

Valor del agua frente al cambio climático:



Elaborado por Karina Caballero

www.gwpcentroamerica.org

Agradecimientos

Se agradece a la oficina de CEPAL en México, especialmente a Julie Lennox, por el apoyo técnico recibido y por facilitar los datos para la elaboración del presente estudio. De igual manera, agradecemos a los participantes del taller de revisión del documento que se realizaron en el Salvador y Costa Rica, por sus importantes aportes. También, un reconocimiento especial a las diferentes instituciones de la región centroamericana que brindaron información pertinente y útiles sugerencias para la versión final del presente estudio.

Créditos

ELABORACIÓN:

Karina Caballero

REVISION:

Manuel Basterrechea

COORDINACIÓN:

Fabiola Tábor, Secretaria Ejecutiva GWP Centroamérica

Carolina Carias, Coordinadora Programa Agua, Clima y Desarrollo (PACyD)

Contenido

Agradecimientos	1
Resumen Ejecutivo.....	3
Introducción	7
Principales impactos del Cambio Climático sobre el recurso hídrico para la agricultura y la hidroelectricidad	9
Agua, agricultura y cambio climático	26
Agua, hidroelectricidad y cambio climático	34
Aporte económico de la agricultura y la hidroelectricidad.....	37
Producción agrícola.....	37
Generación Hidroeléctrica	46
Valoración de los impactos económicos del Cambio Climático y sus efectos en el recurso hídrico, sobre la agricultura y energía	49
Valoración económica del agua	57
Costos del Cambio Climático en la agricultura	60
Costos del Cambio Climático en Hidroelectricidad	76
Recomendaciones para la elaboración de indicadores para la inclusión de la seguridad hídrica y el cambio climático en los planes de desarrollo, con base a la información generada sobre la contribución económica del RH.....	86
Conclusiones y recomendaciones	88
Pronóstico de los costos del impacto del cambio climático en el valor de la producción agrícola por	90
pérdida de disponibilidad de agua con diferentes tasas de descuento.....	90
Anexo 1	91
Nota metodológica: cointegración de Engle y Granger	91
Bibliografía	93

Resumen Ejecutivo

El cambio climático representa un importante reto para la humanidad, generando significativas alteraciones en el sistema climático del planeta, de los cuales se derivarán fenómenos como el incremento de la temperatura terrestre y oceánica, alteraciones en los patrones de precipitación y cambios en numerosos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos (IPCC, 2013). Los pronósticos para el final del siglo de las alteraciones en el ciclo del agua indican que se acentuará el contraste en las precipitaciones entre las regiones húmedas y secas y entre las estaciones húmedas y secas, pero podrá haber excepciones regionales (IPCC, 2013).

A pesar de que existe una gran incertidumbre sobre la trayectoria futura de las precipitaciones en la región Centroamericana, se pueden identificar patrones de disminución de precipitación. En todos los países, se podría observar una reducción de 11% en promedio para finales del siglo bajo un escenario climático B2 y bajo un escenario más pesimista (A2), en promedio podría presentarse una disminución de 28% (CEPAL, CCAD/SICA, DFID y DANIDA, 2011). Asimismo, se estima que la región podría experimentar una alternancia entre períodos de sequía severa e inundaciones. Las tendencias de largo plazo de los escenarios climáticos, considerando la incertidumbre que comprenden, ayudan a identificar los cambios en los patrones climáticos y sus posibles consecuencias sobre la actividad económica.

Específicamente para Costa Rica y El Salvador, el cambio climático generará incrementos en la temperatura y reducciones en la precipitación considerables. De esta forma, para Costa Rica se puede esperar un incremento en la temperatura para finales de siglo de 16.65% y una disminución en la precipitación de 20.13% escenario A2; mientras que bajo el escenario B2 el incrementoⁱ en temperatura podría llegar a 13.32% y una disminución de 9.21% de la precipitación (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2012a). Para El Salvador los cambios en temperatura pueden llegar a ser de 19.39% y 12.56%, para los escenarios A2 y B2 respectivamente; mientras que la precipitación para finales de siglo puede disminuir en 23.63% y 3.09% bajo los mismos escenarios.

Estos efectos físicos se traducen en afectaciones en la cantidad y calidad del agua, que inciden de forma directa en los ecosistemas y en la actividad económica; principalmente en el sector agropecuario, en la actividad forestal, y en la generación de energía hidroeléctrica. Asimismo, la disponibilidad de agua para consumo humano será una restricción fundamental para el desarrollo.

En este sentido, se ha iniciado a cuantificar los impactos del cambio climático sobre la agricultura, particularmente las necesidades de riego y la eficiencia del uso del agua. El estrés hídrico puede incrementarse hasta 20% al 2080, debido a una mayor demanda por la evaporación y un incremento en la temporada de crecimiento de los cultivos, (Fisher et al., 2006). La agricultura de riego podría encontrarse ante nuevos problemas, vinculados a la distribución espacial y temporal de los caudales. Los cambios hidrológicos afectarían directamente la generación de las centrales hidroeléctricas, tanto de las actualmente existentes como de los posibles proyectos futuros. Es importante señalar

ⁱ Los supuestos de los escenarios sobre variables de economía, población, gobernanza y tecnología implican que el escenario A2 es más

que el grado de desarrollo hidroeléctrico es un factor fundamental para la estimación de los impactos y existen importantes diferencias regionales.

Los procesos productivos agrícolas pueden caracterizarse de manera formal mediante una función de producción, que en su expresión más simple describe la forma, dada una tecnología, en cómo los diferentes insumos de la producción se relacionan entre sí para obtener un bien determinado. La función de producción relaciona al producto total con sus factores productivos donde normalmente se incluye al capital y al trabajo, y variables asociadas con aspectos ambientales tales como la energía, la contaminación o la degradación ambiental y la biodiversidad (Maabey, Hall, SNT, Gupta, 1997). La estimación de una función de producción que incluya a un factor ambiental como uno de los factores productivos permite estimar la contribución marginal de ese factor en la producción y, por esta vía, el precio sombra.

De esta manera, utilizando la metodología de función de producción se deben considerar las especificidades que involucran la estimación para la actividad agrícola en el contexto de cambio climático. Los cambios en los patrones de precipitación tienen un impacto importante en la producción y los rendimientos agropecuarios que puede representarse como una función cóncava, o de U invertida. En las curvas de rendimiento teórico por temperatura y disponibilidad del agua, un aumento inicial de la cantidad de agua disponible tiene impactos positivos en la producción y en los rendimientos agropecuarios, llega a una cantidad óptima, para después caer paulatinamente (Fleisher, Lichtman y Mendelsohn, 2008).

En este caso, se optó por estimar una función de producción incluyendo la precipitación utilizando datos a nivel nacional para la producción agrícola, y los rendimientos del maíz, arroz y frijol de Costa Rica y El Salvador usando información del periodo 1980-2010, y otro modelo a nivel departamento con datos de sección cruzada usando datos del 2009, y de acuerdo a especificaciones aplicadas para otros países. Este método permite además disponer de un valor estimado del agua de riego que se obtiene al multiplicar el precio de la cosecha por la productividad marginal del agua en el cultivo respectivo (Caballer y Guadalajara, 1998).

Con base a la información del funcionamiento y la estimación de la capacidad de generación eléctrica en las plantas se concluye que para la estimación de un valor preciso del agua en las hidroeléctricas se debe de realizar el análisis de forma individual, de acuerdo a las características de cada una de las plantas y las condiciones climáticas circundantes. Es importante considerar que en este caso, la información recabada y disponible no permite realizar una valoración detallada de todas las hidroeléctricas de Costa Rica y El Salvador, por lo que se empleó una metodología que permite hacer una aproximación del aporte económico del agua en las hidroeléctricas, considerando su capacidad instalada, el nivel de producción y la precipitación del departamento en la que se encuentra; aunque se sabe que la precipitación debe ser de la cuenca.

La valoración económica del agua en sectores claves como agricultura y generación hidroeléctrica, se puede realizar con diversas metodologías. Con base a la información disponible en este documento, se optó por la función de producción agrícola y una aproximación con el valor de la producción de electricidad generada en las plantas hidroeléctricas. Para la función de producción se realizaron dos metodologías. La primera a nivel país con datos anuales del periodo 1980-2011 con un modelo de cointegración; La segunda metodología fue usando datos a nivel municipal de sección cruzada para el año 2009. Se estimaron modelos para la agricultura en su conjunto y para tres cultivos fundamentales: maíz, frijol y arroz. Los resultados indican que:

1. Los modelos econométricos de la producción agrícola y de los rendimientos del maíz, frijol y arroz de Costa Rica indican que en todos los casos las variables climáticas son estadísticamente significativas y los coeficientes confirman la forma de U invertida de la función de daño, lo cual implica impactos inicialmente positivos de las variables climáticas sobre los rendimientos, pero después de un límite un incremento en estas variables implicará una disminución de los rendimientos. Las variables que tienen una mayor incidencia en la producción agrícola son la superficie regada, el empleo agrícola y la temperatura; mientras que para los cultivos las variables significativas en cada modelo son diferenciadas, lo cual implica que cada cultivo tiene sus propias características en su función de producción. Los coeficientes del aporte marginal del agua a la producción agrícola y en los rendimientos del maíz son de pequeña magnitud, comparados con los encontrados para los rendimientos de frijol y arroz. En el caso de El Salvador los resultados son muy similares para la producción agrícola y para los cultivos.
2. El valor económico del nivel de precipitación, es decir del agua, en Costa Rica y El Salvador se puede aproximar a partir de los modelos de función de producción. Utilizando el nivel de precipitación del 2010 se obtiene un aporte en el PIB agrícola de 5.96% y de 8.29% para Costa Rica y El Salvador, respectivamente. En el caso de los cultivos los resultados indican que en Costa Rica la precipitación tiene un efecto promedio de 5.81% en el valor por tonelada de maíz, que equivale a 14.22 dólares, de 3.99% en el frijol que equivale a 106.33 dólares y de 7.92% en el arroz equivalente a 36.17 dólares por tonelada. En El Salvador el agua presenta un mayor aporte en el arroz (7.95% de su valor), seguido del maíz (7.84%) y finalmente el frijol (6.22%).
3. Los escenarios de cambio climático utilizados fueron en B2 y A2. El cambio en el patrón de precipitación es más intenso y aleatorio bajo el escenario A2, es decir, se presentarían mayores reducciones en la precipitación para ambos países. Esto incide en los costos económicos del aporte del agua en la agricultura. Para 2100 los costos en la producción agrícola en Costa Rica pueden ubicarse entre 0.62% y 5.32% del PIB agrícola bajo el escenario A2 considerando las diferentes tasas de descuento, y pueden estar entre 0.35% y 2.39% si ocurre el escenario B2. En el Salvador para el 2100 bajo el escenario A2 los costos pueden representar entre 0.68% y 7.41% del PIB agrícola, y en el escenario B2 pueden estar entre 0.19% y 1.97%. El incremento en los costos será de mayor intensidad en ambos países, en el periodo de 2070 a 2100. De los productos seleccionados, el frijol podría presentar las mayores pérdidas económicas por la disminución de agua asociada al cambio climático.
4. Una vez instalada una planta hidroeléctrica, el funcionamiento depende fundamentalmente de la disponibilidad de agua, es el único “combustible” que necesita para funcionar. En este sentido el valor económico del agua en las hidroeléctricas se puede trasladar completamente al valor de la energía que se produce, si se descuentan los costos de operación y la depreciación de las instalaciones. Los costos económicos y ambientales del agua utilizada se pagan al operador de una planta de energía hidroeléctrica incluido en el precio de la energía hidroeléctrica. Por lo tanto hay que reconocer que los costos de utilización de agua varían en el año y a través de las cuencas hidrográficas, ya que el grado de escasez de agua y la competencia por el agua dependerá del período dentro del año y circunstancias locales.

Con base a la información de la producción de hidroeléctricas se puede calcular el valor de la generación neta, que para el 2009 ascendía a 1.08 millones de dólares en Costa Rica y 1.5 millones de dólares en El Salvador. Los costos del cambio climático en la producción de hidroelectricidad asociados cambios en los patrones de precipitación podrían representar una magnitud de 8.93% y de 19.65% de su valor actual bajo los escenarios de cambio climático B2 y A2 respectivamente en el caso de Costa Rica, con importantes variaciones por departamento. Para El Salvador las pérdidas podrían llegar a ser de 2.17% y 26.06% bajo los escenarios climáticos.

En síntesis, el presente documento presenta un análisis del aporte económico del recurso hídrico en la producción agrícola e hidroeléctrica de Costa Rica y El Salvador en la actualidad, y según los escenarios de cambio climático estimados para ambos países en el 2100.

También brinda pautas para una valoración real del agua desde el punto de vista social, económico y ambiental, estimando tanto sus beneficios como su escasez relativa. Se destaca, que de acuerdo a los escenarios utilizados los cambios no serán tan sustanciales en las primeras décadas, y será a partir del 2070 dónde se podrán experimentar alteraciones más significativas (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2012a), lo cual se ve reflejado en la estimación de costos económicos.

Introducción

Uno de los principales efectos del cambio climático en Centroamérica es la disminución de la precipitación anual, lo que implica periodos secos más largos y menos días de lluvia distribuidos a lo largo del año. Estos efectos se traducen en una reducción de la cantidad y calidad de agua disponible para la actividad económica, principalmente para sectores estratégicos como el energético y el agrícola, lo que representa una restricción fundamental para el desarrollo sostenible de la región.

En lo que se refiere a los impactos sobre la agricultura, es importante resaltar la seguridad alimentaria como uno de las áreas estratégicas, ya que entre el 80% y 98% de los rubros agropecuarios dependen de la lluvia. Lo anterior reviste una mayor importancia en el corredor seco de la región en donde se ubica la población más vulnerable a sufrir estos impactos. En ese sentido, los cultivos más afectados son los granos básicos, específicamente maíz, frijol y arroz. En cuanto al sector energético se resalta el incremento que está teniendo la generación hidroeléctrica en varios de los países de la región, como una estrategia para hacer frente a los altos precios del petróleo, hasta recientemente, y su consecuente impacto sobre la generación térmica y la economía de los países. Sin embargo, la generación hidroeléctrica está siendo afectada también por los impactos del cambio climático, al reducir el agua almacenada en los embalses a raíz de una reducción de la precipitación y aumento de la evaporación (por el aumento de la temperatura).

Considerando lo anterior, GWP Centroamérica facilita la elaboración del presente documento con el objetivo de estimar la contribución económica del agua en el desarrollo de los sectores agrícola y energía hidroeléctrica de Costa Rica y El Salvador, y su variación como resultado del impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua.

Este documento está dirigido a técnicos y tomadores de decisión que trabajan en la gestión del agua, con el propósito de brindar información que apoye los procesos de toma de decisiones relacionados a la necesidad de implementar acciones en materia hídrica para la adaptación al cambio climático, con el propósito mejores las condiciones existentes para hacer frente a los efectos de este fenómeno y reducir los impactos sobre el desarrollo de los países.

Como parte del proceso de elaboración del documento se realizaron reuniones de socialización en el Salvador y Costa Rica con el propósito de tener retroalimentación de las instituciones referentes a nivel nacional para cada uno de los sectores abordados. Una vez incorporadas los comentarios de los participantes, se les envió el documento para que indicaran sus sugerencias. Se agradece a las personas que participaron en dichos talleres y enviaron sus observaciones del documento, pues sus comentarios permitieron enriquecer el documento final.

El documento inicia brindando evidencia de los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos, detallando los cambios que se presentaran a nivel global, así como los impactos que se pueden generar específicamente en Costa Rica y El Salvador a nivel departamental en cuanto a temperatura, precipitación e índice de aridez. Luego describe la metodología de valoración económica para los recursos hídricos en la agricultura y la hidroelectricidad que se utilizó en el análisis, señalando las dificultades que se encontraron en cuanto a disposición de información, para un análisis más detallado. Una revisión del sector agrícola, los rendimientos de los productos maíz, arroz y frijol y la generación hidroeléctrica se presenta posteriormente con la finalidad de identificar el aporte económico de estos sectores en la economía. La valoración económica del agua y los

costos económicos del cambio climático sobre los sectores analizados en ambos países se presenta a continuación. Luego se presentan elementos para la elaboración de indicadores de inclusión de la seguridad hídrica y el cambio climático en los planes de desarrollo. Finalmente se presentan conclusiones.

Es importante que el lector de este documento tome en cuenta las siguientes consideraciones:

-Para la realización del presente documento se utilizaron los resultados de los escenarios generados en el marco de la elaboración del estudio 'La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe - Síntesis 2009-, Adicionalmente, se utilizó información generada por las instituciones gubernamentales en los sectores de agrícola y energético en Costa Rica y El Salvador.

-Se reconoce que a nivel de Costa Rica y el Salvador existen esfuerzos de las instituciones del sector agrícola y energético, por documentar los impactos del cambio climático en ambos sectores. Los documentos generados brindan insumos importantes para la toma de decisiones y pueden ser consultados a través de las instituciones referentes a nivel nacional.

- La metodología utilizada priorizó la modelación de impactos de cambio climático que implicaran una relación positiva inicial entre rendimientos agrícolas y variables climáticas, legando a un punto de saturación en el que un incremento en variables climáticas genera una disminución en los rendimientos; por lo que las variables utilizados fueron la temperatura y la precipitación en ambos casos. Lo anterior considerando que los principales impactos que se están originando en la región a raíz del cambio climático se deben a una mayor variabilidad de la precipitación, es decir a variaciones en la disponibilidad de agua.

- No se consideraron los eventos extremos que se podrán generar debido a la dificultad de pronosticar la incidencia de los mismos en el largo plazo; aunque de acuerdo a los registros reportados a nivel nacional y regional, los impactos de esos eventos pueden ser considerablemente elevados, generando pérdidas económicas que pueden sobre pasar las estimaciones que se presentan en este documento

- Para la valoración del recurso hídrico en la producción agrícola en relación al cambio climático, se consideraron primordialmente los costos asociados a pérdidas en la precipitación. Los factores productivos como el capital, trabajo, y variables asociadas con la contaminación, degradación ambiental, biodiversidad, temperatura y precipitación fueron incluidas indirectamente a través de la función de producción utilizada, la cual implica una relación con esos factores, (Maabey, Hall, SNT, Gupta, 1997); permitiendo estimar precios

- Debido a la falta de acceso a información de precipitación (actual y futura y con escenarios de cambio climático) a nivel de las cuencas en donde las hidroeléctricas están ubicadas, se realizó la estimación del aporte económico del agua a la generación de las hidroeléctricas en base a la precipitación por departamento o provincia, capacidad instalada y nivel de producción de las mismas. Los datos de sedimentación no fueron incorporados en el estudio.

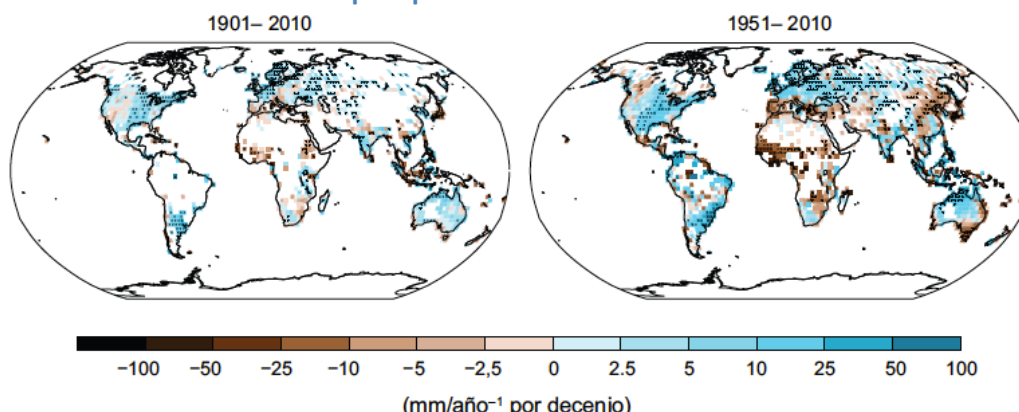
- Para la valoración económica de la precipitación en la agricultura, se hicieron aproximaciones a partir de modelos de función de producción de corto plazo, realizando supuestos sobre posibles cambios en la precipitación, dejando las demás variables como constantes, permitiendo así aislar la aportación de la precipitación al valor de la producción agrícola y a los diversos cultivos.

Principales impactos del Cambio Climático sobre el recurso hídrico para la agricultura y la hidroelectricidad

Las altas concentraciones de Gases Efecto Invernadero (GEI) derivadas de las actividades antropocéntricas, están generando alteraciones en el sistema climático, incluyendo cambios en la atmósfera y en los océanos, disminución de la criosfera, incremento en el nivel de mar y alteración de los ciclos del carbono y otros ciclos biogeoquímicos (IPCC, 2013). Dentro de los impactos del cambio climático en la atmósfera se encuentra el incremento de la temperatura terrestre y oceánica, cambios en las precipitaciones sobre las zonas terrestres, y cambios en numerosos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. Relacionado con los recursos hídricos se observan los siguientes impactos físicos a nivel global (IPCC, 2007 y 2013):

- La elevación de la temperatura generará mayores niveles de evaporación, evapotranspiración y vapor de agua en la atmósfera y una aceleración o desestabilización del ciclo hidrológico.
- En los últimos veinte años se incrementó el vapor de agua de la troposfera y se generó una disminución de la capa de nubes del nivel superior tropical, lo que provocó alteraciones en los patrones de precipitación. Las precipitaciones han sido más intensas en latitudes medias y en lugares donde no se ha incrementado la precipitación media.
- A partir de la mitad del siglo XX la tendencia ascendente de las sequías se ha intensificado en diversas zonas del Hemisferio Norte. Se han presentado sequías generalizadas en la mayor parte de Eurasia Meridional, África Septentrional, Canadá y Alaska.
- La ubicación y la actividad de las tormentas tropicales a nivel internacional han sido afectadas por el fenómeno El Niño-Oscilación Meridional con aumentos de aproximadamente el 75 por ciento, con huracanes categorías 4 y 5.
- Es probable que existan más regiones en las que haya aumentado el número de sucesos de precipitaciones intensas que en las que haya disminuido, y es probable que la frecuencia o intensidad de las precipitaciones intensas haya aumentado en América del Norte y Europa. En otros continentes existe, como máximo, un nivel de confianza medio en los cambios ocurridos relativos a los sucesos de precipitaciones intensas (Figura 1).

Figura 1. Cambio observado Sobre la precipitación anual sobre la tierra

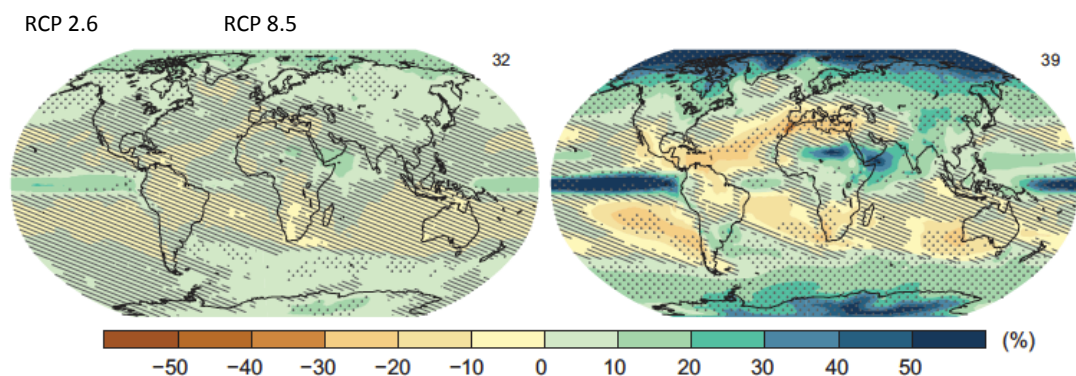


Nota: Mapas de los cambios observados en la precipitación, entre 1901 y 2010, y entre 1951 y 2010 (tendencias en la acumulación anual de un conjunto de datos)

Fuente: IPCC, 2013

Los pronósticos para el final del siglo de las alteraciones en el ciclo del agua indican que se acentuará el contraste en las precipitaciones entre las regiones húmedas y secas y entre las estaciones húmedas y secas, pero podrá haber excepciones regionales (IPCC, 2013). De esta manera, es probable que en las latitudes altas y en el océano Pacífico ecuatorial se experimente un aumento en la precipitación media anual y la precipitación media disminuya en muchas regiones secas de latitud media y subtropicales, mientras que es probable que en muchas regiones húmedas de latitud media la precipitación media aumente (Figura 2). Asimismo, es probable que sean más intensos y frecuentes los fenómenos de precipitación extrema en la mayoría de las masas térrreas de latitud media y en las regiones tropicales húmedas, conforme vaya aumentando la temperatura media global en superficie.

