44.2	55.8
Nicaragua	14.6	85.4
<b>Average</b>	<b>27.1</b>	<b>72.9</b>

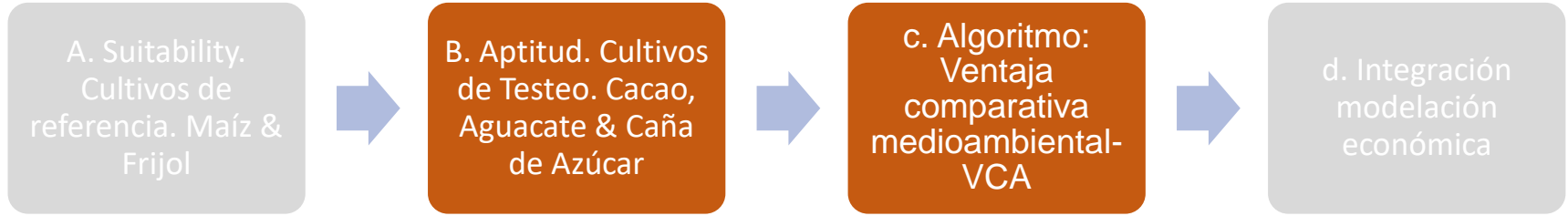


## Cambios en aptitud de Maíz



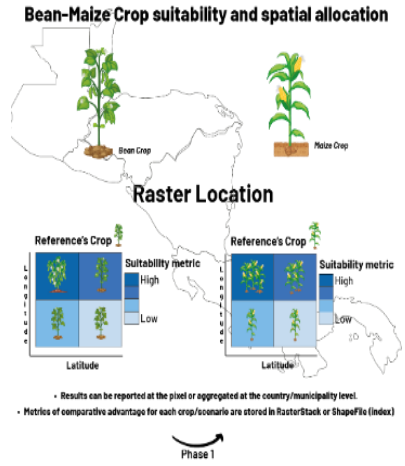
País	Positivo (%)	Negativo (%)
El Salvador	6.4	93.6
Guatemala	0.2	99.8
Honduras	4.2	95.8
Mexico	0	100
Nicaragua	0	100
<b>Average</b>	<b>2.2</b>	<b>97.8</b>



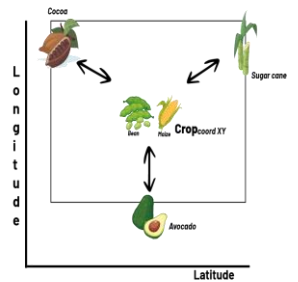


## Resultados: *Ventajas comparativas climáticas para Frijol y Maíz*

# Ventaja comparativa de los cultivos



## Comparative Advantage in a pixel



## Plausible scenarios

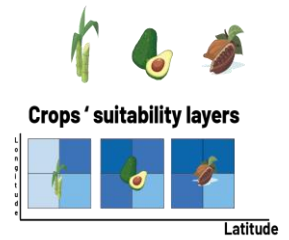
$$Sui_{bean-maize}^{coord XY} > Sui_{Avocado-Cocoa-Sugar Cane}^{coord XY}$$

$$Sui_{bean-maize}^{coord XY} < Sui_{Avocado-Cocoa-Sugar Cane}^{coord XY}$$

$$Sui_{bean-maize}^{coord XY} \approx Sui_{Avocado-Cocoa-Sugar Cane}^{coord XY}$$

Phase 2

## Testing Crops



If Avocado-Cocoa Sugar Cane  $crop > reference_{crop} \sim$  Comparative Advantage

else Bean-Maize  $crop > testing_{crop} \sim$  Comparative Advantage

Phase 3

## Tipos de resultados

## Interpretación

$$CA_{Test\ crop}$$

$$Sui_{Test\ crop}^{coord XY} > Sui_{Ref\ crop}^{coord XY}$$

El  $Testing_{crop}$  localizado en el  $pixel_j$  genera tensiones climáticas futuras en comparación con el  $Reference_{crop}$ . Se compete por la mejor ubicación medioambiental en términos de favorabilidad climática y mayor idoneidad futura.