Figura 2. Cambio en la precipitación media (1986-2005 a 2081-2100)



Nota: Mapas de los escenarios RCP2.6 y RCP8.5, correspondientes al período 2081-2100, relativos al cambio de la media porcentual de la precipitación media anual, las tramas sombreadas indican las regiones donde la media de los modelos múltiples es pequeña en comparación con la variabilidad interna natural (esto es, inferior a una desviación típica de la variabilidad interna natural en medias de 20 años). Las tramas punteadas indican las regiones donde la media de los modelos múltiples es grande en comparación con la variabilidad interna natural (esto es, superior a dos desviaciones típicas de la variabilidad interna natural en medias de 20 años) y donde, por lo menos, el 90% de los modelos concuerdan con el signo del cambio

Fuente: IPCC, 2013

Además de los cambios en los patrones de precipitación, es probable que la extensión abarcada por los sistemas monzónicos aumente, que los vientos se debiliten y que la precipitación se intensifique debido al incremento de humedad en la atmósfera, además de adelanto en las fechas de comienzo de estos sistemas y retraso en las fechas de retirada, incrementando el tiempo de permanencia. Existe un nivel de confianza alto en cuanto a que el fenómeno el Niño/Oscilación del Sur (ENOS) seguirá siendo el modo dominante de variabilidad interanual en el Pacífico tropical, con efectos que se sentirán a nivel mundial (IPCC, 2013). En razón del aumento de humedad existente, es probable que a escalas regionales se intensifique la variabilidad en la precipitación conexas al fenómeno ENOS.

A pesar de que existe una gran incertidumbre sobre la trayectoria futura de las precipitaciones en la región Centroamericana se pueden identificar patrones de disminución de precipitación. En todos los países, se podría observar una reducción de 11% en promedio para finales del siglo bajo un escenario climático B2 y bajo un escenario más pesimista (A2) en promedio podría presentarse una disminución de 28% (CEPAL, CCAD/SICA, DFID y DANIDA, 2011). Asimismo, se estima que la región podría experimentar una alternancia entre períodos de sequía severa e inundaciones.

Específicamente para Costa Rica y El Salvador el cambio climático generará incrementos en la temperatura y reducciones en la precipitación considerables. En los mapas 1 y 2 se presentan la temperatura media anual del periodo 1950-2000 por departamento y los resultados de los escenarios de cambio climático B2 y A2. Se observa que el rango de temperaturas histórico de Costa Rica en el país oscila de 17.5 a 25.7 °C, siendo la región central la más templada; en comparación en El Salvador el rango va de 23.1 a 26.4 °C, siendo más homogénea la distribución a través de los departamentos.

Los resultados de los incrementos en temperatura de los escenarios climáticos indican que bajo el escenario A2 habrá mayores incrementos comparados con el B2, el incremento en Costa Rica respecto al promedio histórico podrá ser de 3.7 °C para finales de siglo en el escenario A2 lo cual representa un incremento de 16.6%, mientras que bajo el escenario B2 el incremento podrá ser de 13.3%. En El Salvador podrá aumentar la temperatura en 19.39% equivalente a 4.6 °C, mientras que bajo el escenario B2 el incremento promedio en el país podría alcanzar 12.56%, equivalente a 3.01 °C.

En Costa Rica el departamento que podría presentar un mayor incremento en su temperatura bajo el escenario A2 es Cartago con un incremento de 21.0%, mientras que Limón podría tener un incremento que no deja de ser importante con una magnitud de 13.7%; bajo el escenario B2 no se mantiene el mismo orden para el de menor incremento que sería Guanacaste (10.6%) y se

² Los escenarios de emisiones de GEI utilizados del IPCC, presentan las siguientes características: **Escenario A2: Mundo:** Modelo de desarrollo regional heterogéneo; **Economía:** Orientada a la autosuficiencia regional, crecimiento per cápita lento; **Población:** Aumento continuo; **Gobernanza:** Conservación de las identidades locales **Tecnología:** Desarrollo tecnológico más lento y con una mayor fragmentación. **Escenario B2: Mundo:** Soluciones locales **Economía:** Niveles intermedios de desarrollo económico; **Población:** Crecimiento continuado a una tasa menor que A2; **Gobernanza:** Búsqueda de soluciones locales y regionales sostenibles para la protección del medio ambiente y la equidad social; **Tecnología:** Cambio tecnológico más rápido que A2.

Como resultado se tiene un escenario más pesimista A2 que proyecta un aumento continuo de las emisiones globales de GEI y un escenario menos pesimista B2 que prevé un incremento menor de la temperatura que la del escenario A2.

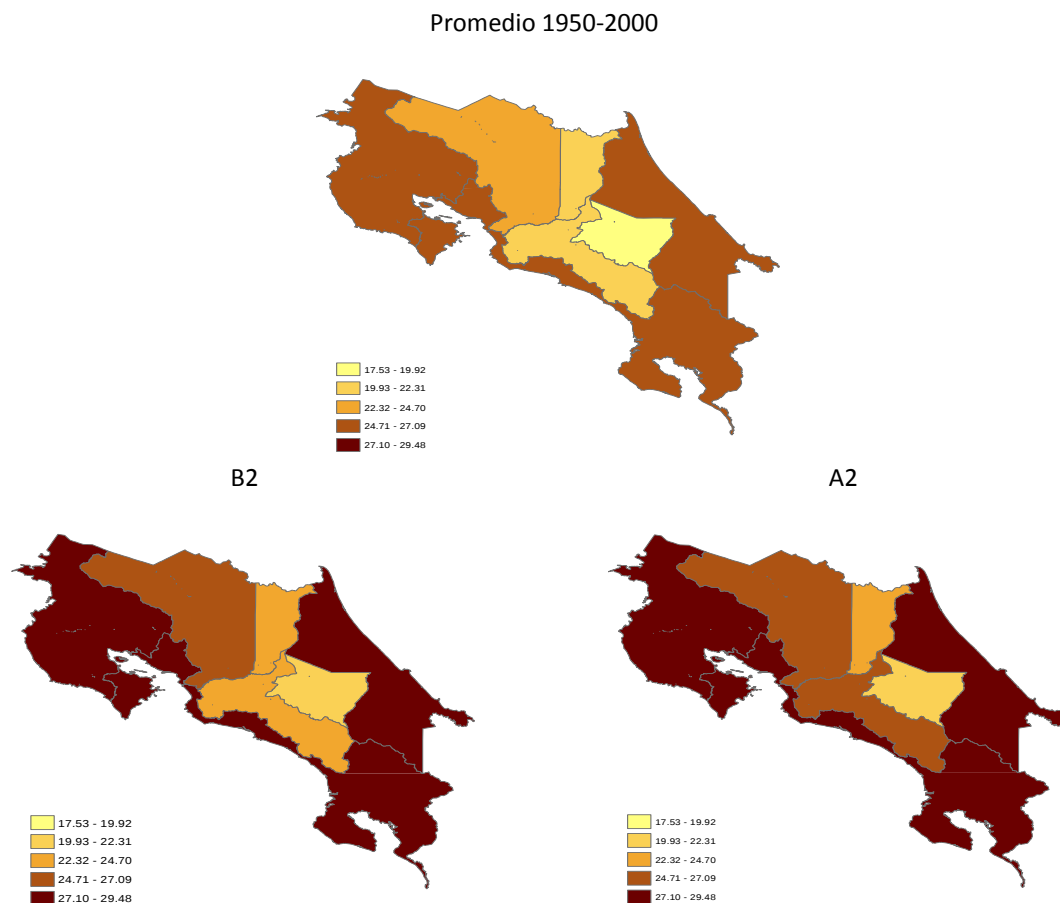
Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

mantendría el de mayor Cartago (17.9%) (Cuadro 1). En el Salvador los cambios en las temperaturas por departamento podrán presentar patrones más homogéneos, así para el escenario A2 se ubicarán en un rango de 16.9 a 20.6% de incremento, que corresponden a La Unión y Chalatenango, respectivamente.

Mapa 1. Costa Rica

Temperatura media anual por Departamento, Promedio 1950-2000 y Escenarios B2 y A2 a 2100

(En grados centígrados)

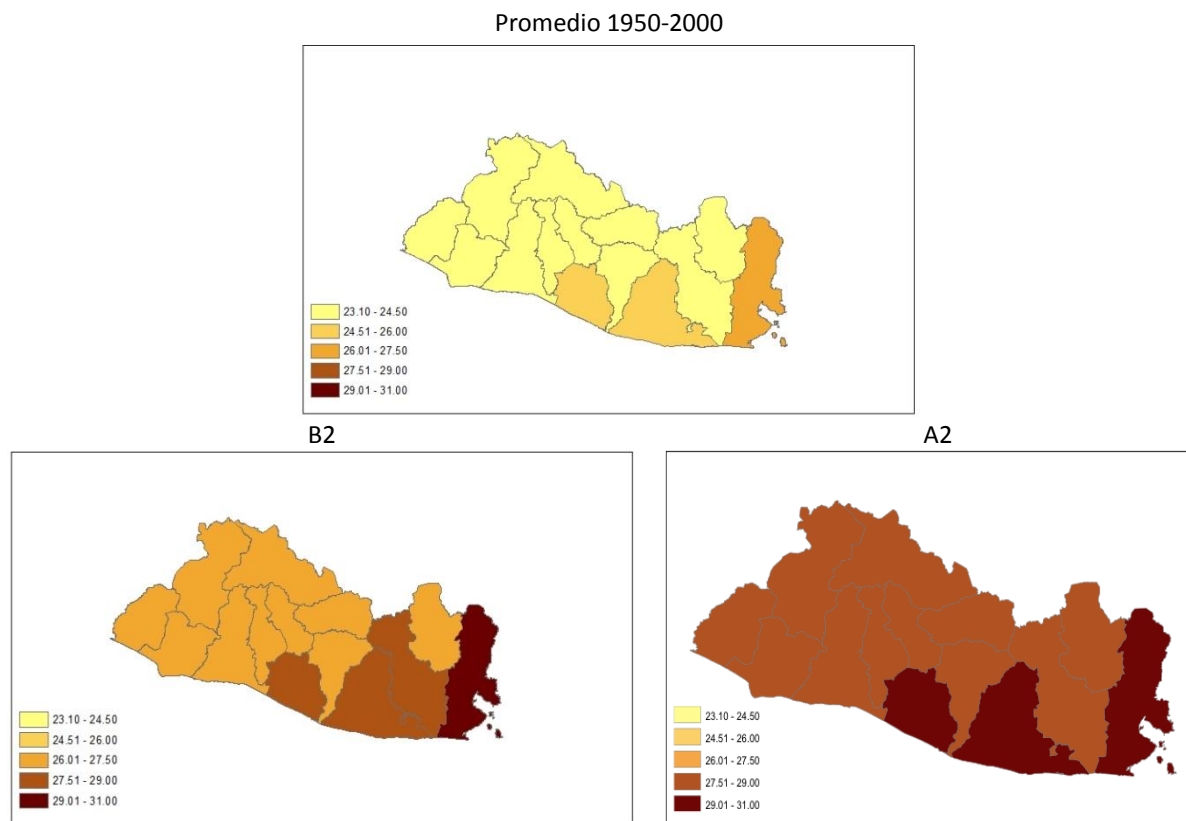


Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012a)

Mapa 2. El Salvador

Temperatura media anual por Departamento, Promedio 1950-2000 y Escenarios B2 y A2 a 2100

(En grados centígrados)



Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012a)

Cuadro 1. Temperatura media anual y variación por Departamento y País,

Promedio 1950-2000 y Escenarios B2 y A2 a 2100

(En grados centígrados)

País	Departamento	Promedio 1950-2000	Escenario A2	Escenario B2	$\Delta\%$ A2	$\Delta\%$ B2
Costa Rica	Limón	25.042	28.485	28.245	13.75	12.79
	Guanacaste	25.542	29.402	28.258	15.11	10.64
	Puntarenas	25.739	29.444	28.646	14.40	11.30
	Alajuela	22.554	26.516	25.535	17.57	13.22
	Cartago	17.534	21.220	20.672	21.02	17.90
	Heredia	20.696	24.550	23.771	18.62	14.86
	San José	20.931	24.732	23.965	18.16	14.49
	País	22.577	26.335	25.585	16.65	13.32
El Salvador	Ahuachapán	23.478	28.145	26.298	19.88	12.01

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

	La Libertad	23.183	27.791	26.052	19.88	12.37
	La Paz	24.632	29.178	27.562	18.45	11.89
	La Unión	26.404	30.877	29.605	16.94	12.13
	San Miguel	24.452	29.001	27.581	18.61	12.80
	Sonsonate	23.629	28.245	26.442	19.54	11.90
	Usulután	24.988	29.438	28.029	17.81	12.17
	Cabañas	23.261	28.013	26.346	20.43	13.26
	Chalatenango	23.534	28.374	26.627	20.56	13.14
	Cuscatlán	23.210	27.912	26.214	20.26	12.94
	Morazán	24.067	28.723	27.264	19.35	13.28
	San Salvador	23.899	28.603	26.851	19.68	12.35
	San Vicente	23.097	27.733	26.103	20.07	13.02
	Santa Ana	23.493	28.314	26.461	20.52	12.63
	País	23.952	28.596	26.960	19.39	12.56

Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012a)

La distribución espacial de la precipitación mensual promedio de Costa Rica se muestra en el Mapa 3, se observa que la zona noreste presenta una menor precipitación, y que con los escenarios de cambio climático esta diferencia tendrá a acentuarse. En concordancia con los resultados de los cambios en temperatura, las alteraciones en los patrones de precipitación mensual promedio serán más intensos bajo el escenario A2 comparado con el B2, de esta manera para Costa Rica podría presentarse una disminución de 20.13% bajo el escenario A2, equivalente a 45.32 mm y de 9.21% con el B2, equivalente a 20.73 mm. El municipio con mayor pérdida de precipitación podría ser Cartago, con una disminución de 11.27 a 25.31% bajo los escenarios B2 y A2, respectivamente.

Para el caso de El Salvador no se observan distribuciones espaciales diferenciadas respecto al patrón de precipitación histórico. El efecto del cambio climático en los patrones de precipitación del país será significativo. En primer lugar se observa que en términos porcentuales se puede esperar disminuciones de 20.3 a 30.7% en los departamentos, siendo Santa Ana el más afectado, bajo el escenario A2. En contraste con Costa Rica, las disminuciones en precipitación serán de menor magnitud el promedio del país es de 3.09% (correspondiente a 4.78 mm), mientras que en el primer caso puede llegar a 9.21%, que equivale a una magnitud de 36.47 mm (Cuadro 2).

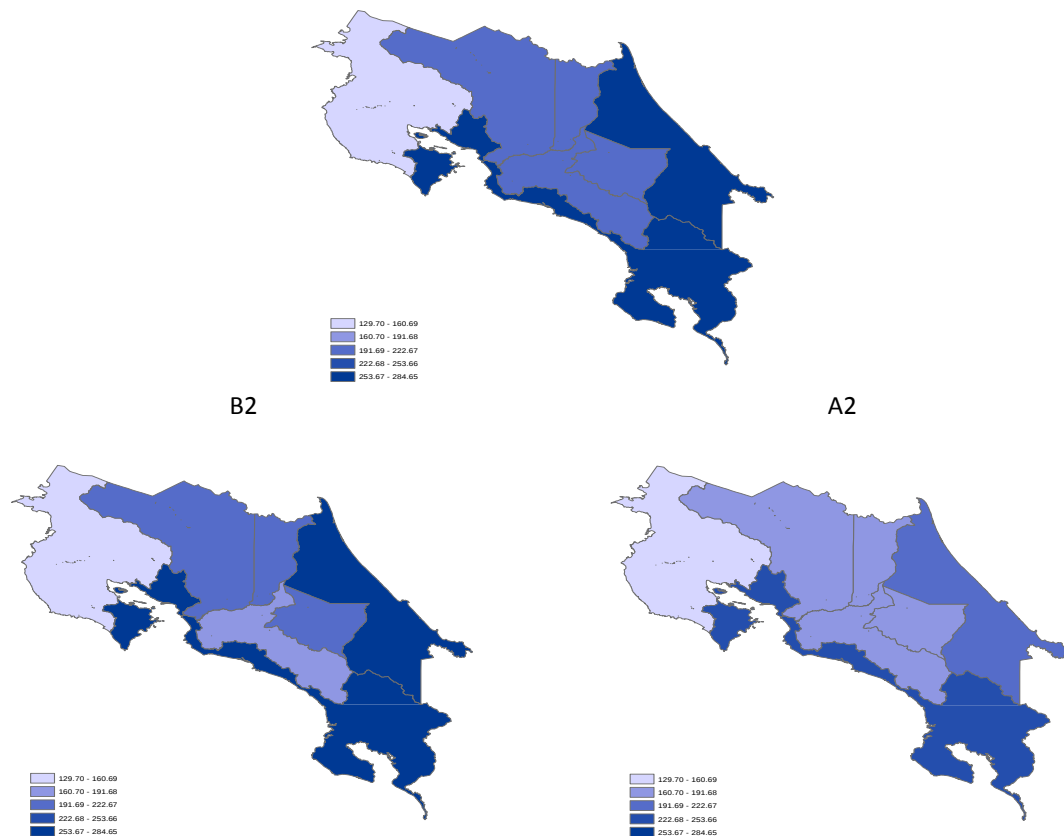
Mapa 3. Costa Rica

Precipitación mensual promedio por Departamento, Promedio 1950-2000

y Escenarios B2 y A2 a 2100

(En milímetros)

Promedio 1950-2000



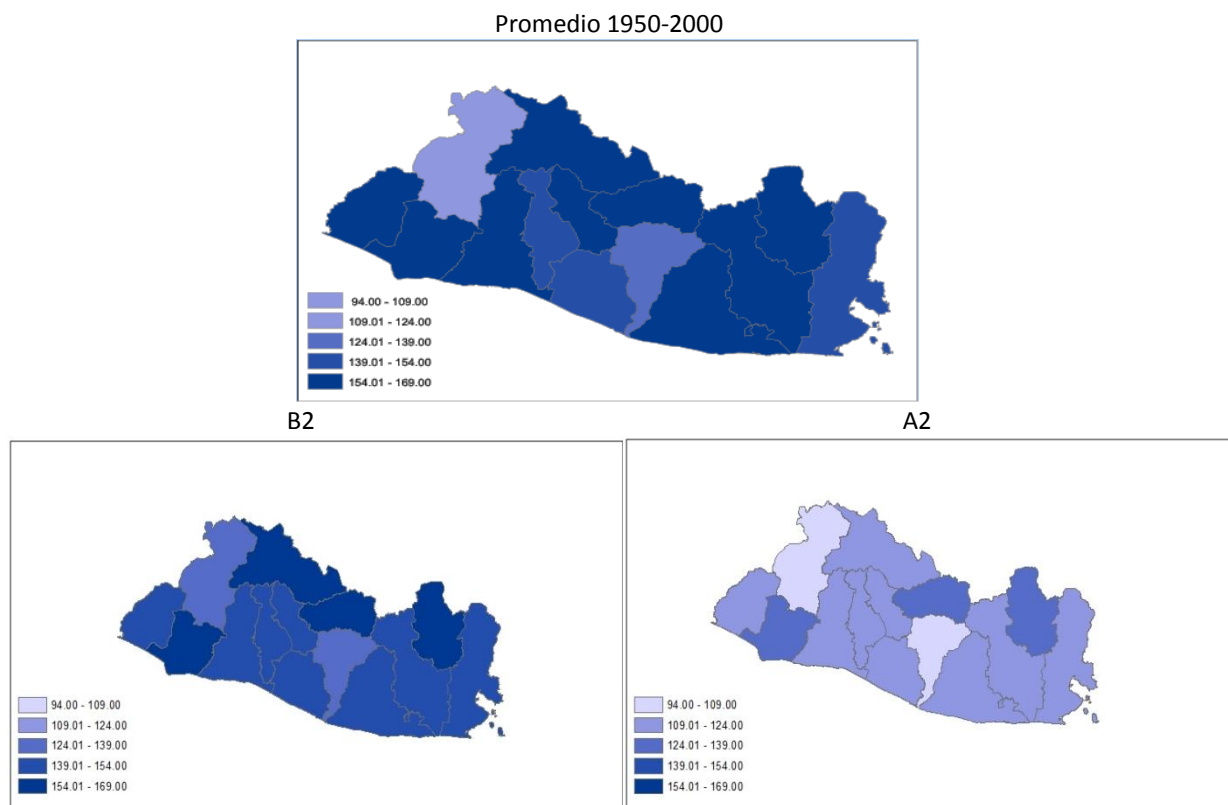
Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012a)

Mapa 4. El Salvador

Precipitación mensual promedio por Departamento, Promedio 1950-2000

y Escenarios B2 y A2 a 2100

(En milímetros)



Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012a)

Cuadro 2. Precipitación mensual promedio y variación por Departamento y País,

Promedio 1950-2000 y Escenarios B2 y A2 a 2100

(En milímetros)

País	Departamento	Promedio	Escenario A2	Escenario B2	$\Delta\%$ A2	$\Delta\%$ B2
		1950-2000				
Costa Rica	Limón	284.631	213.265	256.042	-25.07	-10.04
	Guanacaste	158.821	129.702	148.252	-18.33	-6.65
	Puntarenas	274.788	237.836	254.601	-13.45	-7.35
	Alajuela	217.549	181.642	199.482	-16.51	-8.30
	Cartago	219.224	163.744	194.513	-25.31	-11.27
	Heredia	216.218	171.230	194.583	-20.81	-10.01

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

	San José	204.686	161.274	183.323	-21.21	-10.44
	País	225.131	179.813	204.399	-20.13	-9.21
El Salvador	Ahuachapán	156.611	122.110	153.714	-22.03	-1.85
	La Libertad	155.083	121.512	150.703	-21.65	-2.82
	La Paz	147.429	112.420	141.900	-23.75	-3.75
	La Unión	149.618	110.803	142.144	-25.94	-5.00
	San Miguel	156.528	118.589	149.991	-24.24	-4.18
	Sonsonate	159.035	126.739	155.468	-20.31	-2.24
	Usulután	154.558	116.092	147.876	-24.89	-4.32
	Cabañas	167.843	131.884	163.450	-21.42	-2.62
	Chalatenango	163.830	123.310	160.712	-24.73	-1.90
	Cuscatlán	155.712	120.752	151.193	-22.45	-2.90
	Morazán	167.605	130.888	161.660	-21.91	-3.55
	San Salvador	153.786	118.757	149.602	-22.78	-2.72
	San Vicente	138.139	102.938	132.940	-25.48	-3.76
	Santa Ana	136.545	94.579	134.049	-30.73	-1.83
	País	154.452	117.955	149.671	-23.63	-3.09

Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012a)

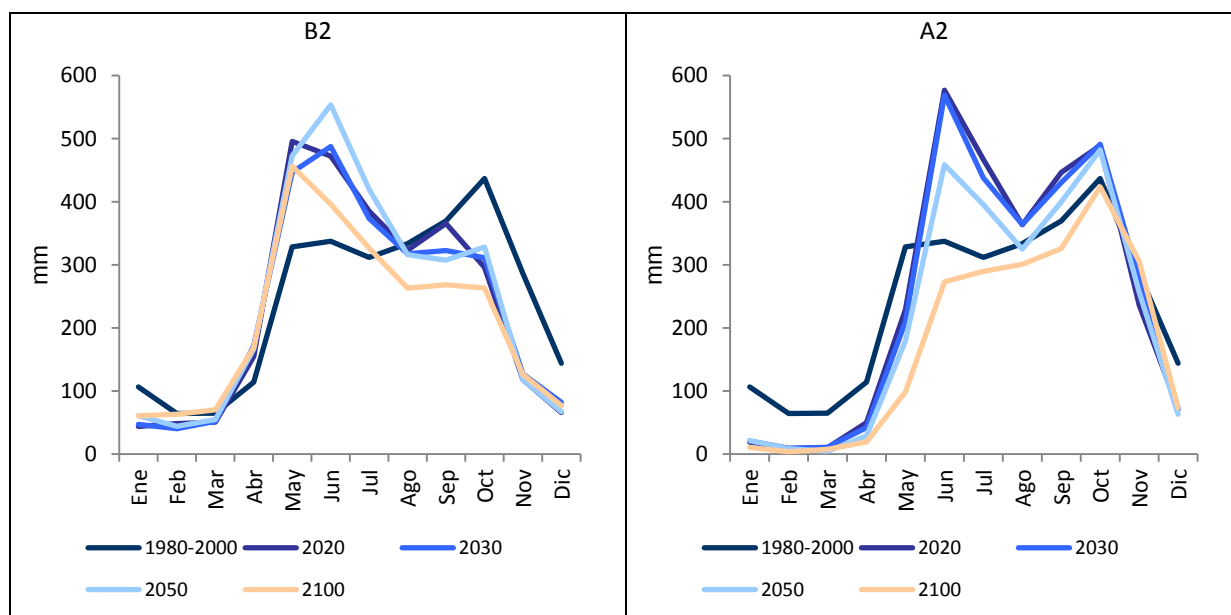
La precipitación promedio mensual en Costa Rica y El Salvador, presentará reducciones importantes como consecuencia de los efectos del cambio climático, en mayor medida en el escenario mas pesimista, el A2. Además de este efecto en la precipitación promedio anual, es importante señalar que el cambio climático podrá generar alteraciones importantes en los patrones de variabilidad interanual, de la cual dependen de forma importante los ciclos agrícolas. Los patrones de precipitación mensuales históricos, y los promedios por década con los escenarios de cambio climático con base a estimaciones de CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012a) se presentan en las gráficas 1 y 2, para Costa Rica y El Salvador, respectivamente.

En Costa Rica, de acuerdo a los datos históricos del periodo 1980-2000, la época de menor precipitación es de diciembre a abril, incrementándose de forma importante en mayo y alcanzando las mayores precipitaciones en noviembre. Como resultado de las alteraciones en la atmosfera, los patrones interanuales de precipitación podrán modificarse de forma sustancial como se observa en la gráfica 1:

- Bajo el escenario B2, el periodo de mayor precipitación se adelantará 5 meses, siendo los meses de abril y mayo cuando se presentarán precipitaciones más intensas.
- Las precipitaciones serán de menor volumen comparado con el histórico a partir de agosto, lo cual disminuirá de forma importante la disponibilidad de agua.
- Los resultados del escenario A2, muestran que los meses secos, serán aún más secos reduciendo de forma importante la precipitación, particularmente de enero a abril; y se presentarán precipitaciones más intensas en mayo.
- En ambos escenarios conforme se avanza al final del siglo, los resultados indican que habrá una mayor alteración en el ciclo y una menor precipitación.

Gráfica 1. Costa Rica

Precipitación promedio mensual, escenario B2 y A2, Promedio 1980-2000

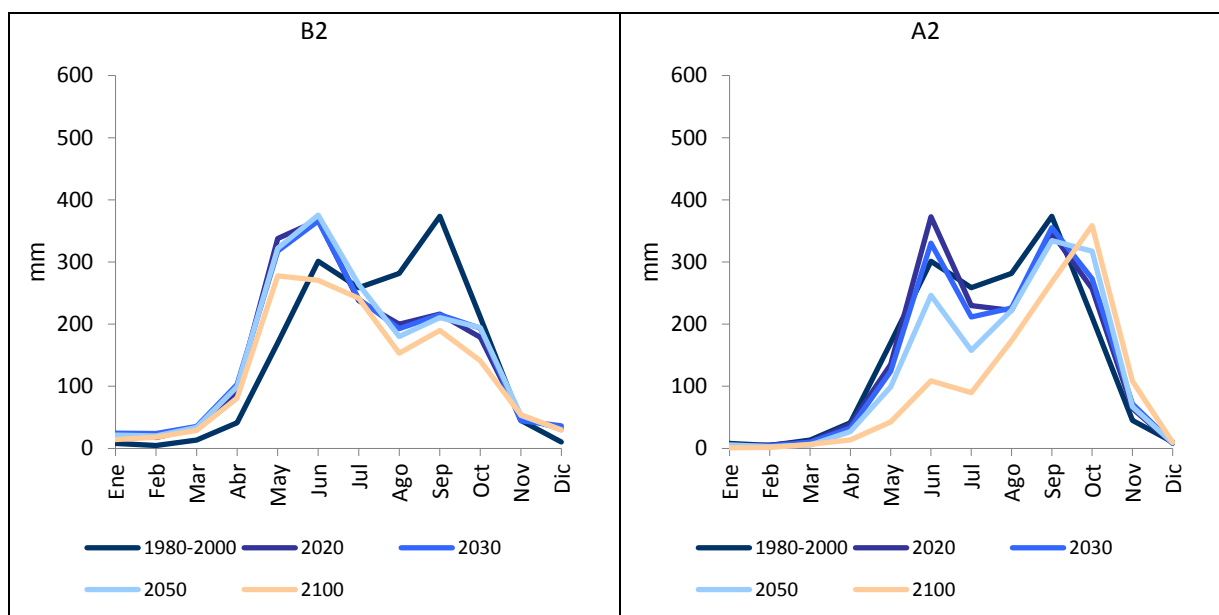


Fuente: CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012a)

Para El Salvador, los resultados son muy similares a los encontrados en Costa Rica. El cambio en el patrón de precipitación interanual es menos dinámico bajo el escenario A2, es muy similar al del periodo 1980-2000, pero con una fuerte tendencia a disminución del volumen. En contraste en el B2, los meses de mayor precipitación cambian de septiembre a abril mayo, adelantando de forma importante el volumen de agua que tendrá impactos importantes en el ciclo de siembra agrícola.

Gráfica 2. El Salvador

Precipitación promedio mensual, escenario B2 y A2, Promedio 1980-2000



Fuente: CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012a)

La aridez es una condición climática relativamente estable, determinada por una precipitación insuficiente y un incremento de la evapotranspiración. Este fenómeno incluye la evaporación de la lluvia y del agua en sus ríos y lagos y la transpiración de las plantas, ambas afectadas por la temperatura entre otros factores. Un incremento de aridez derivado del cambio climático disminuirá la abundancia de nutrientes principalmente ligados a procesos biológicos, tales como el carbono y el nitrógeno, e incrementará aquellos ligados a procesos geoquímicos, como el fósforo (Delgado et al., 2013), con lo que se generará una disminución de la cobertura vegetal y, por tanto, de la entrada de carbono y nitrógeno a los ecosistemas, mientras que potenciará procesos tales como la meteorización de las rocas, aumentando la cantidad de fósforo disponible en el sistema. Como consecuencia la aridez determina de cierta manera a los ecosistemas y la viabilidad de actividades productivas, como la agricultura.

El índice de aridez se utiliza para delimitar diferentes zonas climáticas respecto a la sequedad con los criterios propuestos por Hassan y Dregne (1997) y los del Atlas Mundial de Desertificación (UNEP, 1997)³. De acuerdo a la información obtenida de CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012c), se

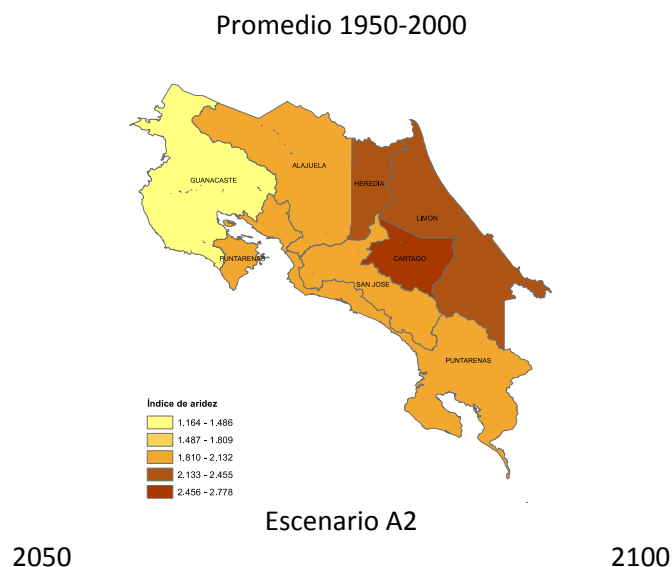
³ Técnicamente el índice de aridez es una relación insumo/pérdida de humedad, en la que el insumo es la precipitación y la pérdida es la evapotranspiración (CAZALAC y PHI/UNESCO, 2005). La evapotranspiración se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa más la pérdida de agua por transpiración de la vegetación (Thornthwaite, 1948; Penman, 1956; Papadakis, 1980; Perrier, 1984). La evapotranspiración se calcula con la ecuación de Turc (1963), que considera la precipitación y la temperatura media en un periodo establecido. Si en una región la precipitación y la evapotranspiración son iguales el valor del índice de aridez será igual a uno. Los resultados inferiores a la

elaboraron los mapas 5 y 6 dónde se muestra la distribución espacial del índice de aridez por departamento de Costa Rica y El Salvador, y el cambio que se presentará bajo el escenario A2 de cambio climático. Si bien ninguno de los dos países muestra un índice a aridez menor a la unidad, por lo que no clasifican como zonas áridas, sino húmedas. Sin embargo, se observa que de acuerdo al escenario para el 2100, la relación entre precipitación y evapotranspiración se va a alterar de forma importante, y en consecuencia disminuirá el índice de aridez.

De esta manera como resultado de las estimaciones de disminución en la precipitación y el incremento en la temperatura, en el caso de Costa Rica (Mapa 5), se observa que la aridez podría incrementarse en todo el país, alterando de forma significativa el equilibrio en los ecosistemas, particularmente en el noreste del país, en departamentos como Heredia, Limón y Cartago.

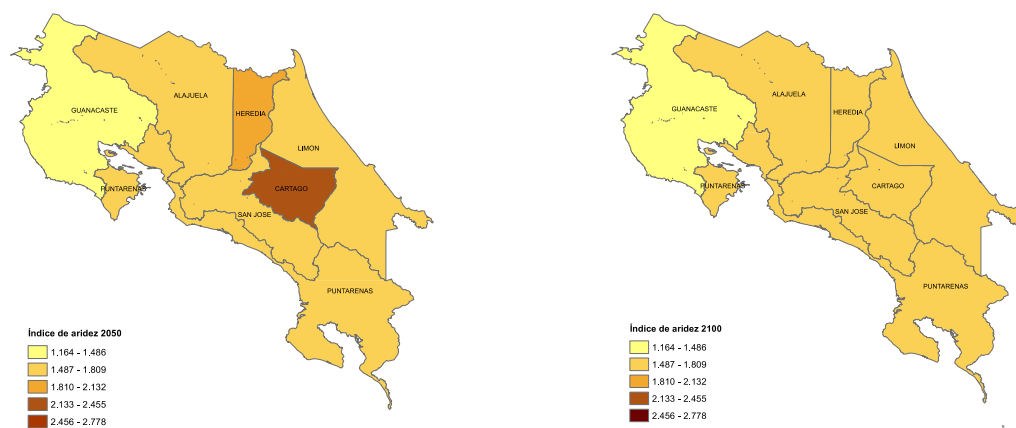
Mapa 5. Costa Rica

Índice de aridez por Departamento, Promedio 1950-2000 y Escenario A2 a 2050 y 2100



unidad reflejan que la evapotranspiración es mayor a la precipitación, y con ello se pueden clasificar zonas de acuerdo al siguiente criterio: Hiperáridas si el índice es menor a 0.05, Áridas si está entre 0.05 y 0.20, Semiáridas de 0.20 a 0.50, Subhúmedas-secas de 0.50 a 0.65, Subhúmedas-subhúmedas si está entre 0.65 y 1, Húmedas si es mayor a 1 (CAZALAC y PHI/UNESCO, 2005).

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.



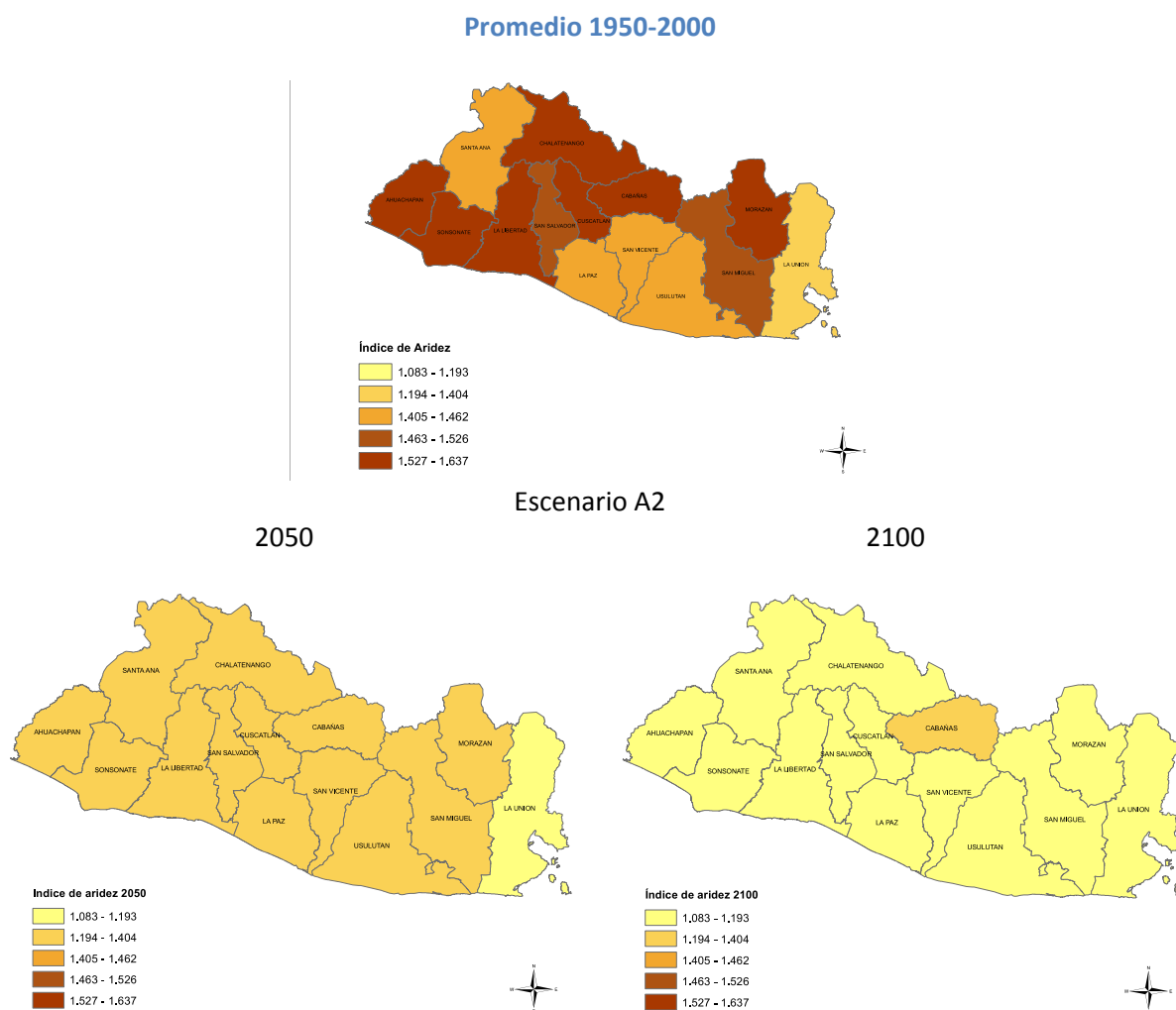
Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012c)

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

En El Salvador la disminución en el índice de aridez será más rápida y más homogénea (Mapa 6), ya que para mediados de siglo en prácticamente todo el país se observara que este índice se encuentra en el rango de 1.19 a 1.40, para el 2100, el índice de aridez estará alrededor de la unidad en todos los departamentos, indicando una fuerte pérdida de precipitación.

Mapa 6. El Salvador

Índice de aridez por Departamento, Promedio 1950-2000 y Escenario A2 a 2050 y 2100



Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012c)

Estos efectos físicos se traducen en afectaciones en la cantidad y calidad del agua, que inciden de forma directa en los ecosistemas y en la actividad económica, principalmente en el sector agropecuario, en la actividad forestal, y en la generación de energía por hidroeléctricas. Asimismo, la disponibilidad de agua para consumo humano será una restricción fundamental para el desarrollo.

En este sentido se ha iniciado a cuantificar los impactos del cambio climático sobre la agricultura, particularmente las necesidades de riego y la eficiencia del uso del agua. Se puede generar un

incremento en la demanda neta de riego de los cultivos de entre un 5% y 8% a nivel mundial para el 2070, con importantes diferencias a nivel regional (Döll, 2002). El estrés hídrico puede incrementarse hasta 20% al 2080, debido a una mayor demanda de evaporación y un incremento en la temporada de crecimiento de los cultivos, (Fisher et al., 2006). La agricultura de riego podría encontrarse ante nuevos problemas, vinculados a la distribución espacial y temporal de los caudales.

Los cambios hidrológicos afectarían directamente a la producción de las centrales hidroeléctricas, tanto de las actualmente existentes como de los posibles proyectos futuros. Es importante señalar que el grado de desarrollo hidroeléctrico es un factor fundamental para la estimación de los impactos y existen importantes diferencias regionales.

La información presentada en este apartado constituye un insumo fundamental para la estimación de la valoración económica de los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos en la agricultura e hidroeléctricas. Las tendencias de largo plazo de los escenarios climáticos⁴, considerando la incertidumbre que comprenden, ayudan a identificar los cambios en los patrones climáticos y sus posibles consecuencias sobre la actividad económica. Se destaca, que los cambios no serán tan sustanciales en las primeras décadas, y será a partir del 2070 dónde se podrán experimentar alteraciones más significativas (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2012a), lo cual se ve reflejado en la estimación de costos económicos.

Metodologías de valoración para el agua que se utilizaron en el presente análisis

La valoración del agua promueve su administración como un bien económico con la finalidad de lograr un uso eficiente y equitativo, así como promover la conservación y protección de los recursos hídricos. Los mecanismos de precios son un medio para la asignación de agua y generar objetivos ambientales deseables, al mismo tiempo que se maximiza la productividad del agua y el bienestar económico agregado (Molle y Berkoff, 2006). Asimismo, la correcta valoración puede facilitar una solución a problemas de largo plazo al generar cambios en los patrones de comportamiento directamente a través de incentivos, que derivarán en la correcta administración de los recursos y las correspondientes implicaciones técnicas, sociales y políticas.

La valoración del agua debe incluir costos ambientales, es decir, debe considerarse cómo una valoración completa, de esta manera disminuirá la demanda y el daño ambiental debido a que el precio podría aumentar hasta que la demanda sea consistente con la oferta considerando la restricción ambiental (Hodge y Adams, 1997).

⁴ En el último informe de evaluación del IPCC (AR5), del 2014 se presentaron escenarios de emisiones diferentes a los empleados anteriormente. Los nuevos escenarios ahora son denominados RCP (Representative Concentration Pathways), son 4 escenarios caracterizados por el forzamiento radiativo (en W/m²) que producen en el año 2100 (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5). No se cuenta con los pronósticos de estos escenarios a nivel departamento para Costa Rica y El Salvador, por lo cual se decidió utilizar la información generada por CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, (2012a) con los escenarios anteriores (B2 y A2).

Al implementarse correctamente un sistema de precios para el uso agrícola se podría reducir de forma significativa el desperdicio del recurso, ya que contribuiría a alcanzar dos objetivos importantes (ESCAP, 1996):

- Generar ingresos para la recuperación del capital, la operación y mantenimiento, e incrementar la extensión de los sistemas de riego.
- Promover el uso eficiente y proteger la calidad de los recursos hídricos derivado de la reducción de las descargas de aguas residuales.

Sin embargo, si se establece una política de tarifas de agua de forma aislada generalmente tendrá un impacto limitado, se debe considerar dentro de un paquete de incentivos (Molle y Berkoff, 2006). Las tarifas de agua en la agricultura juegan un rol importante a nivel financiero, económico y ambiental. Son una herramienta financiera porque buscan recuperar los costos recurrentes y de capital. Son una herramienta económica diseñada para conservar el agua e incrementar su productividad a través de promover la conservación y un manejo adecuado; para promover la siembra de cultivos menos demandantes de agua y la inversión de tecnologías de ahorro de agua; así como la reasignación de agua a cultivos de mayor valor y en otros sectores.

A pesar de los beneficios que se identifican asociados a la valoración del agua, las metodologías y técnicas para estimarla presentan diversos retos. Los usos que se le dan al agua, así como sus características hacen que sea un recurso importante y difícil de valorar. Las características se pueden agrupar en atributos físicos e hidrológicos de la siguiente forma Young (2005):

Atributos físicos e hidrológicos del agua:

- Es móvil: este atributo hace que el agua sea un recurso con alto costo de exclusión, por ello, hacer respetar la exclusión en los derechos de propiedad, que son la base del mercado o de la economía de intercambio, es relativamente difícil y costoso.
- Su suministro es muy variable: el abastecimiento de agua está fuera del control del hombre y varía de manera impredecible a lo largo del tiempo, en espacio y en calidad.
- Es casi el solvente universal: cuando se encuentra en cantidades abundantes proporciona (desde una perspectiva privada) una capacidad poco costosa de absorber desechos y contaminantes, así como para diluirlos y transportarlos hacia otros lugares.
- Existe una fuerte interdependencia entre los usuarios: después de utilizada un gran porcentaje del agua vuelve a los cauces de los ríos (en agricultura se estima que el 50% del agua regresa), causando externalidades negativas.
- Los problemas del agua se dan en sitios específicos: las variaciones en el abastecimiento de agua y la demanda local, así como otros problemas relacionados con los recursos hídricos están típicamente localizados, por lo que las políticas y estrategias para resolverlos a menudo deben adaptarse a las condiciones locales

Debido a que los diversos usos del agua requieren diferentes enfoques de manejo, se pueden agrupar de acuerdo al tipo de beneficio que generan a los usuarios:

- Beneficios como mercancía (bien o servicio).
- Beneficios por asimilar desperdicios.
- Valores estéticos, recreación, pesca, vida silvestre (públicos y privados).
- Preservación de la biodiversidad y ecosistemas.
- Valores sociales y culturales.

Las características económicas del agua varían de la rivalidad a la no rivalidad, así como de la exclusión a lo contrario. La rivalidad de los bienes en términos prácticos significa que cuando una persona hace uso de un bien, evita que otra lo use. Los usos hidroeléctricos y el enfriamiento de calderas no presentan rivalidad ya que una vez usada el agua, esta retorna a los cauces y puede ser usada por otros actores. Generalmente, a los bienes con rivalidad en el consumo se les conoce como privados, mientras que los que no presentan rivalidad son los bienes públicos o colectivos.

Estimar el valor económico del agua proporciona señales de la escasez relativa, de ahí que el manejo integrado de las cuencas requiera la estimación de los beneficios o de los valores en la disponibilidad de agua. La teoría económica plantea que la asignación eficiente de recursos escasos en diferentes sectores o para diferentes usos, requiere de una idea del valor y la ganancia que se generará en cada uno de ellos (Martínez y Dimas, 2007).