$$CA_{Reference\ crop}$$

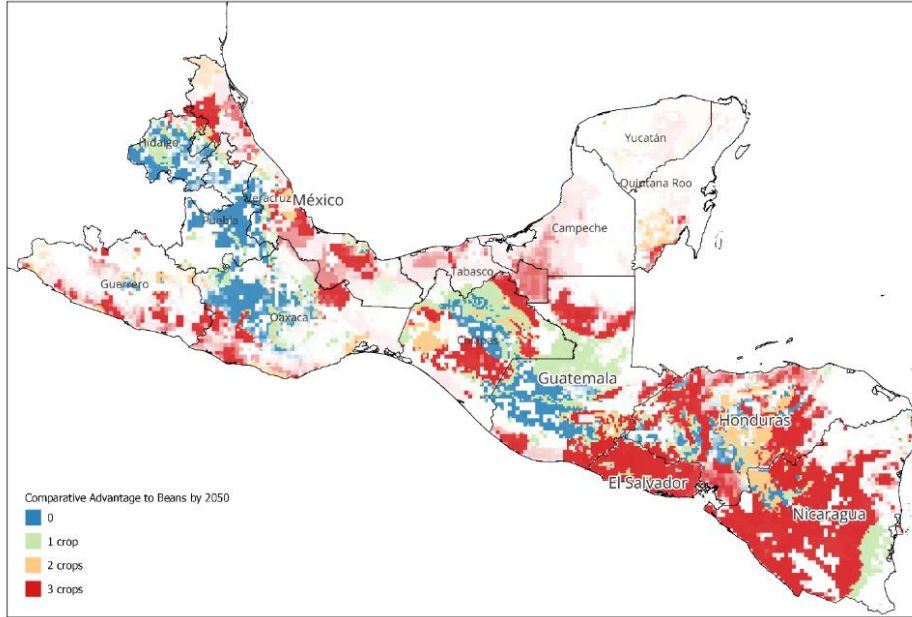
$$Sui_{Ref\ crop}^{coord XY} > Sui_{Test\ crop}^{coord XY}$$

El  $Reference_{crop}$  localizado en el  $pixel_j$  demuestra condiciones climáticas favorables sobre el  $Testing_{crop}$ . Muestra una respuesta superior en términos de aptitud futura en comparación con el cultivo de prueba.

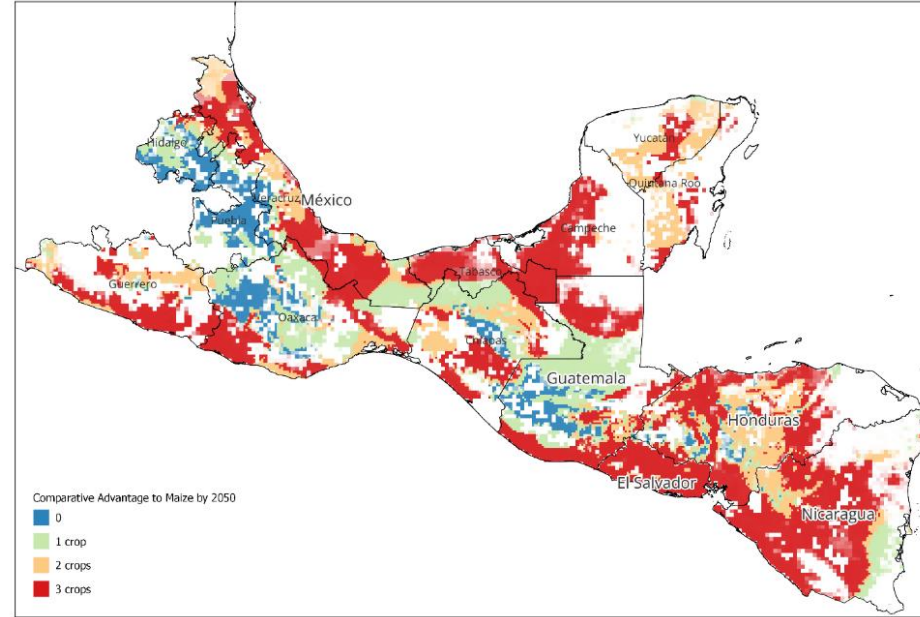
$$Sui_{Ref\ crop}^{coord XY} = Sui_{Test\ crop}^{coord XY}$$