En ausencia de mercados o cuando estos son ineficientes, la evaluación de las decisiones económicas para la distribución de los recursos requiere que se apliquen métodos para estimar su valor. Según Field y Field (2005), Azqueta (2002), los métodos de valoración se dividen en tres grupos:

1) Métodos basados en los precios de mercado donde los recursos naturales tienen un precio en los mercados locales o internacionales, caso del agua embotellada o la madera en pie. Por ejemplo los cambios en la productividad y las pérdidas de ingresos (o de la ganancia) (Martínez y Dimas, 2007). Los inconvenientes del uso de estos métodos son los cambios en la productividad, los cuales se pueden complicar en sistemas de usos múltiples. Pueden existir funciones ecológicas importantes que no son valoradas por el método. Si existen distorsiones, el ajuste de los precios de mercado no es una tarea sencilla y se necesitan muchos datos. El costo de oportunidad, la opción alternativa, puede tener beneficios menos tangibles que no son medidos con esta técnica, por lo que ante situaciones de diferencias mínimas se deberá tomar prudencia.

2) Los métodos basados en precios indirectos, en los que la estimación del costo de un bien o servicio se realiza a través de sustitutos imperfectos, como por ejemplo, la determinación del valor de un lago con base en la estimación del valor de un balneario, que puede brindar un bienestar similar a las personas que deseen recrearse en él. Como los costos de reemplazo, gastos preventivos, costos de restauración, costo de oportunidad y bienes sustitutos. Dentro de los bienes comercializados como sustitutos ambientales, hay dificultad para determinar en qué grado los bienes comercializados son sustitutos ambientales aceptables. A veces el sustituto comercializado provee una pequeña parte del valor total ofrecido por el recurso ambiental original, no considerando los intangibles.

3) Métodos basados en mercados hipotéticos, que se basan en construir un mercado en el que se introduce a los usuarios de ese bien o servicio, con el fin de medir el bienestar que aporta. Se fundamentan en la aplicación de encuestas, mediante las que se determina la disposición a pagar o a ser compensado por el desarrollo de un proyecto o por un bien o servicio específico o las modificaciones a este. Los costos de viaje, precios hedónicos y valoración contingente.

El concepto de valor económico del agua se debe construir a partir de la escasez relativa del recurso en las fuentes de abastecimiento, y el cambio climático intensificará esta escasez. En algunos países se considera al agua como un recurso abundante, lo cual ha impedido entender su naturaleza como un bien económico (Galán, 1995), sin embargo, la realidad muestra que la escasez de agua y los conflictos entre usuarios son cada vez más evidentes y frecuentes (Briscoe, 1990). Desde el punto de vista de la eficiencia, la ausencia del precio del agua ha conducido a un uso irracional que acentúa de forma creciente la escasez relativa del recurso. (Arrojo, 1999; Kulsreshatha et al, 1991; Anjum Altaf, 1987). Lo anterior indica la necesidad de estimar el valor real del recurso agua, de tal forma que se tenga en cuenta su escasez relativa, para generar incentivos (vía mecanismos de precios) que alienten su uso eficiente.

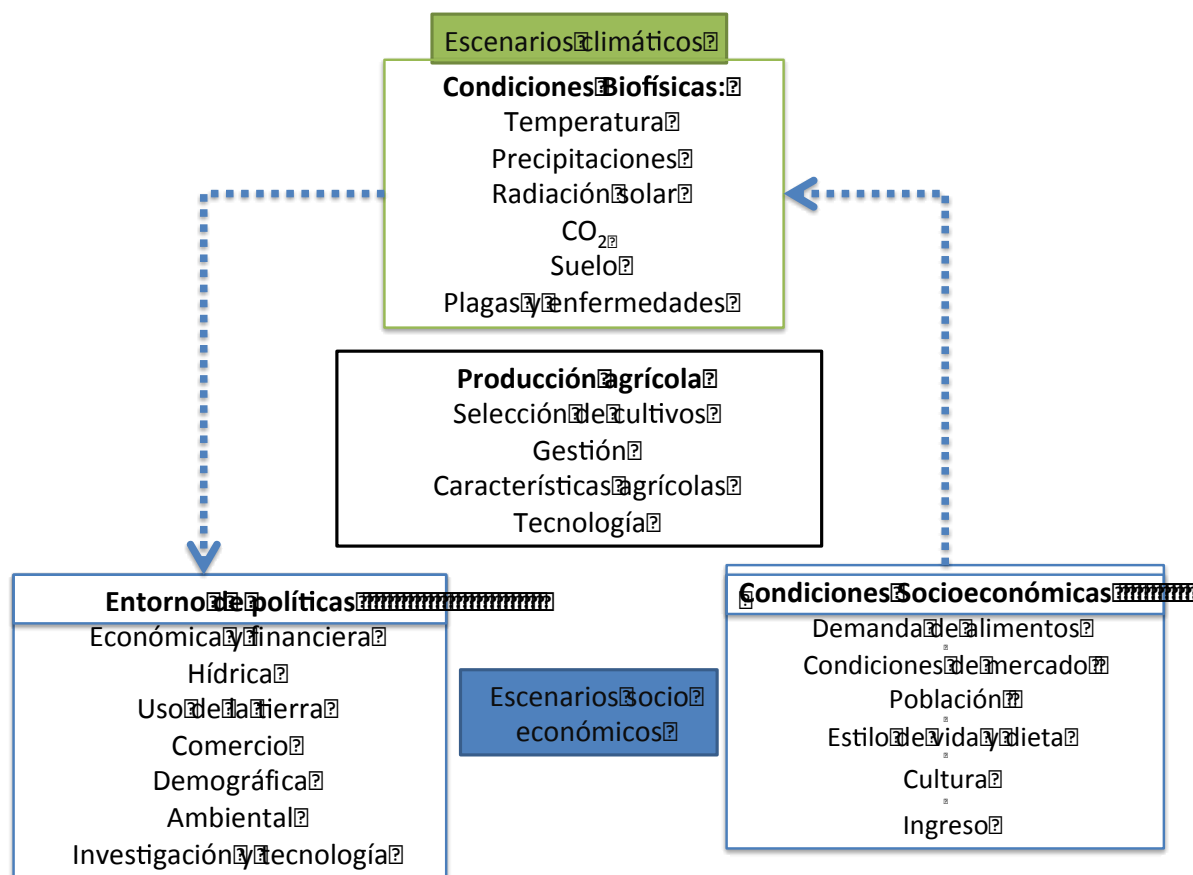
Agua, agricultura y cambio climático

El sector más demandante de agua, en promedio, a nivel global es la agricultura, y su competitividad y desarrollo depende fundamentalmente de la disposición de este recurso en cantidad y calidad adecuadas. Así la disminución de la disponibilidad de agua y los costos crecientes de energía que demanda su extracción producirán un aumento en los costos de la actividad agropecuaria.

La producción agrícola es un sistema muy complejo en el que las variables ecológicas y socioeconómicas actúan juntos en diferentes escalas espaciales (Lobell et al., 2008, Mendelsohn et al., 2001). La evaluación de los impactos del cambio climático sobre la producción agrícola debe hacer frente a esta complejidad y las interconexiones que existen entre una serie de factores clave; y también debe reconocer que la agricultura es un factor que incide en el cambio climático a través de las emisiones que se generan por el uso de fertilizantes (EEA, 2008).

Las variables que influyen en la producción de cultivos son biofísicas y socioeconómicas en la naturaleza, e incluyen las relacionadas con los procesos políticos. Algunos determinantes biofísicos tales como la temperatura, la precipitación, la radiación solar, el CO₂ y el suelo se comprenden de manera intuitiva a ser componentes esenciales de la productividad de los cultivos (Jablonski et al., 2002; Olesen y Bindi, 2002; Cramer et al., 2001; Tubiello et al., 2007; Challinor et al., 2003). Pero los promedios mensuales o anuales no son los únicos factores que deben ser considerados (Katz y Brown, 1992). Los eventos extremos y su frecuencia también pueden determinar las producciones locales y regionales (Iglesias et al., 2009; Sivakumar et al., 2005). Al mismo tiempo, la variabilidad interanual tiene un impacto considerable en el desempeño económico del sector agrícola (Adams et al., 2003). Asimismo, las plagas y enfermedades también pueden determinar los rendimientos de los cultivos y el desempeño económico agrícola, y puede estar influida por las mismas variables biofísicas que afectan a las producciones (Figura 3).

Figura 3. Factores claves que influyen la producción agrícola



Fuente: adaptación de Iglesias et al., 2011.

Desde el punto de vista socioeconómico, los mercados tienen una fuerte influencia en la producción de alimentos. La demanda de alimentos no depende únicamente del tamaño de la población; también está relacionada con el estilo de vida y la dieta, que a su vez están influenciados por el desarrollo socioeconómico (Mendelson et al., 2001). Al mismo tiempo, la producción agrícola está relacionada con los precios de entrada y una amplia serie de políticas que afectan a los sistemas agrícolas. Otros factores que tienen una fuerte influencia en la productividad de los cultivos incluyen el rendimiento económico y financiero, el estado de los recursos hídricos (Döll, 2002; Alcamo et al., 2007; Iglesias et al., 2011), las tendencias de uso de la tierra (Olsen y Bindi, 2002), los patrones de comercio (Parry et al., 2004), la investigación del medio ambiente y el desarrollo tecnológico, y las condiciones demográficas (Alexandratos, 2005).

Las tendencias positivas en el rendimiento de los cultivos de las últimas décadas imponen una dificultad adicional en la estimación de los efectos del cambio climático cuando las condiciones socioeconómicas y tecnológicas también están en proceso de cambio. Los agricultores responden a las variables externas a través de las decisiones de gestión. Por lo tanto, la influencia de la gestión en la productividad de los cultivos es el rendimiento a nivel de finca y el resultado combinado puede ser diferente, incluso en condiciones climáticas idénticas, debido a las características particulares de la finca, tales como el tamaño, forma y capacidad financiera o tecnológica.

La sequía como un riesgo natural se produce en casi cualquier lugar del mundo. La sequía tiene características únicas que las hacen muy diferentes de otros peligros naturales. Las sequías de largo plazo se han descrito como "fenómenos que se arrastran" que a menudo se desarrollan lentamente; pueden pasar meses o años antes de que los funcionarios se den cuenta de que están en una situación de sequía (Gillette, 1950). Esto es muy diferente de otros peligros, tales como tornados, inundaciones, terremotos o tormentas tropicales. Una segunda característica de las sequías, descrita por Tannehill (1947), es que carecen de una definición clara y cuantitativa. Otros riesgos son definidos por varios parámetros, tales como etapas de inundación, la Escala de Fujita para tornados, la Escala de Richter para los terremotos o la escala Saffir -Simpson para huracanes. La incertidumbre acerca de lo que una sequía es, si una sequía se está produciendo o no y su gravedad conduce a la confusión y la falta de acción de funcionarios para responder a los eventos de sequía (Yevjevich, 1967; Glantz y Katz, 1977). Una tercera característica única de las sequías es que carecen de los efectos visuales dramáticos que son tan comunes en otros riesgos, lo que permite que pasen desapercibidos de los funcionarios, medios de comunicación y el público hasta que el caso es especialmente grave (Wilhite y Buchanan-Smith, 2005).

Dadas las características de la sequía y su naturaleza compleja, se han identificado cuatro perspectivas: meteorológicas, agrícolas, hidrológicas y socioeconómicas (Figura 4). Un punto de vista meteorológico se centra en el grado de severidad de los déficits de precipitación usando una variedad de indicadores e índices que se han desarrollado para destacar estos déficits (Wilhite y Glantz, 1985).

La sequía agrícola implica la relación entre demandas de agua de las plantas y la cantidad de agua disponible, sobre todo en el nivel del suelo. Un punto de vista hidrológico se ocupa de la naturaleza a largo plazo de la relación entre los déficits de precipitación y los recursos hídricos en una región como caudales, niveles de los embalses, la acumulación de nieve y las aguas subterráneas. Como el riego depende de los recursos hídricos de una región, la producción agrícola puede verse afectada por una sequía hidrológica. Sequías socioeconómicas están relacionadas con los diversos impactos que afectan a la sociedad y el medio ambiente como consecuencia de las sequías meteorológicas, agrícolas o hidrológicas.

Figura 4. Aspectos disciplinarios de la sequía



Fuente: Adaptación de Hayes et al. 2011.

En efecto, las variaciones en la temperatura media del planeta tendrán impactos en el ciclo hidrológico que influirán de manera decisiva en sus principales componentes como la precipitación y la evaporización, mismas que a su vez tienen efectos en el escurrimiento, en el contenido de humedad de los suelos y en la recarga de acuíferos (IPCC, 2007). Específicamente la relación existente entre la disponibilidad de agua en la agricultura y el cambio climático se puede sintetizar en los siguientes puntos:

- Cerca del 67% de la disponibilidad de agua mundial, y 87% del agua de consumo es para propósitos de irrigación (Shiklomanov, 2000). En este sentido, la disponibilidad de agua es un factor fundamental y que en el contexto de cambio climático no está claro cómo se podrá satisfacer esa necesidad de agua.
- Los requerimientos de irrigación en el largo plazo indican que aproximadamente dos terceras partes del área bajo riego globales experimentarían mayores requerimientos de agua en el 2070 (Siebert y Döll, 2007).
- Mucha del agua utilizada en irrigación es derivada del derretimiento de nieve y hielo de montañas, y estas fuentes serán particularmente vulnerables a condiciones más secas y

cálidas (IPCC, 2007). Asimismo, el agua subterránea de los acuíferos, se verá afectada en las regiones áridas, debido a la sobreexplotación y por el incremento en los costos de bombeo.

- Además de las alteraciones que se generarán por el cambio en el ciclo hidrológico, la demanda de agua tendrá otras presiones asociadas al incremento de la población y el desarrollo económico (Vorosmarty, et al., 2000), generando una competencia por el uso del recurso entre áreas urbanas y la agricultura.
- Los riesgos de eventos extremos que afectan a la agricultura se incrementarán, como las inundaciones y las sequías (IPCC, 2013).

Este tipo de impactos son difíciles de cuantificar y están asociados a los cambios, en la frecuencia de inundaciones y sequías, o en la cantidad y calidad o variación temporal de disponibilidad de agua. Ello genera un mayor grado de incertidumbre sobre los posibles impactos y aún más sobre los costos en términos monetarios. En todo caso, resulta difícil cuantificar todos los efectos potenciales de los cambios en el ciclo hidrológico derivado del cambio climático.

Desde luego, las características y peculiaridades del recurso hídrico hacen que, en muchas ocasiones, no pueda hacerse una valoración en forma directa utilizando los precios de mercado. Esto se debe, en parte, a que no existen mercados establecidos en sus diversos tipos y niveles y que incluso en estos mercados existen limitaciones importantes a considerar. Por ello, es común utilizar para diversos métodos indirectos (Young, 2005). En el caso del agua, una de las claves para lograr el desarrollo sustentable del sector es reconocer el valor social, económico y ambiental que el recurso posee dentro del total de procesos económicos, sociales y naturales. Si bien, la valoración supone otras dificultades además de los sistemas de valor conflictivos o la ausencia de instituciones de mercado, la utilización de medidas teóricas y aproximadas para calcular el valor económico es una necesidad imperante.

Dentro de los posibles categorías de valoración del agua, la economía ambiental divide en dos grandes rubros los tipos de métodos que se utilizan para determinar el valor económico total:

- Métodos indirectos o de preferencias reveladas: Son aquellos en los cuales, con base a información de mercados ya establecidos, se deriva indirectamente información acerca de un bien del que no se tienen datos directos. Se les llama de preferencias reveladas porque los individuos “revelan” sus preferencias acerca del bien sin mercado a través de su comportamiento en los mercados ya existentes.
- Métodos directos o de preferencias declaradas: Estos métodos no tratan de derivar información de los mercados de otros bienes, sino que investigan directamente el valor que el individuo asigna al bien que desean valorar. De esta forma los individuos “declaran” en forma más directa sus preferencias acerca del bien en cuestión.

El enfoque de función de producción⁵, se calcula la aproximación económica de la productividad marginal del agua en la generación de valor en la producción agrícola. Los procesos productivos agrícolas pueden caracterizarse de manera formal mediante una función de producción, que en su expresión más simple describe la relación, dada una tecnología, de diferentes insumos de la producción se relacionan entre sí para obtener un bien determinado. El conjunto de posibilidades de producción están limitados por las restricciones tecnológicas y por la disponibilidad de insumos. Además, en algunos modelos de análisis, las restricciones impuestas por el marco institucional pueden también contribuir a determinar el conjunto de producción.

De esta forma, es posible determinar un vector de producción que describe el producto final de un número determinado de bienes utilizados en un proceso de producción como $y = (y_1, \dots, y_L) \in \mathbb{R}^L$. Por su parte, el conjunto de producción Y puede describirse mediante una función $F(\cdot)$ llamada la función de transformación, que tiene la siguiente expresión: $Y = \{y \in \mathbb{R}^L: F(y) \leq 0\}$ y $F(y) = 0$ si y sólo si y es un elemento de la frontera de Y . De esta forma, el conjunto de puntos de Y , $\{y \in \mathbb{R}^L: F(y) = 0\}$, son conocidos como la frontera de transformación⁶.

Para la valoración económica del agua del uso agrícola, se especifica una función de producción translog, la cual es cuadrática en logaritmos y permite superar los problemas de aditividad y homogeneidad⁷ que presentan las funciones de producción del tipo Cobb-Douglas.

Formalmente, la producción agrícola Y está relacionada con la disponibilidad de insumos: capital (K), trabajo (L), agua (W), temperatura (E) y otras materias primas (M). Se asume que la función de producción está caracterizada por rendimientos constantes a escala y que cualquier cambio tecnológico que afecte K, L, W, E y M es neutral.

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln K + \beta_2 \ln L + \beta_3 \ln W + \beta_4 \ln E + \beta_5 \ln M + \beta_6 \frac{\ln^2 K}{2} + \beta_7 \frac{\ln^2 L}{2} + \beta_8 \frac{\ln^2 W}{2} + \beta_9 \frac{\ln^2 E}{2} + \beta_{10} \frac{\ln^2 M}{2} + \beta_{11} \ln K \ln L + \beta_{12} \ln K \ln W + \beta_{13} \ln K \ln E + \beta_{14} \ln K \ln M + \beta_{15} \ln L \ln W + \beta_{16} \ln L \ln E + \beta_{18} \ln W \ln E + \beta_{19} \ln W \ln M + \beta_{20} \ln E \ln M + \epsilon$$

Donde $\ln$ es el operador logaritmo natural.

La elasticidad de la producción con respecto a cada factor de producción se calcula tomando la derivada parcial de la producción con respecto al factor de que se trate. Por ejemplo, la elasticidad del agua es:

⁵ Este tipo de método se emplea para valorar bienes o servicios que no tienen mercado pero que son utilizados como insumos para la producción de otros bienes que sí son transados en los mercados y poseen un precio. De esta forma se puede tener una idea del valor del agua calculando cuál es su contribución a los beneficios de producción de un bien; para esto es necesario tener bien definida la función de costos de la producción.

⁶ Para una descripción más exhaustiva ver Mas-Colell, et al. 1995.

⁷ Estas propiedades implican que las porciones de los factores son constantes y la elasticidad de sustitución, así como la elasticidad cruzada-parcial de sustitución son limitadas a la unidad (Wang y Lall, 1999).

$$\sigma = \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln W} = \beta_3 + \beta_8 \ln W + \beta_{12} \ln K + \beta_{15} \ln L + \beta_{18} \ln E + \beta_{19} \ln M$$

El valor marginal del agua en la producción agrícola es:

$$\rho = \frac{\partial Y}{\partial W} = \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln W} * \frac{Y}{W} = \sigma \frac{Y}{W}$$

Si se asume que el precio del agua P es igual al costo marginal del uso del agua. En el punto en que los productores maximizan beneficios, el valor marginal del producto tiene que ser igual al costo marginal. Entonces, el precio del agua P debería ser igual al valor marginal del agua (ρ). Se define γ como la elasticidad precio del agua, que puede ser obtenido de la siguiente forma:

$$\gamma = \frac{\partial \ln W}{\partial \ln P} = \frac{\partial \ln W}{\partial \ln \rho} = - \frac{\sigma}{\sigma - \sigma^2 - \beta_8}$$

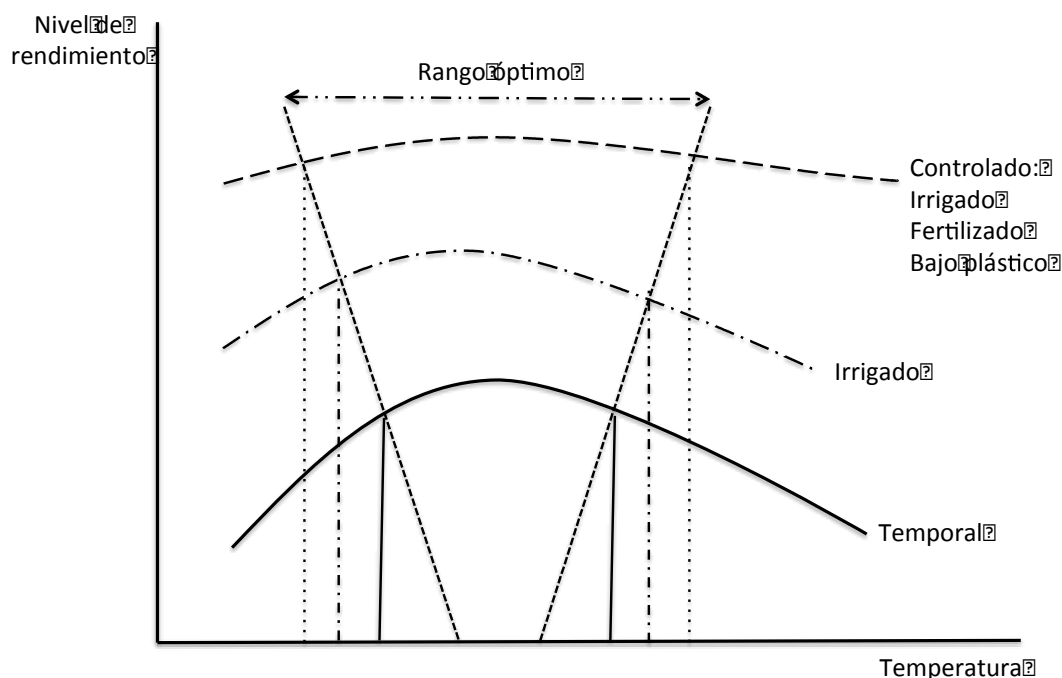
Se asume que el agua es un insumo en la producción de los bienes de consumo y de otros bienes intermedios. Otro supuesto importante es que los productores que utilizan el agua tienen como objetivo maximizar sus beneficios económicos y también que no existen mercados para el agua como bien intermedio aunque si existen mercados para los bienes finales que se producen con ella.

De esta manera, utilizando la metodología de función de producción se deben considerar las especificidades que involucran la estimación para la actividad agrícola en el contexto de cambio climático. Los cambios en los patrones de precipitación tienen un impacto importante en la producción y los rendimientos agropecuarios que puede representarse como una función cóncava o de U invertida. En las curvas de rendimiento teórico por temperatura y disponibilidad del agua, un aumento inicial de la cantidad de agua disponible tiene impactos positivos en la producción y en los rendimientos agropecuarios, llega a una cantidad óptima, para después caer paulatinamente.

De este modo, los impactos del agua deben entenderse en forma conjunta con los cambios en la temperatura, el CO_2 y la tecnología (Figura 5); por ejemplo, los impactos positivos del aumento inicial de la temperatura y el CO_2 dependen de la disponibilidad de agua (Fleisher, Lichtman y Mendelsohn, 2008). En este sentido, se espera que los requerimientos, a nivel global, de irrigación como consecuencia del calentamiento global, aumenten entre 1 y 3 por ciento para el 2020 y 5 y 8 por ciento para el 2070 (IPCC, 2007). Así, no obstante, que el impacto de la temperatura es mayor que el agua; la creciente demanda de agua se puede convertir en una restricción fundamental en los próximos años. Asimismo, es importante señalar que los impactos de los eventos extremos pueden ser considerablemente elevados, generando pérdidas económicas relevantes porque repercutirán en la producción, la infraestructura, los medios de vida, la salud y la seguridad de la población, además de debilitar la capacidad del ambiente para proveer recursos y servicios vitales.

Figura 5.

Relación temperatura rendimientos bajo diferentes tecnologías



Fuente: Mendelson (2013)

La función de producción agrícola representa al producto como una función de la tecnología, de los insumos, del capital, del trabajo, del ambiente que incluye a la calidad del suelo y el clima e incluso del tipo de administración (Doering *et al.*, 2002; Mendelson, *et al.* 1994). En el modelo econométrico estimado se incluyeron una constante y la tendencia para aproximar los efectos económicos tales como el cambio tecnológico o la inversión de capital y posiblemente otros factores. Este modelo permite capturar la presencia de un cierto nivel de sustitución entre los diversos insumos y factores de producción. El valor de los coeficientes δ_1 y δ_2 de la ecuación, indica entonces que existe inicialmente un impacto positivo de la precipitación o de las desviaciones de estas variables con respecto a su valor máximo o mínimo y que el aumento de estas diferencias acaba por tener efectos negativos netos.

$$\ln y_t = a + b_1 \ln x_{1t} + \dots + b_n \ln x_{nt} + d_1 \ln A - d_2 \ln A^2 + u_t$$

En este caso, se optó por estimar una función de producción incluyendo la precipitación utilizando datos a nivel nacional para la producción agrícola nacional, y los rendimientos del maíz, arroz y frijol de Costa Rica y El Salvador usando información del periodo 1980-2010, y otro modelo a nivel departamental con datos de sección cruzada usando datos del 2009, y de acuerdo a especificaciones aplicadas para otros países. Este método permite además disponer de un valor estimado del agua de riego que se obtiene al multiplicar el precio de la cosecha por la productividad marginal del agua en el cultivo respectivo (Caballer y Guadalajara, 1998). De este modo, el ingreso marginal del agua sería el tope máximo a pagar por el agua o precio máximo del agua. En este contexto, una mayor

disponibilidad de agua tiene, inicialmente, un impacto positivo en los rendimientos agrícolas para posteriormente al pasar de un límite generar un efecto negativo.

Agua, hidroelectricidad y cambio climático

En este apartado se presentan las consideraciones necesarias para realizar una valoración económica de la contribución del agua en la producción hidroeléctrica. Se identificarán las principales metodologías de valoración, la información necesaria para llevarlas a cabo, señalando que para una valoración adecuada se necesita realizar la valoración para cada planta de producción hidroeléctrica.

La producción de electricidad de origen hidráulico proporciona la quinta parte del total de la electricidad consumida en el mundo, la proporción se ha mantenido constante desde la década de los 90 (AIE, 2013). La tecnología asociada a este tipo de transformación energética lleva desarrollándose más de 100 años y algunas de las centrales productoras de electricidad constituyen importantes obras de ingeniería (González, 2009).

Una característica de las centrales hidroeléctricas es que tienen un periodo de vida muy largo, la fuerte inversión se amortiza a lo largo de muchos años de producción, como consecuencia la electricidad de origen hidráulico puede competir en precio con la producida por otras formas de producción eléctrica, además de que el impacto ambiental es bajo ya que no generan gases de efecto invernadero ni contaminación. Asimismo, la oferta de electricidad se puede ajustar fácilmente a la demanda de los usuarios debido a que las turbinas hidroeléctricas pueden ser controladas fácilmente (González, 2009).

La central hidroeléctrica incluye una zona de captación de aguas y un lugar de almacenamiento de agua, además la producción total depende del valor del caudal y del salto (caída). En consecuencia, las hidroeléctricas suelen instalarse en lugares que recogen una suficiente cantidad de precipitación anual y con una altura considerable. Las hidroeléctricas requieren de grandes inversiones a causa de la obra civil que se debe realizar, las cuales pueden incluir la desviación del río o torrente, la construcción del dique de contención de la presa, la edificaciones de la central, el gasto en equipamiento de turbinas, alternadores, la construcciones de canales y aliviaderos, tomas de agua, compuertas, conducciones, consolidación de suelos que forman la cuenca receptora, etc. (González, 2009). En este sentido cada central hidroeléctrica representa costos de instalación muy heterogéneos, en función de la obra ingenieril que se requiera de acuerdo a las condiciones geográficas y al tipo de tecnología que instale.

La estimación de la energía potencial hidráulica está dada por la ecuación:

$$E_p = mgh = \rho_w Vgh$$

dónde m representa la masa de agua, g la aceleración de la gravedad, y h la altura o salto a la que se encuentra la masa de agua, ρ_w la densidad del agua y V el volumen total de agua almacenada. En consecuencia los factores climáticos como la precipitación y la temperatura que incide en la evapotranspiración, son factores fundamentales asociados al volumen total de agua almacenada.

Una central hidroeléctrica es una instalación en la cual la energía cinética del agua se transforma en

momento de giro en el eje de una turbina y en energía eléctrica por transmisión del momento de giro al rotor de un generador eléctrico. Las centrales se clasifican de acuerdo a su capacidad de producción, las cuales están en un rango de décimas de kW hasta más de 10,000 MW, así hasta 5 MW son consideradas mini hidráulicas, y una mayor capacidad son centrales hidroeléctricas convencionales. La producción de una central hidroeléctrica está determinada por la capacidad nominal instalada, la cual sólo sería posible si la planta estuviera funcionando al 100% de su capacidad todas las horas del año.

La electricidad generada está en función de la estimación de salto (caída), del caudal y la potencia extraíble, esta última depende de los tipos de turbinas utilizadas, las cuales se clasifican en turbinas de acción o de impulso y turbinas de reacción o de presión. Para la estimación del caudal se deben examinar los registros de precipitaciones de una determinada localidad a lo largo de varios años, este flujo estimado de precipitación tiene que ser corregido por pérdidas de evaporación, absorción de la vegetación e infiltraciones, las correcciones pueden llegar a ser del orden de tres cuartos del total de precipitación.

Los factores que pueden afectar la disponibilidad de agua son (Sandagiri, 2013):

- La capacidad presente del reservorio.
- Los flujos futuros.
- La tasa de cambio del flujo en un horizonte de tiempo dado.

Una vez instalada la planta, el funcionamiento depende fundamentalmente de la disponibilidad de agua, que es el único “combustible” que necesita para funcionar. En este sentido el valor económico del agua en las hidroeléctricas se puede trasladar completamente al valor de la energía que se produce, si se descuentan los costos de operación y la depreciación de las instalaciones. Las metodologías más utilizadas para la valoración del valor agregado del agua en las hidroeléctricas son:

- Costo de oportunidad: el diferencial de precios para una tecnología alternativa. Cualquier uso de agua en particular se asocia con costos de oportunidad, que son los beneficios previstos de los posibles usos alternativos de los recursos. Los tomadores de decisiones se enfrentan con la disyuntiva, por ejemplo, la demanda de agua energía hidroeléctrica con el deseo de preservar los humedales para los peces y el hábitat de la vida silvestre (FAO, 2004). El método de costo de oportunidad utiliza los costos de producción como una aproximación rudimentaria del valor de los servicios ambientales; se basan en la idea de que los costos de usar un recurso para propósitos que no tienen precios en el mercado o no son comercializados pueden ser estimados usando el ingreso perdido por no usar el recurso en otros usos como variable, es decir, los costos de usar recursos que no tienen precio o no son transados en el mercado, pueden ser estimados a través de la cuantificación de los ingresos potenciales de estos para la toma de decisiones (Freeman, 2003; Pagiola et al, 2004; SEMARN; Moreno, 2005).
- Análisis costo-efectividad (también conocido como análisis de costo mínimo): se utiliza para identificar la opción más rentable para el logro de un criterio u objetivo preestablecido en donde la opción más rentable es identificada con el menor valor presente de los costos. Se

asume implícitamente que los beneficios de cumplimiento de la meta superan el costo y que la acción, por lo tanto es económicamente viable (FAO, 2004). Análisis costo-efectividad es adecuado para su uso en situaciones en las que la estimación válida y fiable de los beneficios de las opciones alternativas no es factible. Esto es particularmente relevante para realizar acciones que impliquen el cambio ambiental. En lugar de tratar de identificar y valorar los beneficios, los medios más rentables de alcanzar un objetivo deseado son identificados. Por ejemplo, el análisis de costo-efectividad se recomienda en situaciones donde existen objetos de conservación claros y defendibles u otros objetivos ambientales que se pueden medir en términos de unidades biofísicas como las normas mínimas de calidad del agua (FAO, 2004).

El enfoque de la eficiencia económica tiene como principal objetivo el desarrollo y la asignación de los recursos hídricos como un enfoque social; los valores de eficiencia tienen sentido viable en la resolución de conflictos y la evaluación de los costos de oportunidad de perseguir usos alternativos (Young, 1996).

Los valores de corto plazo para el uso del agua en la generación de energía hidroeléctrica en los países industrializados suelen ser bastante bajos, a menudo no más altos que el valor en la agricultura de regadío (FAO, 2004) y los valores a largo plazo son aún más bajos. La energía hidroeléctrica es más probable que sea rentable donde el agua es abundante y hay pocos usos en competencia. En los países en desarrollo, los altos costos ambientales de las fuentes alternativas de energía y la creciente demanda de energía pueden hacer que la energía hidroeléctrica sea una opción atractiva. La energía hidroeléctrica se considera un uso no consuntivo del agua y como tal no impone externalidades sobre otros usos potenciales. Sin embargo, en realidad, puede modificar los regímenes de flujo con el resultado de generar grandes costos. La cuestión clave no es su uso consuntivo o no consuntivo, pero si los costos impuestos a otros sectores por ese uso particular del recurso.

Además del valor del agua, es importante realizar una evaluación de la huella hídrica⁸ de las centrales hidroeléctricas, así como en la evaluación de las represas hidroeléctricas existentes, para identificar las consecuencias de la huella hídrica de la generación hidroeléctrica en los caudales ecológicos aguas abajo y otros usuarios del agua (Mekonnen y Hoekstra, 2011). El desarrollo sostenible de la energía hidroeléctrica requiere la contabilidad y la internalización de todos los costos externos, incluidos el uso del agua. La internalización significa que los costos económicos y ambientales del agua utilizada se pagan al operador de una planta de energía hidroeléctrica incluido en el precio de la energía hidroeléctrica. Por lo tanto hay que reconocer que los costos de uso de agua varían en el año y a través de las cuencas hidrográficas, ya que el grado de escasez de agua y la competencia por el agua dependerá del período dentro del año y circunstancias locales.

⁸ La huella hídrica mide el volumen de agua dulce consumida y contaminada para producir el producto a lo largo de su cadena de suministro. La huella de agua de un producto es igual a la suma de agua dulce consumida o contaminada dividido por la cantidad de producción del producto (Hoekstra y Chapagain, 2008; Hoekstra et al., 2011). La huella hídrica consiste en tres componentes: la huella hídrica verde (uso consuntivo de agua de lluvia), la huella de agua azul (uso consuntivo de agua subterránea o superficial) y la huella hídrica gris (el volumen de agua contaminada) (Mekonnen y Hoekstra, 2011),

Con base a la información anterior del funcionamiento y la estimación de la capacidad de generación eléctrica en las plantas se concluye que para la estimación de un valor puntual del agua en las hidroeléctricas se debe de realizar el análisis de forma individual, de acuerdo a las características de cada una de las plantas y las condiciones climáticas circundantes. La información recabada y disponible no es suficiente para realizar una valoración detallada de todas las hidroeléctricas de Costa Rica y El Salvador. Una limitante importante para la estimación de los costos económicos del impacto del cambio climático en las hidroeléctricas es la información de precipitación, debido a que no se dispone de la información a nivel cuenca de disponibilidad actual y futura con escenarios de cambio climático, se tiene información a nivel departamento. Con base a lo anterior, en este documento se empleó una metodología que permite hacer una aproximación del aporte económico del agua en las hidroeléctricas, considerando su capacidad instalada, el nivel de producción y la precipitación del departamento en la que se encuentra, este análisis se presenta en la sección de valoración de los impactos del cambio climático.

Aporte económico de la agricultura y la hidroelectricidad

En este apartado se presentará la evolución e importancia de los sectores agrícola y de hidroelectricidad en las economías de Costa Rica y El Salvador, con la finalidad de poner en contexto la relevancia del agua en su aporte en la producción de ambos rubros, así como identificar el comportamiento de algunas de las variables que se emplearon en la estimación de los modelos.

Producción agrícola

El dinamismo económico de Costa Rica durante los últimos 30 años ha sido importante, destacando periodos de altas tasas de crecimiento durante 1985-1990 llegando a 5.5 % anual, asimismo en la último quinquenio también se han generado tasas de crecimiento elevadas. En contraste, El Salvador muestra un comportamiento más heterogéneo, en la década de los 80's se presentaron tasas negativas e incipiente crecimiento, es en el periodo 2005-2010 dónde repunta de forma importante la economía con un crecimiento de 7.7% promedio anual (Cuadro 3).

Cuadro 3.

Tasas de crecimiento medio del PIB (periodos de 5 años)

	1980-1985	1985-1990	1990-1995	1995-2000	2000-2005	2005-2010
Costa Rica	1.8	5.5	4.8	3.3	2	5
El Salvador	-3.2	0.4	1.4	1	1.3	7.7

Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL CAC y SICA, 2011

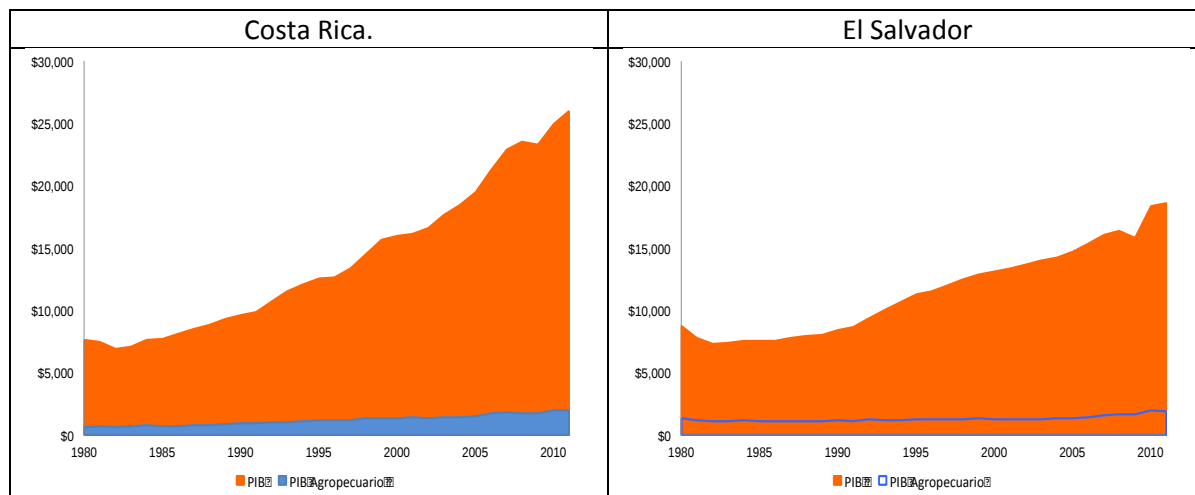
A pesar del dinamismo en la economía en general, el sector agrícola ha presentado un dinamismo relativamente menor al del conjunto de la economía. En la gráfica 3, se presenta la evolución del PIB y del PIB agrícola por país. En 2010 el Producto Interno Bruto de El Salvador ascendió a 18,341 millones de dólares de 2000 de los cuales 1,983 millones de dólares pertenecen al sector agropecuario lo que representa una participación porcentual del 10.81% para ese año. Para el año 2010 el Producto Interno Bruto de Costa Rica ascendió a 24,952 millones de dólares de 2000 de los cuales 1,934 millones de dólares pertenencia sector agropecuario lo que representa una

participación porcentual cercana al 8% para ese año. Como resultado del menor dinamismo del sector agrícola, la participación de esta actividad en el PIB nacional presenta una tendencia decreciente, mucho más significativa en El Salvador comparado con Costa Rica, donde la participación desde los 80's ya era baja (Gráfica 4).

Gráfica 3.

PIB agropecuario y PIB 1980-2011

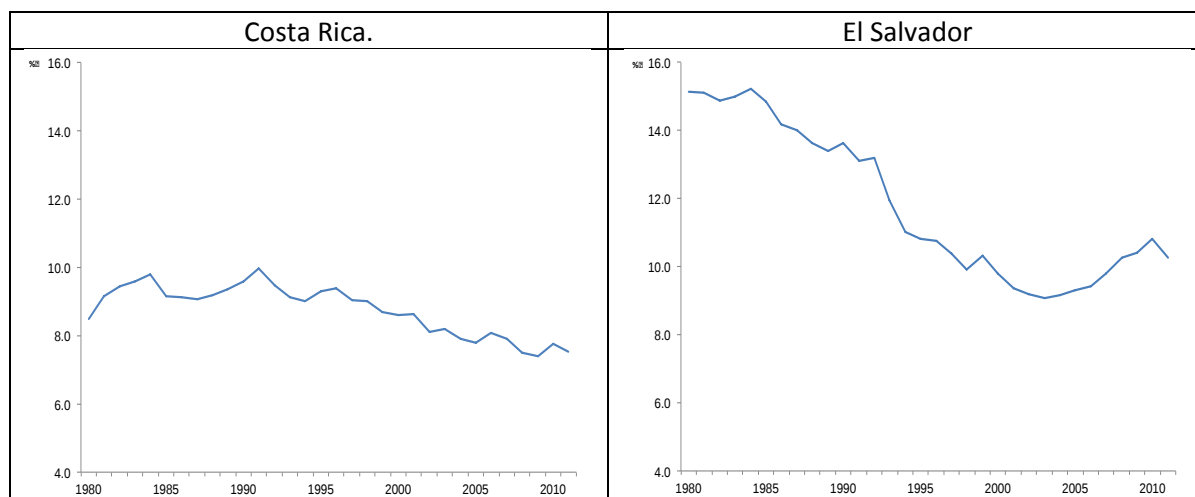
Millones de dólares de 2000



Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL, CAC y SICA, 2011

Gráfica 4.

Participación porcentual PIB agropecuario en el PIB



Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL , CAC y SICA, 2011

Además del comportamiento del valor de la producción agrícola en relación a la producción total, el comportamiento de la población agrícola contribuye al análisis del cambio en la estructura económica de los países, en la cual se observa que se está disminuyendo el valor de las actividades primarias, y se está incrementando el sector servicios. Es notable que el mayor porcentaje de población ocupada se encuentra en el sector servicios, mientras que en la industria y en la

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

agricultura se encuentran más equilibrados en su grado de participación en la economía salvadoreña (cuadro 4), mientras que para Costa Rica, es en agricultura dónde se tiene la menor proporción de la población ocupada.

La tendencia de la población agrícola se ha mantenido casi constante durante el periodo 1976-2010, en ambos países. En 1976 Costa Rica tenía una población ocupada en el sector agrícola de 214.50 miles de personas, representando el 34.62% de la población ocupada total, en 2010 la población paso a 285.07 miles, lo cual representa únicamente 14.98%, indicando por un lado que una pequeña parte de la población se ocupa en este sector y por otra que se ha incrementado la productividad, debido a que el PIB agrícola ha seguido creciendo. En El Salvador, se observa el mismo comportamiento que en Costa Rica (gráfica 5).

Cuadro 4.

Distribución de la población ocupada por sector

País / Años	Agricultura	Industria	Servicios
Costa Rica			
1994	21.0	26.3	51.9
2000	16.9	22.5	59.8
2005	15.0	21.6	63.0
2010	15.0	19.5	64.7
El Salvador			
1995	25.6	26.7	47.7
2000	20.7	24.4	54.9
2004	18.4	23.9	57.7
2010	21.2	21.2	57.5

Fuente: Elaboración propia con datos de CEPALSTAT.

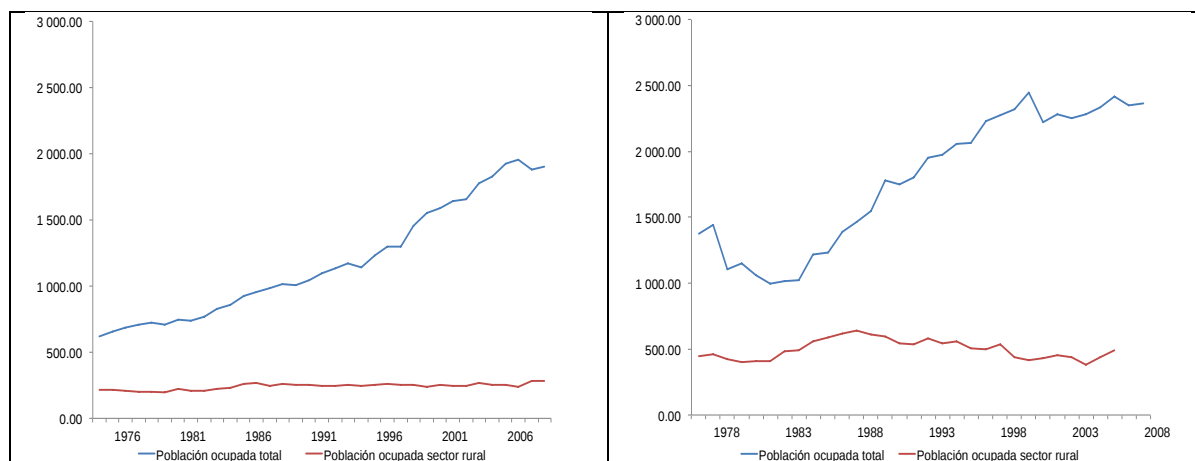
Gráfica 5.

Población ocupada total y agrícola

Miles de personas

Costa Rica 1976-2010	El Salvador 1978-2009
----------------------	-----------------------

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.



Fuente: Elaboración propia con datos de CEPALSTAT.

A inicios de la década de los 60's en Costa Rica se tenían 1,395 miles de Ha de superficie agrícola, equivalente al 27.29% del total de la superficie, de los cuales 285 miles de Ha correspondían a tierras arables, 195 miles Ha estaban destinadas a cultivos permanente y 915 miles de Ha como pastos y praderas permanentes. Para 2011 la superficie agrícola cambia a 1,880 miles de Ha, siendo 36.79% del total, las tierras arables, la destinada a cultivos permanentes y pastos y praderas fueron de 250, 330 y 1,300 miles de Ha, respectivamente. La superficie máxima agrícola registrada durante ese periodo fue en 1984 con 2,748 miles de Ha. Se observa que la superficie dedicada a cultivos permanentes se ha mantenido relativamente constante, la superficie de praderas y pastos tiene una correlación muy alta con el total, lo que implica que es ésta la que condiciona el comportamiento, mientras que la superficie de tierra presenta una tendencia decreciente.

La superficie agrícola de El Salvador para el año 1961 fue de 1,252 mil Ha mientras que para 2011 llegó a 1,532 mil Ha, de las cuales 665 mil Ha era superficie de tierras arables, 230 mil Ha son superficie de tierras destinadas a cultivos permanentes y 637 mil Ha era superficie de praderas y pastos permanentes. Lo anterior demuestra que existe en general un incremento en la superficie destinada a la agricultura, el incremento porcentual de 2011 respecto a 1961 fue del 22.36.