El  $Reference_{crop}$  localizado en el  $pixel_j$  y el  $Testing_{crop}$  en la misma localización muestran respuestas similares o incluso idénticas a las condiciones respuestas a las condiciones climáticas futuras.

Mapas: Ventaja comparativa del aguacate, el cacao y la caña de azúcar frente al frijol en 2050.



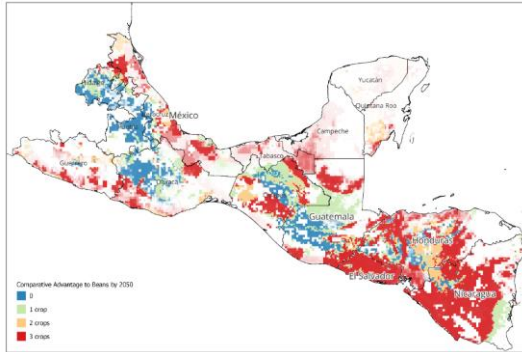
Mapas: Ventaja comparativa del aguacate, el cacao y la caña de azúcar frente al maíz en 2050.



### Clasificación

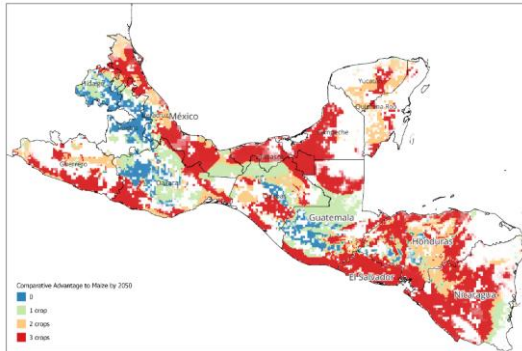
- 0 = El cultivo de referencia es más adecuado en el lugar evaluado -----[No Tension]
- 1 = El cultivo de referencia tiene una aptitud inferior con al menos un (1) cultivo de prueba-----[Low Tension]
- 2 = El cultivo de referencia tiene una aptitud inferior con al menos un (2) cultivo de prueba-----[Medium Tension]
- 3 = El cultivo de referencia tiene una aptitud inferior con al menos un (3) cultivo de prueba-----[High Tension]

# Ventaja comparativa Frijol

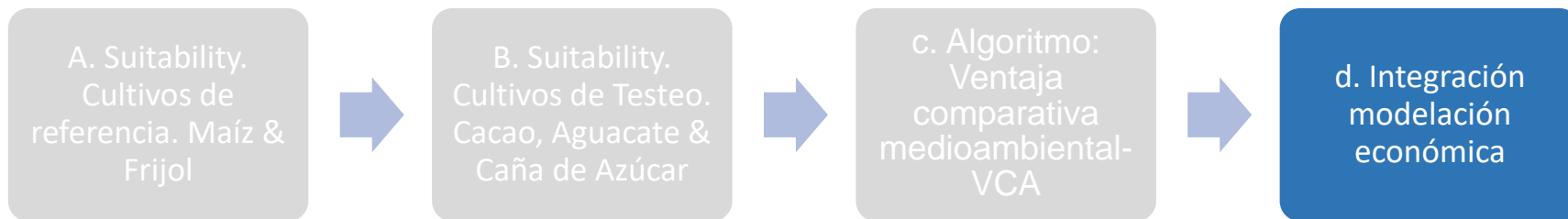


	Frijol	
	Area (Ha.)	Cuota
<b>No cultivo</b>	623271	15%
<b>1 cultivo</b>	469697	18%
<b>2 cultivos</b>	270229	14%
<b>3 cultivos</b>	1538729	53%
<b>Areas</b>	2901927	