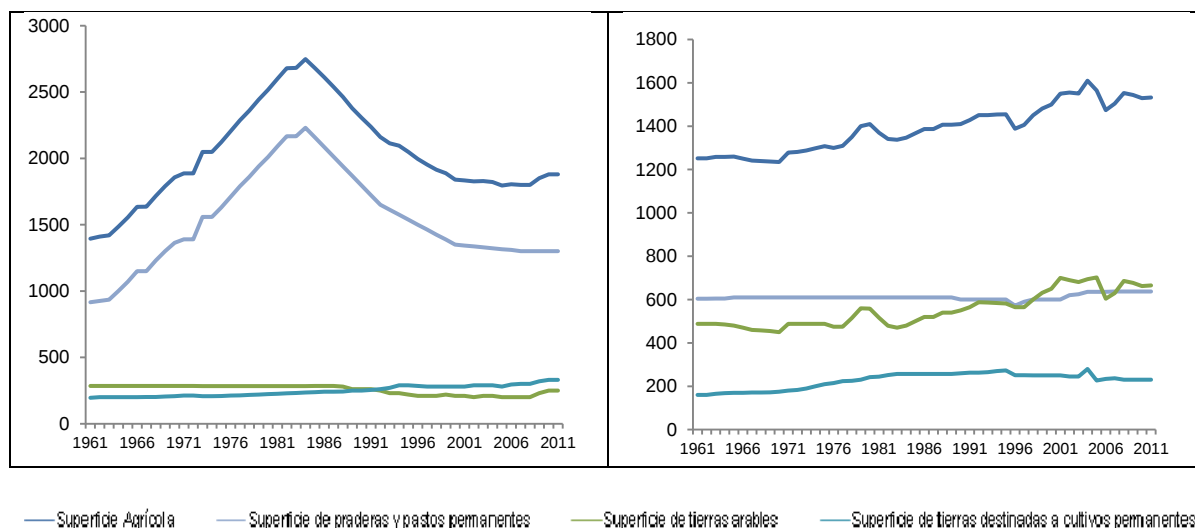
Gráfica 6.

Superficie Agrícola, de tierras arables, de tierras destinadas a cultivos permanentes y de praderas y pastos. 1961-2011

Miles de Ha

Costa Rica	El Salvador
------------	-------------

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.



Fuente: Elaboración propia con datos de CEPALSTAT

Con la finalidad de revisar en qué medida la producción agrícola depende de la precipitación o si se cuenta con tecnología de riego, se analizó cual es la disponibilidad de riego en ambos países. En Costa Rica, la superficie regada tiene un comportamiento particular, en la que se puede distinguir 4 fases. La primera del inicio de la serie hasta 1973, donde la superficie es constante, la segunda se tiene desde 1973 hasta 1981, donde la tendencia es marcadamente creciente, para luego tener una fase con pendiente más suave pero igual creciente, para luego tener desde 1999 hasta 2010 una superficie constante de 108 miles de Ha. En el gráfico 7 se muestra la superficie agrícola y la superficie regada, y se logra apreciar una enorme brecha entre ambas superficies lo que a su vez es un indicador fehaciente de la baja tecnificación de la agricultura salvadoreña, que sin embargo se observa que ambas superficies presentan un crecimiento similar. En la distribución geográfica al interno de cada país se observa que existe una desigualdad entre departamentos. En Costa Rica, el departamento de Limón no cuenta con sistemas de riego, y los departamentos de Heredia, Cartago y San José no tienen más del 5% de su superficie equipada con riego, inclusive en los departamentos con mayor equipamiento no supera el 45%. En El Salvador, la mayoría de los departamentos no supera el 5% de su superficie equipada con riego⁹. Con base a lo anterior, se asume que los impactos del cambio climático será diferenciada por departamento, ya que algunos cuentan con una capacidad de adaptación mayor al poder usar la tecnología de riego.

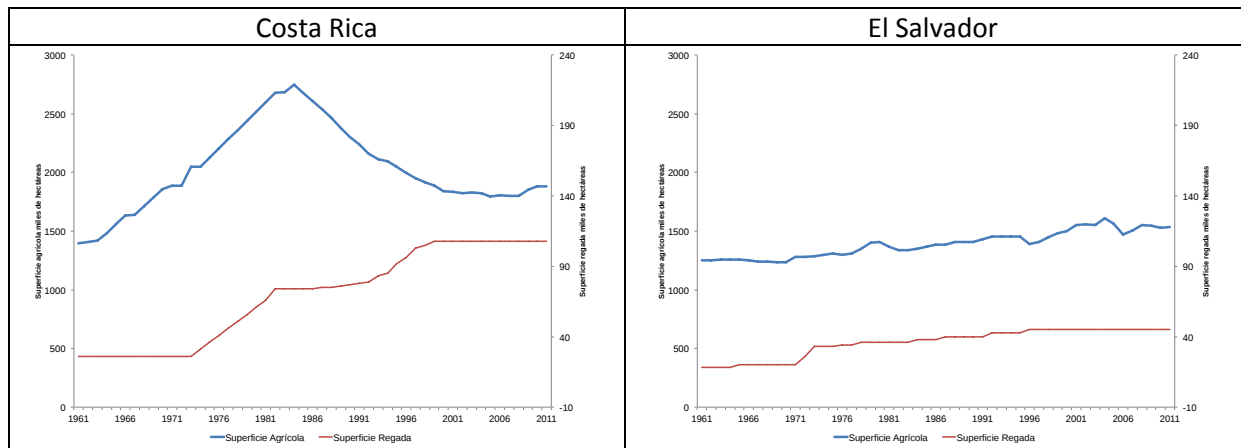
Gráfica 7.

Superficie Agrícola, y Superficie Regada, 1961-2011

⁹ En Limón, en general no se requiere de riego por la alta precipitación mensual y anual; Heredia, Cartago y San José son áreas con cultivos permanentes por la altura en que se encuentran; Guanacaste, es la provincia con mayor requerimiento porque tiene la menor precipitación del país; el sistema de riego Arenal Tempisque y sus ampliaciones es el más importante del país. En Puntarenas el cultivo de piña demanda riego

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

Miles de Ha

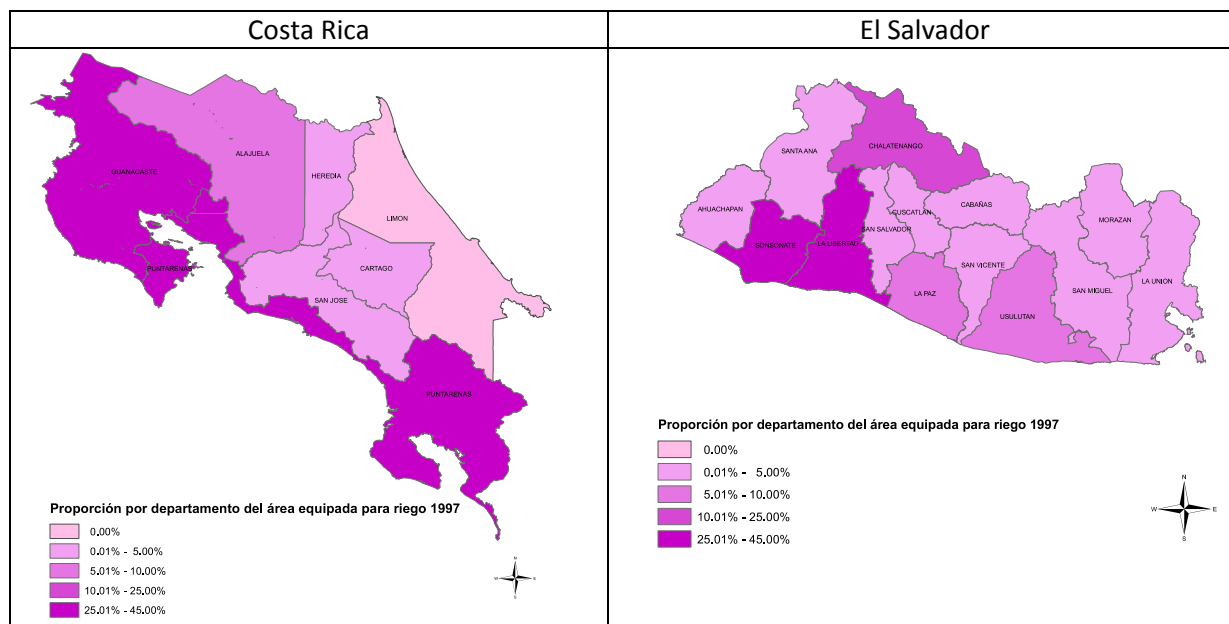


Fuente: Elaboración propia con datos de CEPALSTAT.

Mapa 7.

Superficie por departamento equipada con riego

(en porcentajes)



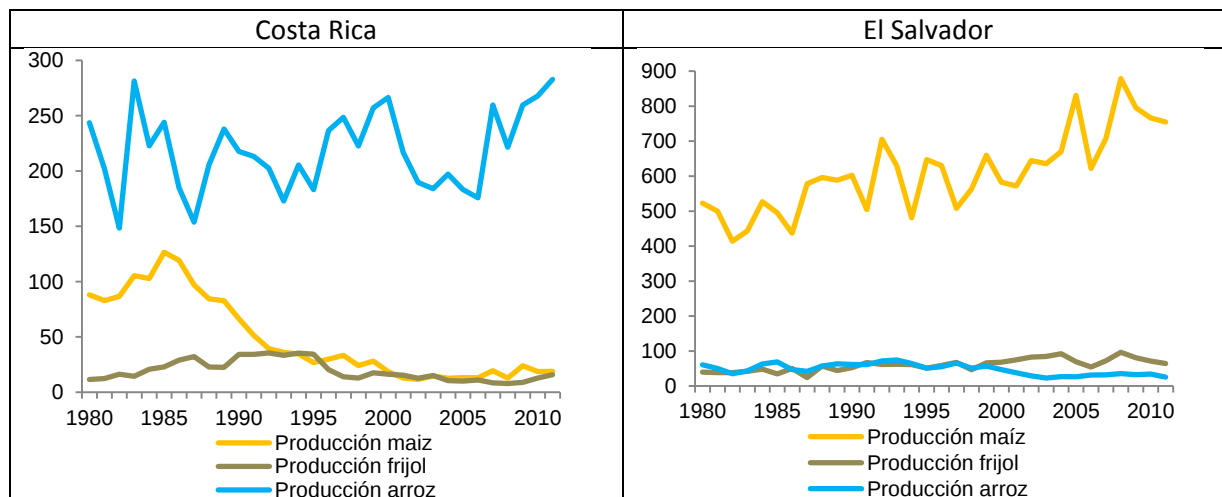
En Costa Rica los rendimientos del maíz y del frijol se mantienen estables durante todo el periodo, mientras que los del arroz presentan un comportamiento más volátil (Gráfica 9). En lo referente a la producción de estos granos presenta una tendencia decreciente a partir de la década de los noventa, se puede inferir que se dejaron de utilizar tierras para producir estos dos granos (Gráfica 8), el sustituto fue el arroz, que tiene un comportamiento más inestable en la producción sin una tendencia definida.

El volumen de producción de arroz en El Salvador es pequeño y presenta una tendencia decreciente a partir del año 2000, mientras que el frijol presenta una ligera tendencia creciente, durante el periodo 1990-2011. La producción de maíz tiene un comportamiento volátil alrededor de una tendencia creciente (Gráfica 9). A pesar de que en El Salvador los rendimientos y la producción de maíz se han incrementado, se puede observar que el volumen de importaciones se ha incrementado de forma exponencial (Gráfica 10), así la tasa de crecimiento del volumen de producción de 1980-2011 fue de 49.29, mientras que las importaciones es de 4,146% indicando la incapacidad del país de satisfacer su demanda interna, generando presiones importantes sobre la seguridad alimentaria del país. En Costa Rica la situación es más riesgosa, al considerar el maíz como ejemplo, ya que su producción no se ha incrementado, al contrario ha disminuido en 84%, y las importaciones se han incrementado en 2,404%.

Gráfica 8.

Producción: maíz, arroz y frijol. 1980-2011

miles de toneladas

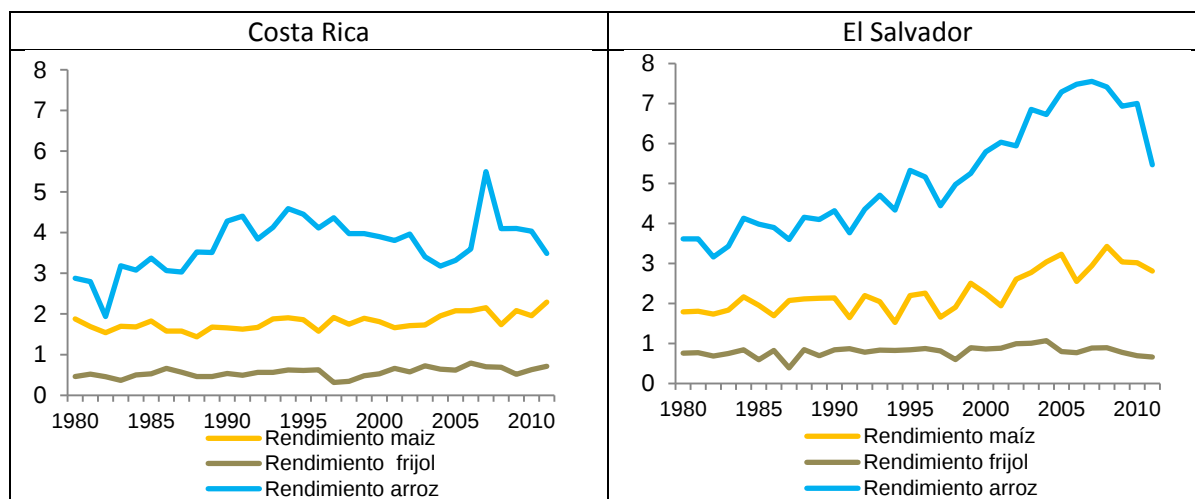


Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL

Gráfica 9.

Rendimiento: maíz, arroz y frijol. 1980-2011

Ton/Ha

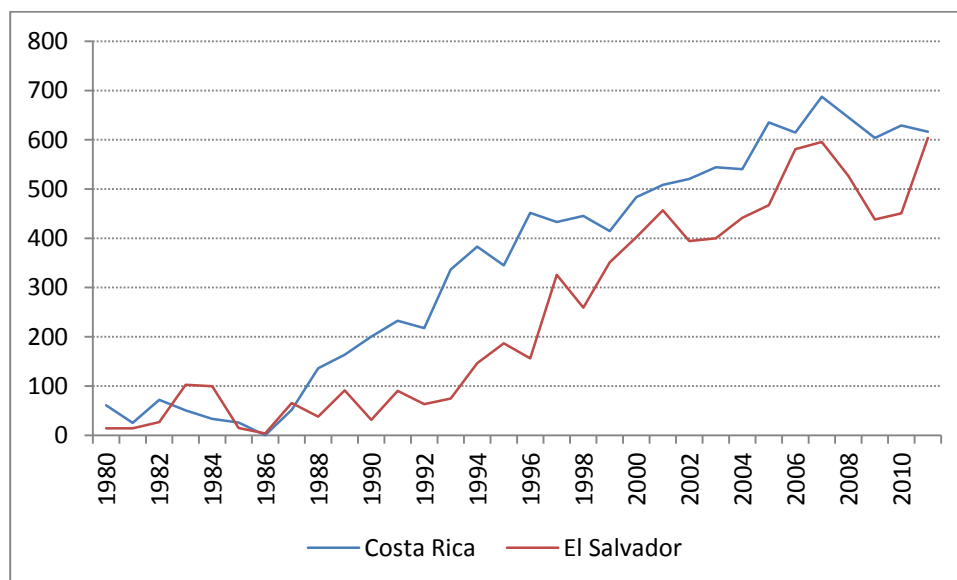


Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL

Gráfica 10.

Importaciones de Maíz, 1980-2011

(Miles de toneladas)



Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL

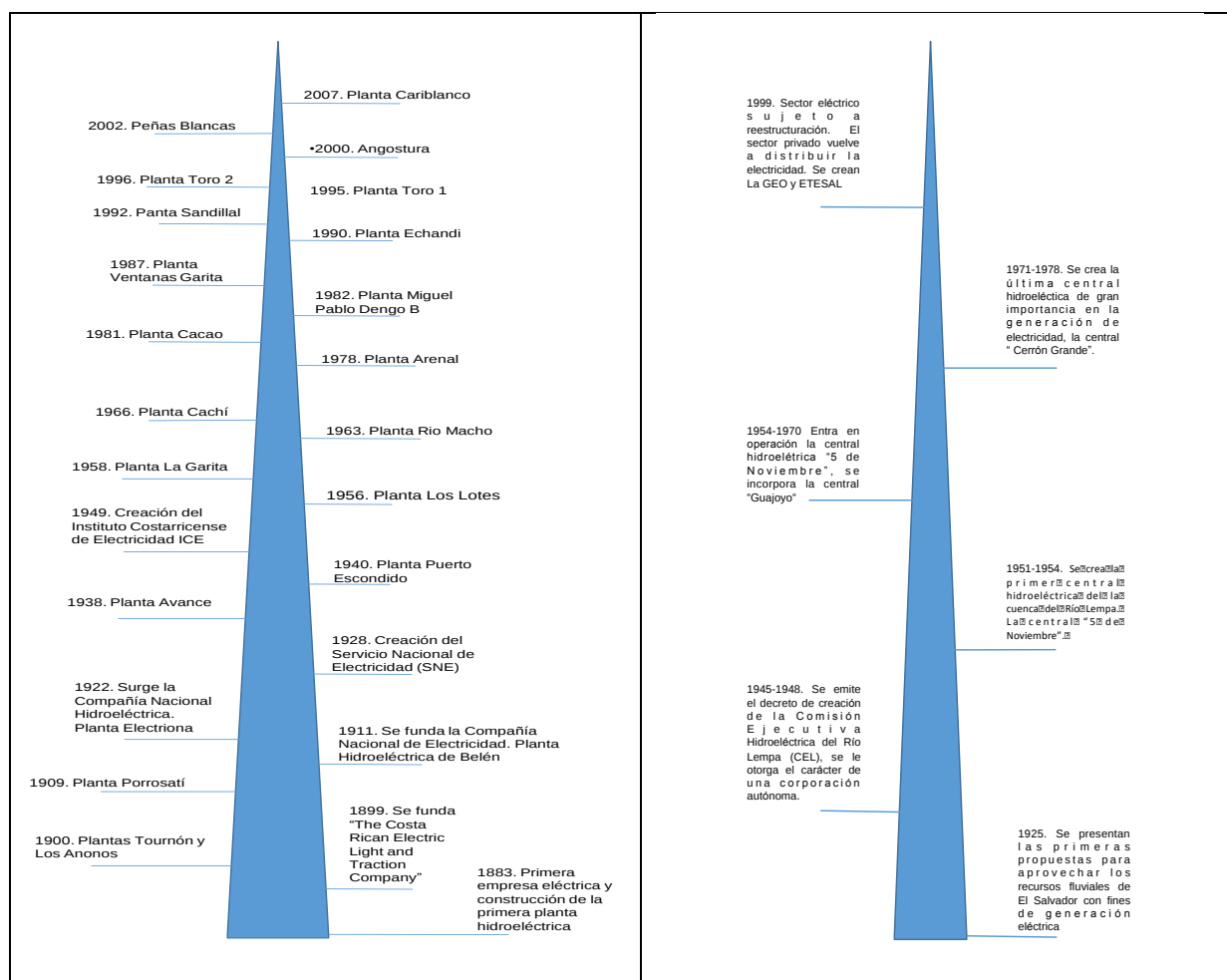
Generación Hidroeléctrica

La historia de la generación de energía hidroeléctrica en Costa Rica inicia desde 1883, año en que se construye la primera planta hidroeléctrica en la empresa "Luz eléctrica de Costa Rica". Las siguientes empresas en construir plantas hidroeléctricas surgen en el siglo XX, siendo de origen extranjero. Uno de los hechos históricos más importantes fue la creación del "*holding*" llamado "Instituto Costarricense de Electricidad" (ICE) en los años cuarenta, que para 2008 representaba el 75% de la producción de electricidad. En la Figura 6 se presenta la línea de tiempo de la evolución y construcción de las hidroeléctricas en Costa Rica. Actualmente hay 46 plantas hidroeléctricas en Costa Rica, siendo la mitad privadas y la mitad públicas de las cuales 18 pertenecen al ICE.

El Salvador cuenta con cuatro principales represas para la generación de electricidad que participan en el mercado mayorista del país, estas utilizan el cauce del Río Lempa, debido a que este es el más atractivo para la explotación de los recursos hidráulicos. La primer central hidroeléctrica fue construida en los años 1951 a 1954 y es conocida como "Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre". Estas cuatro centrales están administradas por la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), y en el periodo 1971-78 se crea la última central hidroeléctrica la central "Cerrón Grande" (Figura 8).

Figura 6.

Líneas de tiempo de las plantas hidroeléctricas de Costa Rica y El Salvador

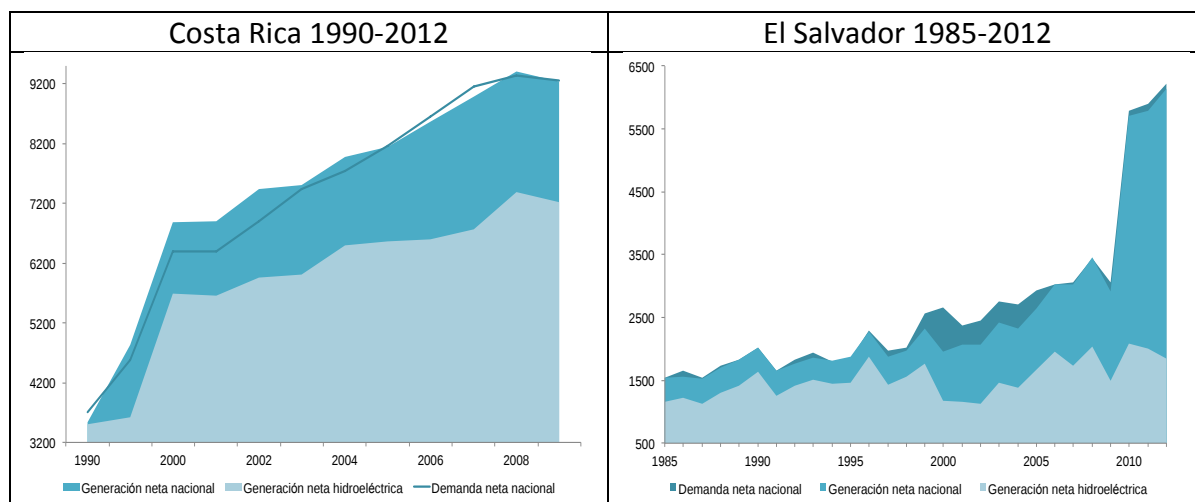


Fuente: Elaboración propia

La generación neta y la generación hidroeléctrica poseen tendencia creciente y fuerte correlación en ambos países, como se observa en la gráfica 11. En Costa Rica la relación es más marcada, la donde la segunda tiene el efecto de arrastre sobre la primera, al representar en el 2009, 78.22% de la generación neta, en este sentido, el país depende en su gran mayoría de los embalses y de sus recursos hídricos para satisfacer la demanda de energía. Por el contrario el caso de El Salvador, indica que a partir del 2009 la brecha entre la generación neta nacional y la generación neta hidroeléctrica se abrió de forma sustancial, indicando que se está realizando una sustitución de tecnología, hacia la producción geotérmica. En términos absolutos, la generación neta de Costa Rica es sustancialmente mayor que la producida por El Salvador, en el 2012 es casi 5 veces mayor.

Gráfica 11. El Salvador

**Demanda Neta Nacional, Generación Neta Nacional
y Generación Neta Hidroeléctrica 1985-2012 (GWh)**



Fuente: Elaboración propia con datos para El Salvador de SIGET: Boletín de estadísticas eléctricas No. 14(2012). Para Costa Rica con datos de CEPAL, (2010b)

Nota: "Generación neta nacional" incluye la producción por otros tipos de central además de las centrales hidroeléctricas. "Demanda neta nacional" se obtiene de la producción nacional más las transacciones internacionales.

La evolución durante el periodo 1990-2009 de la capacidad instalada de las plantas hidroeléctricas de ambos países se presenta en el cuadro 5. En Costa Rica es en el año 2000 dónde se incrementa de forma sustancial por la instauración de la hidroeléctrica Angostura pasando de 818.5 MW en 1995 a 1,225 MW en el 2000, y ha seguido creciendo hasta llegar a 1,510.2 MW en el 2009. En El Salvador el comportamiento es menos dinámico, con una tasa de crecimiento en el periodo del 25%, mientras que en Costa Rica fue del 102%, indicando la importancia que se le esta dando a esta forma de producción de electricidad en el país.

Cuadro 5.

Evolución de la capacidad instalada hidroeléctrica. 1990-2009. MW

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Costa Rica	747.3	818.5	1,225.5	1,225.5	1,271	1,295.6	1,303.6	1,303.6	1,411.5	1,500.4	1,524.3	1,510.2
El Salvador	388	388	406.2	407.4	422	442	442	460.9	472.6	483.7	485.7	485.7

Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL, (2010b)

En este apartado se presentó la importancia y características de los sectores agrícola y la hidroelectricidad en la economía de cada uno de los países. Se encontraron los siguientes puntos:

- A pesar del crecimiento económico de ambos países, el sector agropecuario presenta un comportamiento menos dinámico, la participación en el PIB total presenta una tendencia claramente descendiente y más acelerada en El Salvador. Lo que se confirma con la participación de la evolución de la población ocupada en el sector.
- La superficie agrícola presenta comportamientos heterogéneos por país. En Costa Rica tiene un comportamiento muy atípico, con un crecimiento importante hasta 1982 seguida de una disminución. En El Salvador la superficie agrícola aumentó ligeramente, impulsada por la superficie de tierras arables. Asimismo, se debe señalar que la proporción de superficie regada presenta una brecha importante, que en Costa Rica está disminuyendo, pero en El Salvador se ha mantenido constante. Sin embargo, la distribución geográfica de la superficie equipada con riego es desigual, concentrándose en algunos departamentos. Esto debido a que por ejemplo, hay departamentos en Costa Rica en donde llueve casi todo el año, y por consiguiente casi no se requiere de riego.
- En términos de aporte económico la agricultura provee un bajo valor agregado a la economía en su conjunto, y se observa una tendencia de disminución. El aporte del agua a la agricultura se da a través de la precipitación debido a que ambos países tienen un muy bajo porcentaje de tierras irrigadas. En este sentido la valoración económica del agua se enfocará a la precipitación.
- La producción de electricidad con plantas hidroeléctricas en ambos países es importante, en mayor medida en Costa Rica. El comportamiento histórico de la producción hidroeléctrica, muestra un comportamiento creciente en ambos países, pero con Costa Rica el crecimiento se aceleró en los años 90.
- La hidroelectricidad es una fuente de energía muy importante en Costa Rica, y su aporte económico a la economía en cuanto a valor de la producción presenta una tendencia creciente.

Valoración de los impactos económicos del Cambio Climático y sus efectos en el recurso hídrico, sobre la agricultura y energía

En este apartado se presentan las estimaciones de los modelos econométricos de funciones de producción del PIB agrícola y de los cultivos de maíz, frijol y arroz. Estos modelos incluyen las variables climáticas de temperatura y precipitación, con las cuales se estimaran: 1) la valoración económica del agua en cada uno de los modelos; y 2) la pérdida del valor económico del agua asociada al cambio climático. Es importante señalar, que se está considerando únicamente el aporte asociado a la precipitación, debido a que no se cuenta con información del agua de riego por departamento para poder modelar dichos impactos. Asimismo, no se consideraron los eventos extremos, como sequías e inundaciones que pudieran afectar la producción agrícola, debido a la dificultad de predecir la incidencia de los mismos. Para la estimación del valor del agua en la producción hidroeléctrica y debido a la falta de información específica a nivel de cuenca, se identificaron las plantas hidroeléctricas de acuerdo a su ubicación geográfica por departamento, y se

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

le asoció la precipitación del departamento, con ello se obtuvo una valoración poco detallada del agua. Para analizar los impactos del cambio climático se le asoció a la pérdida que se podría generar por la disminución en la precipitación.

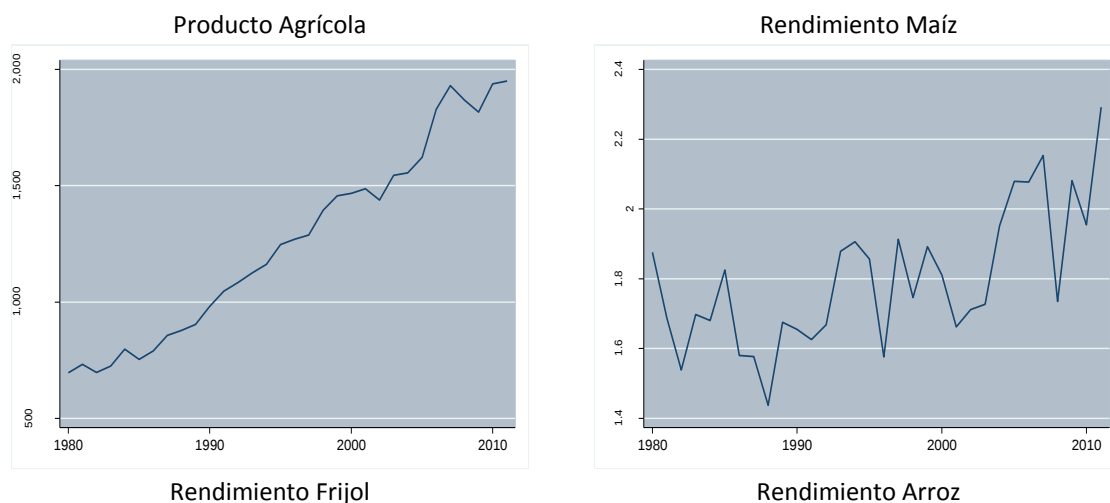
Existe una amplia gama de modelos y metodologías para la estimación de los impactos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua en la producción agrícola, sin embargo son muy demandantes en información, en este documento se optó por modelos de función de producción a nivel producción agrícola total y a nivel rendimientos por tipo de producto (maíz, frijol y arroz).

El presente apartado describe el impacto del cambio climático en la producción agrícola y en los rendimientos por hectárea de la producción de maíz, frijol y arroz, para los países de Costa Rica y El Salvador. En los últimos años ambas economías aumentaron su producción agrícola a tasas superiores al 3%. El aumento de la producción agrícola se debe principalmente a la incorporación de nueva tecnología en el sector que se ve reflejado en los rendimientos por hectárea, principalmente del maíz, frijol y arroz.

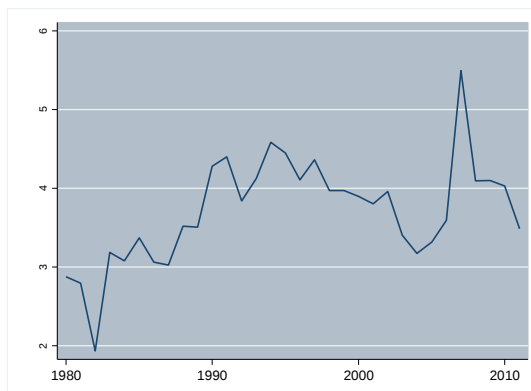
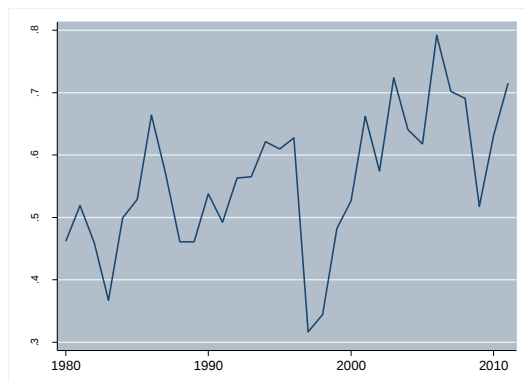
La grafica 12 muestra la evolución de las últimas tres décadas del PIB agrícola y de los productos mencionados para el caso de Costa Rica. El PIB agrícola ha mantenido un crecimiento constante promedio de 3.3% anual, mientras que el rendimiento de toneladas de maíz por hectárea alcanzo las 2.2 toneladas en 2011. El rendimiento en el caso del frijol alcanzo las 0.8 toneladas en 2008 y el arroz tiene un rendimiento de 4 toneladas por hectárea.

Gráfica 12. Costa Rica

PIB agrícola, rendimientos de Maíz, Frijol y Arroz. 1980-2011



Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

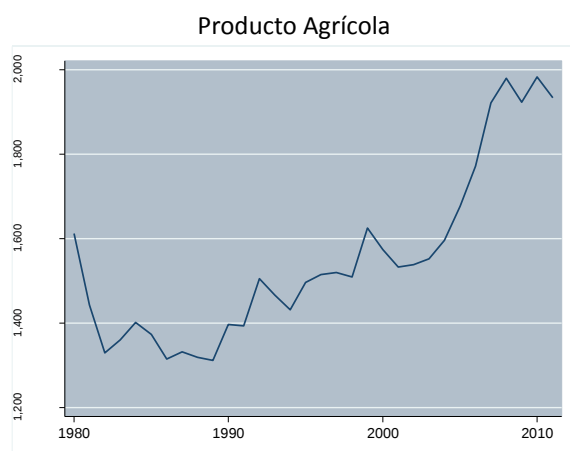


Fuente: Banco Mundial y CEPAL.

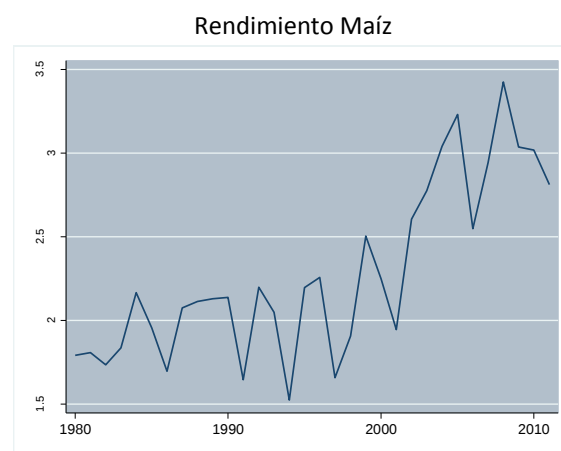
Por otra parte la gráfica 13 muestra el PIB agrícola, los rendimientos de maíz, frijol y arroz para El Salvador. El PIB agrícola ha tenido una tasa de crecimiento de 1% en las últimas tres décadas y de 3% en la última década. El rendimiento de maíz superó las 3 toneladas en la última década; el rendimiento de frijol es mayor a las 0.8 toneladas y el arroz es mayor a las 7 toneladas. En el caso de estos productos se observó una caída importante en 2011.

Gráfica 13. El Salvador

PIB agrícola, rendimientos de Maíz, Frijol y Arroz. 1980-2011

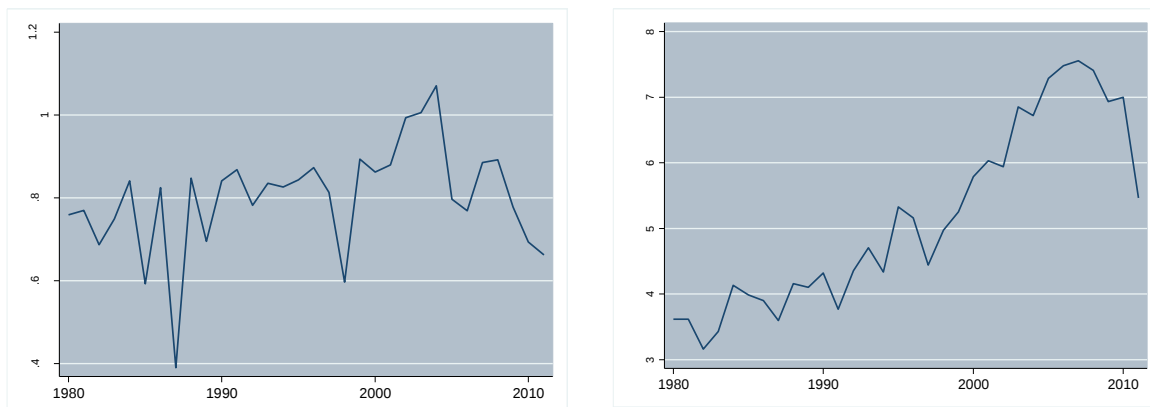


Rendimiento Frijol



Rendimiento Arroz

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.



Fuente: Banco Mundial y CEPAL.

La medición del impacto de una disminución en la precipitación en Costa Rica y El Salvador se llevó a cabo a través de dos metodologías. La primera de ellas es de series de tiempo y es nombrada modelos de corrección de errores¹⁰, y la segunda consiste en estimaciones de modelos de sección cruzada. Los modelos de corrección de errores requieren de información de series de tiempo, en este caso se cuenta con información del PIB agrícola de Costa Rica y El Salvador, además de información relacionada con el sector para el periodo de 1980 a 2011 que permitió realizar las estimaciones. Además de los modelos de series de tiempo, se realizaron estimaciones de un modelo con datos de sección cruzada, los cuales se realizaron con información de cada país por departamento homogeneizando la información para el año 2009.

La metodología de modelos corrección de errores requiere de la estimación de dos modelos, uno que permita captar una de relación de largo plazo, el cual se le denomina cointegración, y que posteriormente pueda ser incorporado en un segundo modelo considerado de corto plazo, o mecanismo de corrección de errores. En consecuencia, se estimaron ambas ecuaciones para Costa Rica y para El Salvador. El cuadro 6 muestra los resultados del modelo de largo plazo para Costa Rica en donde se puede observar que las variables dependientes son el PIB agrícola y los rendimientos por hectárea del maíz, del frijol y del arroz. Las variables independientes son la temperatura, la precipitación y otro conjunto de variables que funcionan como insumos productivos y que pueden explicar el comportamiento de estas series. Además con el fin de poder incorporar el efecto esperado de largo plazo de la precipitación y la temperatura, es decir el impacto del cambio climático, en la que se asume una función de daño de forma U invertida, se incorporó su valor elevado al cuadrado¹¹. En el caso del PIB agrícola su comportamiento y crecimiento está explicado por la temperatura y la precipitación registrada en el país, además del consumo de fertilizantes, la superficie regada, la superficie cosechada de arroz, el PIB nacional y el nivel de empleo del sector agrícola. Los resultados de los modelos de rendimiento por hectárea de maíz, frijol y arroz, indican

¹⁰ Los detalles de la metodología de los modelos de corrección de errores se presentan en el anexo.

¹¹ Bajo este supuesto el término en niveles deberá presentar un signo positivo, mientras que el término cuadrático un signo negativo.

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

que su comportamiento también se explica por la precipitación y la temperatura, además de diversas variables como la superficie de agrícola, regada y cosechada, dependiendo del cultivo.

Cuadro 6. Costa Rica

Modelos Largo Plazo

Variable Dependiente	PIB agrícola	Rendimiento de maíz	Rendimiento frijol	Rendimiento arroz
Temperatura	0.0971 (0.0737)	0.6924*** (0.1631)	1.868** (0.7873)	1.02160 (0.9103)
Temperatura ²	-0.0016 (0.0014)	-0.0151*** (0.0038)	-0.0364** (0.0157)	-0.0181 (0.0181)
Precipitación	0.005*** (.0017)	0.0141 (0.0132)	0.0386** (0.0161)	1.4165 (1.3268)
Precipitación ²	-0.00001*** (0.000003)	-0.00002 (0.00002)	-0.00007** (0.00003)	-0.0108 (0.0105)
Consumo fertilizantes _t	0.0837*** (0.0245)			
Intensidad fertilizantes _t				0.1901* (0.1085)
Superficie agrícola _t			2.5918** (0.9437)	
Superficie regada _t	0.1325** (0.0609)			
Superficie cosechada de arroz _t	0.092*** (0.0192)	0.2365 (0.1545)		
Superficie cosechada de maíz _t			-0.4063** (0.1599)	
Producción arroz				0.1727 (0.1529)
PIB _t	0.7939*** (0.0394)	0.2967 (0.0712)	0.4113* (0.2193)	-0.07138 (0.1171)
Empleo agrícola _t	0.1573*** (0.0476)			
Año 1982				-0.4589*** (0.1404)
Año 2001	0.0635*** (0.0202)			
Año 2005	-0.064*** (0.020)			
Año 2007				0.3258** (0.1332)

Nota: Error Estándar entre paréntesis. ***Significativo al 99% **Significativo al 95% *Significativo al 90%

Los resultados del modelo de largo plazo de El Salvador se muestran en el cuadro 7. En este caso el PIB agrícola depende de la temperatura y la precipitación, además de la intensidad en el uso de fertilizantes, la superficie de riego, superficie cosechada y el PIB de la economía total. Por su parte el rendimiento de la producción de maíz, frijol y arroz se puede modelar en función de la precipitación, la temperatura, la intensidad de fertilizantes, superficie agrícola y el PIB de la economía total.

Cuadro 7. El Salvador

Modelos Largo Plazo

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

Variable	PIB agrícola	Rendimiento de maíz	Rendimiento frijol	Rendimiento arroz
Temperatura	0.8900*** (0.0897)	1.5450*** (0.3434)	1.3023*** (0.4451)	0.5983 (0.5155)
Temperatura ²	-0.0176*** (0.0017)	-0.0284*** (0.0066)	-0.0285*** (0.0087)	-0.0094*** (0.0014)
Precipitación	0.050*** (0.003)	0.0270*** (0.010)	0.0138*** (0.001)	0.076*** (0.0008)
Precipitación ²	-0.00001* (0.00001)	-0.0001* (0.0001)	-0.0253 (0.6851)	-0.0003* (0.000002)
Consumo fertilizantes t	-0.8118*** (0.1919)			
Intensidad de fertilizantes t	0.8186*** (0.1792)		-0.2057*** (0.0490)	
Superficie agrícola t			-1.6582*** (0.4615)	0.7238 (0.6163)
Superficie de riego t	-1.2303*** (0.0978)		-1.0938*** (0.2698)	
Superficie cosechada t	0.3901 (0.0656)			
Producción neta de maíz t	0.3382*** (0.0374)	2.3011*** (0.3493)		
Producción neta de frijol t			0.7664*** (0.0542)	
Producto interno bruto t	0.6976*** (.04245)	0.3129 (0.2479)	0.2677** (0.1045)	0.2158 (0.2079)
Año 2006				0.1774*** (0.0762)
Año 2007			0.1299** (0.0567)	
Año 2009			-0.1818*** (0.0532)	
Año 2011	0.0576** (0.0231)			-0.3094** (0.0767)

Nota: Error Estándar entre paréntesis. ***Significativo al 99% **Significativo al 95% *Significativo al 90%

Los modelos de corto de plazo en el caso de Costa Rica se presentan en el cuadro 8. En él se puede observar que la estimación se realizó con las mismas variables que en el modelo de largo plazo, solo que la estimación realizó en tasas de crecimiento y se incorpora al modelo error obtenido del modelo de largo plazo (ECM), el cual tiene presenta un signo negativo y significativo como la teoría lo indica.

Cuadro 8 .Costa Rica

Modelos de Corto Plazo

Variable	PIB agrícola	Rendimiento de maíz	Rendimiento Frijol	Rendimiento arroz
Temperatura	0.8852* (0.3568)	0.1290** (0.0611)	1.9347 (1.2892)	0.1158 (0.0776)
Temperatura ²	-0.0175 (0.0109)	-0.0034** (0.0016)	-0.0402 (0.0256)	-0.0021 (0.0018)
Precipitación	0.0033*** (0.0017)	0.0078** (0.0001)	0.0201* (0.0102)	0.0126* (0.0074)

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

Variable	PIB agrícola	Rendimiento de maíz	Rendimiento Frijol	Rendimiento arroz
Precipitación ²	-0.000007*** (0.000003)	-0.00001 (0.00001)	-0.0022 (1.7949)	-0.00002* (0.00001)
Rendimiento de maíz _{t-1}		-0.4400** (0.1791)		
Δ Consumo de fertilizante	-0.0597** (0.0218)			
Δ intensidad del uso del fertilizante				-0.0948 (0.0776)
Δ Superficie regada	0.5404 (0.1197)			
Δ Superficie cosechada de arroz	-0.1080*** (0.0268)	0.2571*** (0.0847)		
Δ Superficie cosechada de maíz			-0.2339* (0.1317)	
Δ Superficie agrícola			3.0270 (1.8605)	
Δ producción neta de arroz _{t-4}				-0.2274** (0.0807)
Δ Producto Interno Bruto	0.8216*** (0.1762)	0.8874* (0.4523)	2.3137** (0.9755)	0.7288 (0.7634)
Δ Empleo agrícola	-0.8234 (0.2925)			
ECM _{t-1}	-0.8234** (0.2925)	-0.2589* (0.1253)	-0.5647*** (0.1645)	-0.2121 (0.1761)
Año 2002	-0.0960 (0.0184)			
Año 2006	0.0541** (0.0201)			
Año 2007				0.3210*** (0.0912)
Año 2008		-0.1722** (0.0674)		-0.3096*** (0.0812)
Constante	-11.5806 (7.0497)			

Nota: Error Estándar entre paréntesis. ***Significativo al 99% **Significativo al 95% *Significativo al 90%.

Los modelos de corto plazo para el caso de El Salvador se muestran en el cuadro 9. Al igual que en el caso de los modelos de Costa Rica, se incluyen las mismas variables que los modelos de largo plazo, solo que las estimaciones se realizan en tasas de crecimiento. Se incorpora el error obtenido de los modelos de largo plazo (ECM), el cual tiene un signo negativo y estadísticamente significativo.

Cuadro 9. El Salvador

Modelos de Corto Plazo.

Variable	PIB agrícola	Rendimiento de maíz	Rendimiento frijol	Rendimiento arroz
Temperatura	0.0327** (0.0140)	0.1465* (0.0809)	0.7615*** (0.5225)	0.0516** (0.0237)
Temperatura ²	-0.0005 (0.0003)	-0.0038* (0.0019)	-0.0341*** (0.0101)	-0.0031*** (0.0008)
Precipitación	0.0066** (0.0025)	0.0172 (0.0141)	0.0406*** (0.0112)	0.0010 (0.0008)

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

Variable	PIB agrícola	Rendimiento de maíz	Rendimiento frijol	Rendimiento arroz
Precipitación ²	-0.00002** (0.000008)	-0.00005 (0.00004)	-0.0875*** (0.8398)	-0.0784 (0.0516)
Δ Consumo de fertilizantes _{t-1}	-0.8167*** (0.1444)			
Δ Intensidad en el uso de fertilizantes	0.7692*** (0.1432)		-0.1475*** (0.0473)	
Δ Superficie agrícola			-0.8923 (0.5324)	
Δ Superficie regada	-0.2820* (0.1462)			
Δ Superficie regada _{t-1}	-1.5246*** (0.1789)		-1.3021* (.6330)	
Δ Superficie cosechada	0.2103*** (0.0540)			
Δ Producción neta de maíz	0.0976*** (0.0254)	1.0320*** (0.0831)		
Δ Producción neta de frijol			0.8661*** (0.0411)	
Δ Producto Interno Bruto	1.0098 (0.1050)	0.0455 (0.4098)		0.5242 (0.4901)
ECM _{t-1}	-0.5168*** (0.1662)	-0.1765** (0.0801)	-0.9336*** (0.2988)	-0.6121** (0.2348)
Año 1999			0.1822*** (0.0627)	
Año 2003	-0.0629*** (0.0143)			
Año 2008			-0.1948*** (0.0614)	
Año 2011				-0.3316*** (0.0726)

Nota: Error Estándar entre paréntesis. ***Significativo al 99% **Significativo al 95% *Significativo al 90%

Por otra parte, las estimaciones de sección cruzada realizadas con información por departamento de cada país para el año 2009 y se presentan en el cuadro 10. En este caso las variables dependiente es el valor de producción agrícola, la cual esta en función de variables climáticas como la precipitación, y la temperatura, así como de variables que inciden en la producción como el índice de biodiversidad y de la superficie equipada para riego.