# Ventaja comparativa Maíz



	Maíz	
	Area (Ha.)	Cuota
<b>No cultivo</b>	2140593	10%
<b>1 cultivo</b>	3118819	19%
<b>2 cultivos</b>	2719154	20%
<b>3 cultivos</b>	6937260	51%
<b>Areas</b>	14915826	



## Resultados: *Valoración económica para Frijol y Maíz*

# Flujo: Valor de la producción (VoP) Cultivo de referencia y de prueba para 2050 según los resultados del TCE.

1)  
Identificar los píxeles con ECA a favor del cultivo de prueba

2)  
Extraer las superficies cosechadas (ha) del cultivo de referencia

3)  
El modelo IMPACT proporciona rendimientos para 2050 por países  
 $Q_{RefCrop} = Area * Yield$   
 $Q_{TestCrop} = Area * Yield$   
[Sólo para píxeles con favor ECA para probar el cultivo]

4)  
El modelo IMPACT proporciona precios internacionales hasta 2050  
 $VoP_{RefCrop} = Q * prices$   
 $VoP_{TestCrop} = Q * prices$   
[Sólo para píxeles con favor ECA para probar el cultivo]

5)  
Sumamos la VoP por países y calculamos las diferencias  
 $Diff\_VoP_{TestRef} = VoP_{Test} - VoP_{Ref}$

$$Diff\_VoP_{TestRef} = VoP_{TestCrop} - VoP_{RefCrop}$$

$Diff_{VoP_{test}} > 0$  La prueba del cultivo no sólo tiene más ventajas medioambientales, sino también climáticas.

$Diff_{VoP_{test}} < 0$  El cultivo de referencia puede tener desventajas medioambientales, pero éstas se compensan con mejores niveles de precios.

Harvest area= MapSpam  
Yield & Price= IMPACT model



By 2050

Country	Reference Crop VoP_maize millions dollars	Test Crop diff_VoP_cocoa millions dollars	Test Crop diff_VoP_avocado millions dollars	Test Crop diff_VoP_sugarcane millions dollars
El Salvador	3315.86	-935.79	11931.38	45209.71
Guatemala	5504.66	2388.82	17324.47	71522.79
Honduras	2148.12	-675.21	17451.67	48767.44
Nicaragua	2287.29	-1542.38	10846.63	59227.58

By 2050

Country	Reference Crop VoP_Bean millions dollars	Test Crop diff_VoP_cocoa millions dollars	Test Crop diff_VoP_avocado millions dollars	Test Crop diff_VoP_sugarcane millions dollars
El Salvador	3782.81	-2877.71	1899.63	14232.26
Guatemala	6272.20	-4636.32	-660.37	12835.49
Honduras	3312.95	-2866.90	2401.29	11531.60
Nicaragua	8099.54	-7571.12	1590.47	39394.92

**Blue:**  $Diff_{VoP_{TestRef}} > 0$  indica que el aguacate y la caña de azúcar tienen VCA adicionales sobre el maíz/fríjol (cultivos de referencia) con un mayor valor de producción en las áreas de tensión evaluadas. Esto revela un tipo de validación favorable al cultivo de prueba.

**Rojo:**  $Diff_{VoP_{TestRef}} < 0$  indica que el cultivo de prueba es favorable en términos de VCA pero no tiene potencial económico.

# Conclusiones & discusiones

- Explorar capacidades de datos adicionales para reforzar el análisis de la VCA (calidad del suelo, acceso a la infraestructura necesaria, nivel de organización de la producción, etc.).
- Incorporar los precios nacionales al productor en la VoP para el análisis dentro del país.
- Añadir costes de transición de un cultivo a otro para mejorar el potencial económico de un cultivo de referencia a un cultivo de prueba.
- Evaluar la relación de las zonas de estrés potencial con otras variables o fenómenos medioambientales como la deforestación, los servicios ecosistémicos, la restauración medioambiental, etc.



Q&A