Cuadro 10.

Estimación Modelos Sección Cruzada

	Costa Rica	El Salvador
Variable	Valor de la Producción agrícola	Valor de la Producción agrícola
Temperatura	1.8621** (1.1309)	3.2486*** (1.045)
Precipitación	0.6962** (0.1150)	0.3279* (0.2029)
Temperatura ²	-0.176** (0.0326)	-0.0542* (0.0267)
Precipitación ²	-0.0014** (0.0002)	-0.0025** (0.002)
Índice de Biodiversidad	-2.0465** (0.3818)	0.9214 (1.0179)
Área de Riego		0.1447 (0.1212)
Constante		6.5631* (3.9731)

Nota: Error Estándar entre paréntesis. ***Significativo al 99% **Significativo al 95% *Significativo al 90%

Valoración económica del agua

El valor económico del nivel de precipitación, es decir del agua, en Costa Rica y El Salvador se puede aproximar a partir de los modelos de función de producción, cómo se especificó en el apartado de metodología. Se emplearon los modelos de corto plazo estimados y se realizaron supuestos sobre los posibles cambios en la precipitación, dejando todas las demás variables constantes, lo cual permite aislar la aportación de la precipitación al valor de la producción agrícola y a los diversos cultivos. En 2010 el nivel de precipitación anual en Costa Rica fue de 2,679 mm, con este nivel de precipitación se calcula una contribución en el PIB agrícola de 5.96%, que equivale a más de 115.66 millones de dólares. El cuadro 11 muestra este resultado junto con dos supuestos que indican cambios marginales en la precipitación, uno en el que el nivel de precipitación aumenta en 100 mm y otro en el que disminuye 100 mm. Si aumentará la precipitación a 2,579 mm se obtiene un valor de 6.29% del PIB agrícola que equivale a 122.04 millones de dólares. Pero si el nivel de precipitación disminuye a 2,799 mm, la contribución en el PIB agrícola es de 5.63%, que equivale a 13.61 millones de dólares.

Cuadro 11. Costa Rica

Valoración del aporte de la precipitación al PIB agrícola

Precipitación	Valor en % de PIB Agrícola	Valor nominal de PIB Agrícola (miles de dólares de 2005)
2,679	5.967	115,660,973.63
2,579	5.638	109,277,917.69
2,799	6.296	122,044,029.57

Fuente: elaboración propia

En el caso del El Salvador, el nivel de precipitación observado en 2010 es de 1,597 mm, que genera un aporte de la precipitación al PIB agrícola de 8.29% que equivale a 160.70 millones de dólares. El Cuadro 12 presenta resultados cuando hay un aumento de 100 mm y cuando hay una disminución de la misma magnitud. Si disminuye en 100 mm el nivel de precipitación el valor en el PIB agrícola es de 8.29%, por lo que el aumento sería de 160.70 millones de dólares. Pero si el aumento fuera de 100 mm la contribución de la precipitación equivale a 8.94% en el PIB agrícola.

Cuadro 12. El Salvador

Valoración del aporte de la precipitación al PIB agrícola

Precipitación	Valor en % de PIB Agrícola	Valor nominal de PIB Agrícola (miles de dólares de 2005)
1,597	8.291	160,706,468.84
1,497	7.633	147,951,987.18
1,697	8.949	173,460,950.49

Fuente: elaboración propia

Por otra parte, el cuadro 13 muestra una estimación similar para los rendimientos de Maíz, Frijol y Arroz para Costa Rica y El Salvador. En el cual, se presenta valor nominal por tonelada, lo cual indica el aporte marginal del agua en el valor de la producción. Para la estimación se considera la precipitación de 5 meses del año, que son los más importante en la producción de cada uno de estos alimentos.

Para Costa Rica se obtiene que el nivel de precipitación tiene un aporte promedio de 5.81% en el valor por tonelada de Maíz, que equivale a 14.22 dólares y que puede ser de 12.33 dólares si el nivel de precipitación disminuye en 100 mm o de 16.10 dólares si aumenta en la misma proporción. En el caso del Frijol se encuentra una mayor contribución del nivel de precipitación, ya que puede ser de 3.99% del valor por tonelada si el nivel de precipitación promedio de cinco meses es de 755 mm que equivale a 106.33 dólares, este valor puede disminuir a 92.25 dólares si el nivel de precipitación baja en 100 mm, y si aumenta en la misma cantidad puede ser de 120.41 dólares. En precio del arroz se encuentra, que con un nivel de precipitación de 755 mm el aporte en el precio por tonelada es de

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

106.33 dólares, y puede bajar a 92.25 dólares si disminuye el nivel de precipitación en 100 mm y si aumenta en esta proporción del valor de la precipitación sobre el precio por tonelada es de 120.41 dólares.

En El Salvador en 2010 se observó un nivel de precipitación promedio de cinco meses de 525 mm, con este nivel de precipitación el aporte a valor por tonelada de Maíz es de 19.20 dólares, y si este nivel disminuye en 100 mm el aporte en el valor es de 15.54 dólares, pero si aumenta puede llegar a ser de 22.85 dólares por tonelada. En el caso del Frijol se observa que se tiene un mayor efecto sobre el valor por tonelada, ya que con el nivel de 525 mm se tiene un aporte de 87.89 dólares por tonelada, y puede contribuir en 71.15 dólares si disminuye en 100 mm o 104.63 dólares si aumenta en la 100mm. En el caso del valor por tonelada de Arroz, se observa una contribución de 36.31 dólares si el nivel de precipitación es de 252 mm, y si baja en 100 mm es 29.39 dólares, pero si se observa un aumento en la misma proporción el valor del nivel de precipitación puede ser de 43.23 dólares.

Cuadro 13.

Variación en el valor nominal por tonelada del maíz, arroz y frijol por el cambio en precipitación

COSTA RICA		
Maíz		
Precipitación	Valor en % por Tonelada	Valor nominal por Tonelada (dólares)
755	5.813	14.22
655	5.043	12.33
855	6.583	16.10
Frijol		
Precipitación	Valor en % por Tonelada	Valor nominal por Tonelada (dólares)
755	4.983	106.33
655	4.323	92.25
855	5.643	120.41
Arroz		
Precipitación	Valor en % por Tonelada	Valor nominal por Tonelada (dólares)
755	7.928	36.17
655	6.878	31.38
855	8.978	40.96
El Salvador		
Maíz		
Precipitación	Valor en % por Tonelada	Valor nominal por Tonelada (dólares)
525	7.849	19.20
425	6.354	15.54
625	9.344	22.85
Frijol		
Precipitación	Valor en % por Tonelada	Valor nominal por Tonelada (dólares)
525	6.220	87.89
425	5.035	71.15
625	7.404	104.63

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

Arroz		
Precipitación	Valor en % por Tonelada	Valor nominal por Tonelada (dólares)
525	7.959	36.31
425	6.443	29.39
625	9.475	43.23

Nota: los precios por tonelada se obtuvieron de FAOSTAT y están en dólares por tonelada. Para Costa Rica: maíz 244.57,

frijol 2,133.88, y arroz 456.22; para El Salvador: maíz , frijol 1,413.04, y arroz 456.22.

Fuente: elaboración propia

Costos del Cambio Climático en la agricultura

A partir de los modelos generados por la metodología de modelos de corrección de errores, se estima el aporte al valor del PIB agrícola de la precipitación para el periodo 2012 a 2100, por lo que se utilizan tres escenarios comparativos que permiten medir el costo económico de una disminución en el nivel de precipitación en Costa Rica y el Salvador. En cada escenario se plantea un supuesto distinto de nivel de precipitación y el resto de las variables se mantienen constantes con la finalidad de aislar la contribución de la precipitación. El escenario Base es aquel que no considera un cambio en la precipitación asociado al cambio climático y se usa como referencia a los escenarios climáticos, la diferencia entre el escenario base y el de cambio climático nos dará la aproximación de pérdidas económicas. Con el fin de tener una mejor aproximación del PIB agrícola y de los rendimientos para cada variable dependiente se mantuvo la tasa de crecimiento de cada una de ellas de los últimos 5 años durante todo el periodo de pronóstico. En el caso de la temperatura se utilizó el escenario de cambio climático estimado por CEPAL, CCAD/SICA, DFID y DANIDA (2011) el cual tiene dos escenarios (A2 y B2) y para poder utilizar solo un escenario se obtuvo el promedio entre ambos escenarios.

Los supuestos utilizados para la precipitación se obtuvieron de la misma fuente, pero en este caso se utilizaron ambos escenarios por separado. El tercer escenario de pronóstico es un escenario base que tiene el supuesto de que no hay efecto del cambio climático sobre el nivel de precipitación, por lo que se deja el valor promedio de precipitación de los últimos 5 años. El escenario B2 simula un efecto moderado del cambio climático en la precipitación, mientras que el escenario A2 mide un efecto más elevado del cambio climático (Cuadro 14).

Cuadro 14.

Precipitación promedio en cada uno de los escenarios a final del siglo

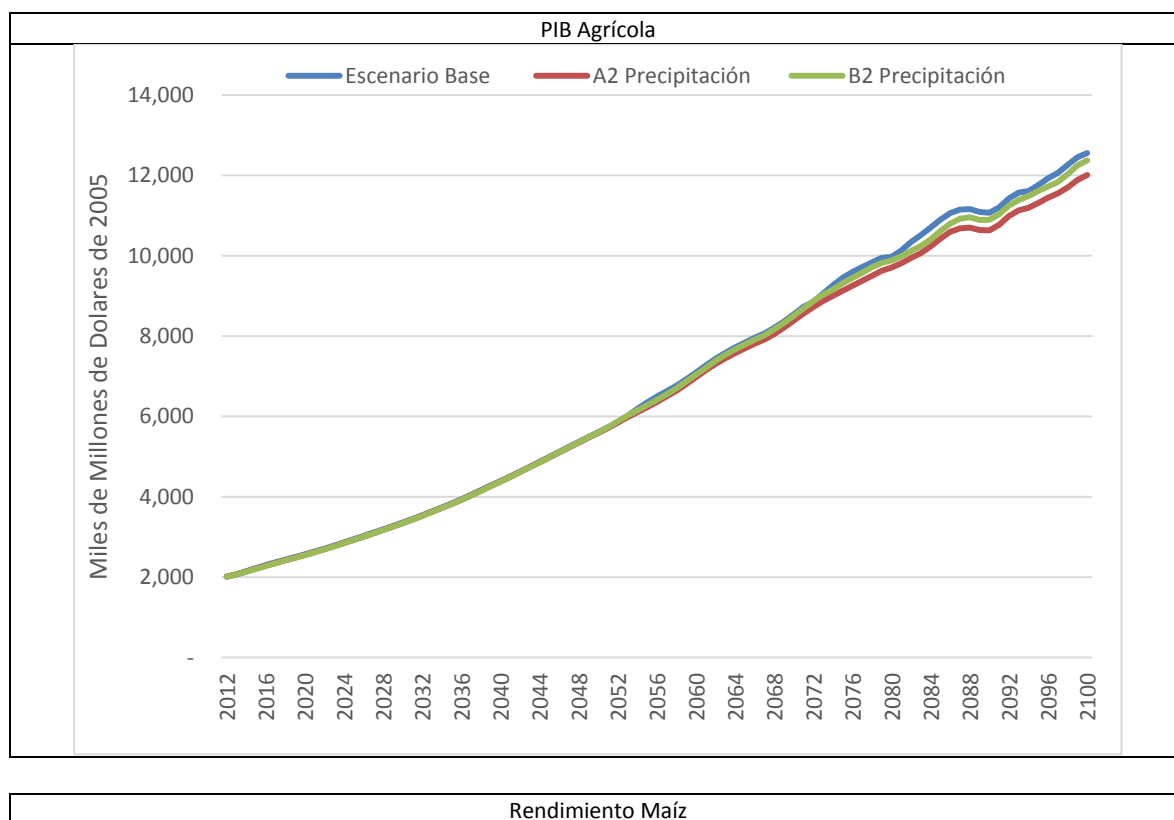
Escenario	Costa Rica	El Salvador
Base	2,880	1,661
A2	2,597	1,443
B2	2,821	1,578

Los supuestos se mantuvieron tanto para los modelos de sección cruzada como para los modelos de corrección de errores. La gráfica 14 muestra el resultado para los tres escenarios del PIB agrícola y los rendimientos de maíz, frijol y arroz. En las cuatro gráficas es posible notar que el escenario A2 genera mayores costos para la economía de Costa Rica y que afecta más en los rendimientos de cada

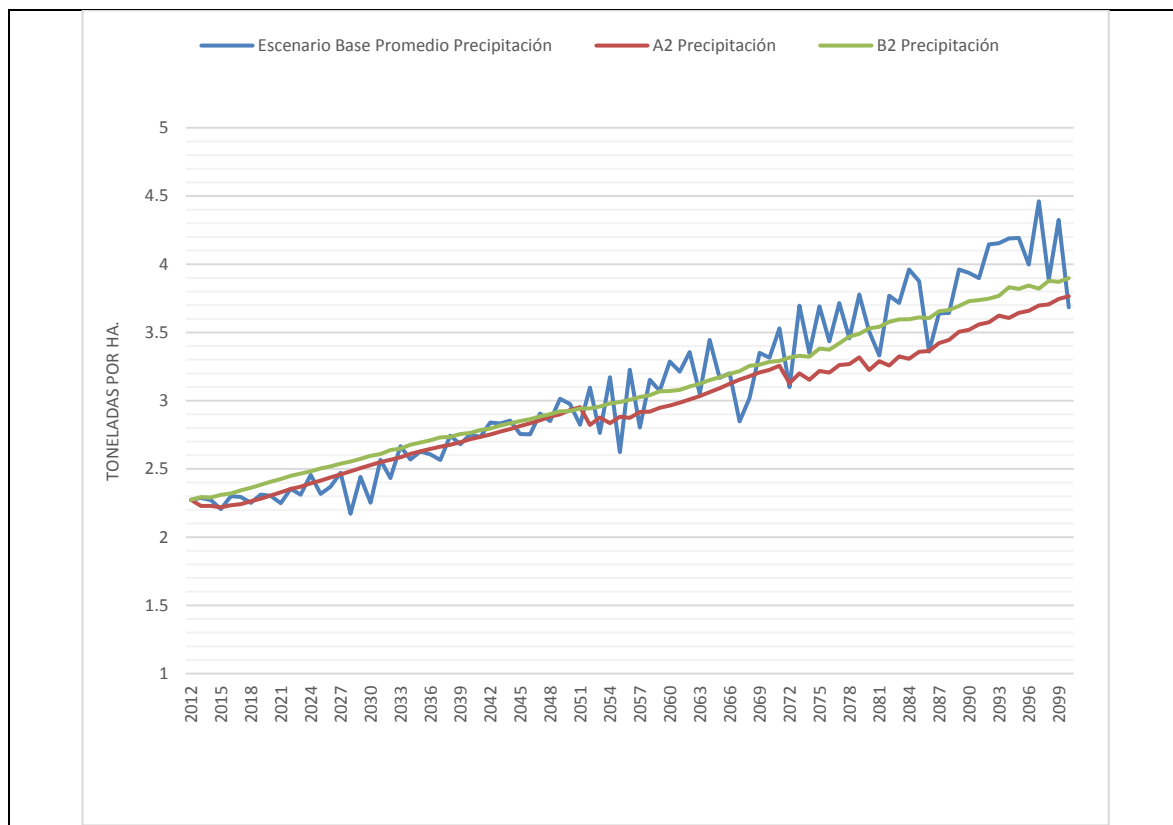
cultivo. Aunque si es posible notar que los impactos por una disminución en los niveles de precipitación son mayores en el cultivo de arroz y frijol. Los costos económicos estimados son únicamente los asociados a pérdidas en la precipitación es decir, a la disponibilidad de agua, los cuales indican la valoración del recurso en la producción agrícola.

Gráfica 14. Costa Rica

Pronostico del PIB Agrícola y de los Rendimientos de maíz, frijol y arroz.

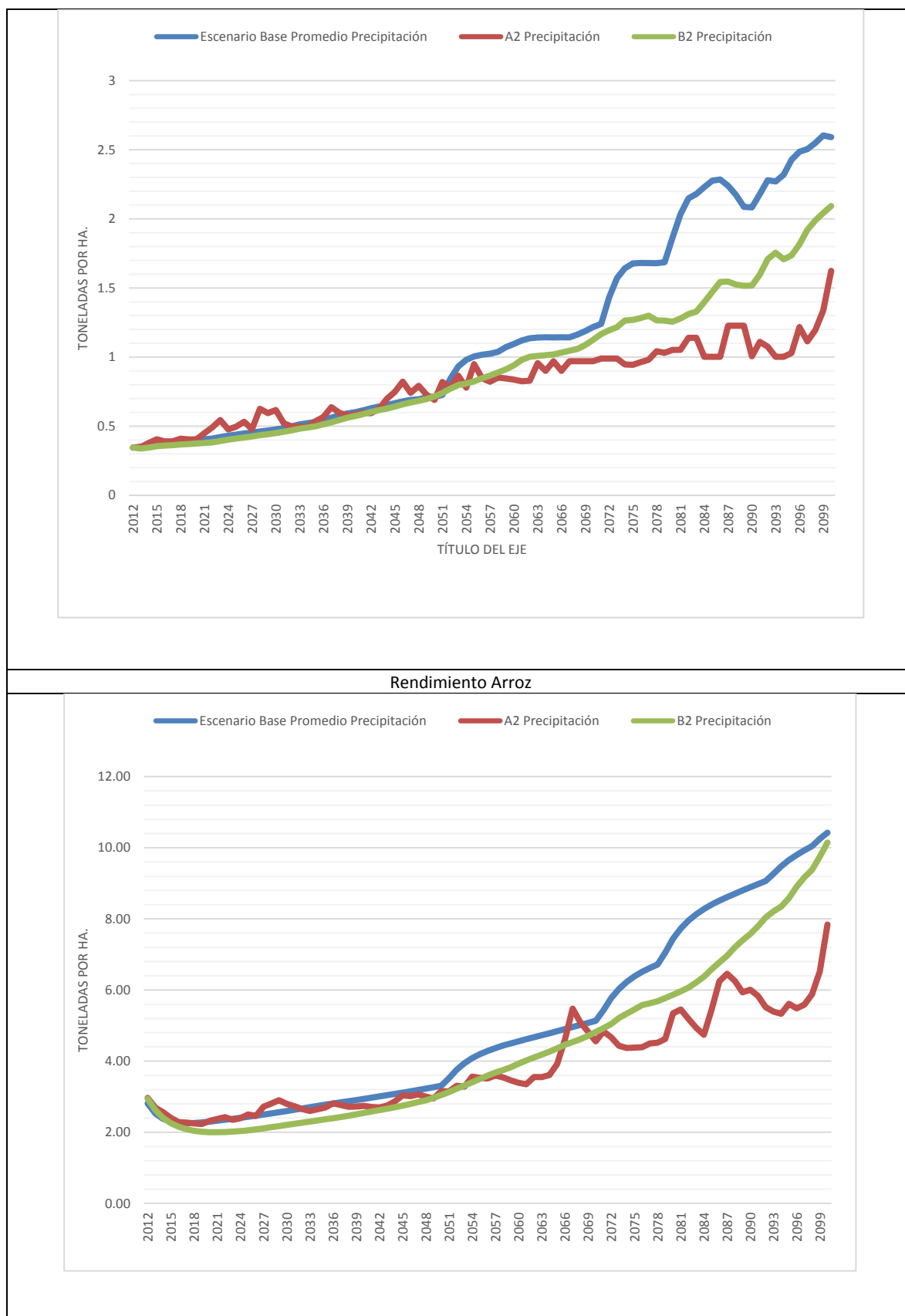


Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.



Rendimiento Frijol

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.



En la gráfica 15 muestra los resultados obtenidos para El Salvador, los impactos simulados en el escenario A2 son los que mayor impacto tienen para el PIB agrícola y para cada uno de los rendimientos de los productos agrícolas. En este caso el mayor impacto identificado que se puede generar es en el rendimiento de la producción de frijol y en los rendimientos de maíz.

Con la finalidad de estimar los costos económicos de los impactos identificados se calcula la diferencia entre los escenarios A2 y B2 respecto al escenario Base. A partir de la diferencia se obtiene su valor presente y se suma el resultado para el periodo de estudio. Para obtener el valor presente se utilizaron tres tasas de descuento (0.005, 0.02 y 0.04).

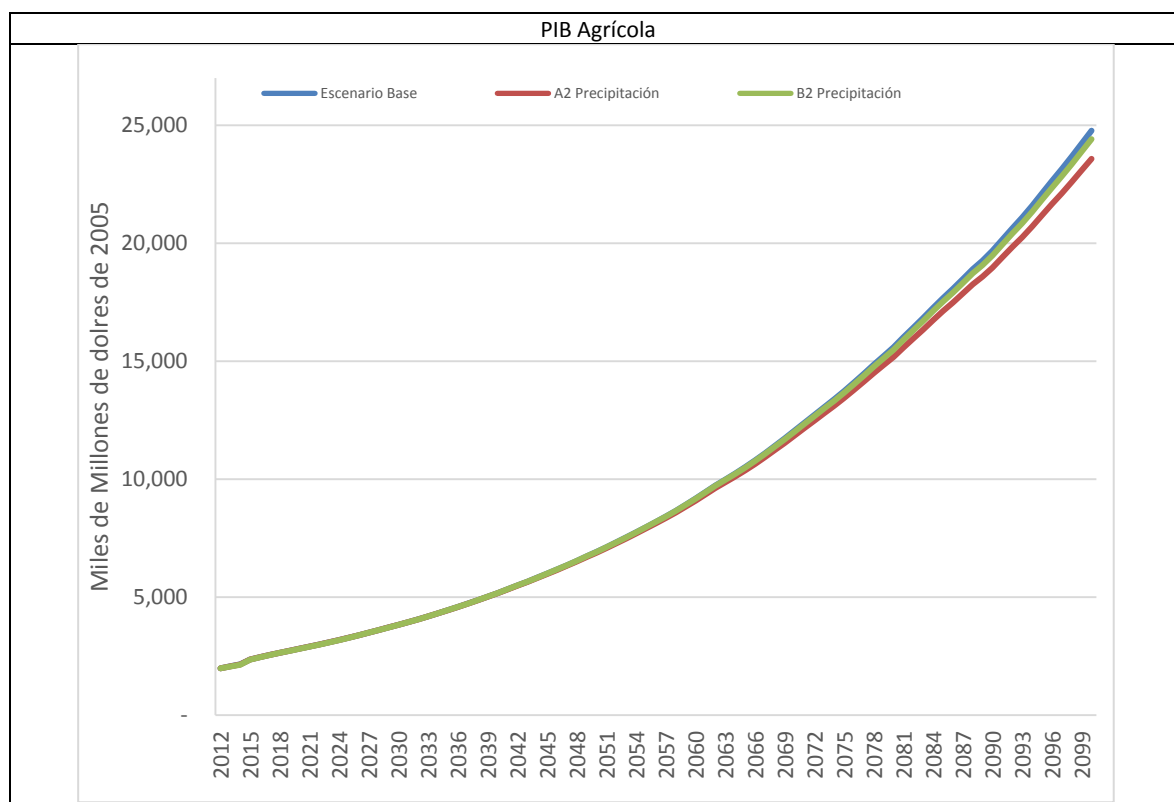
El cuadro 15 muestra los resultados obtenidos para Costa Rica, en el cual se puede observar que los impactos pueden aumentar con el paso del tiempo y que varían dependiendo la tasa de descuento, y están directamente relacionados con el comportamiento de las variables climáticas. Por lo anterior, los costos económicos son menores en los primeros años y se incrementarán en mayor medida para finales de siglo. Para 2100 los costos en la producción agrícola pueden estar entre 0.62% y 5.32 % del PIB agrícola bajo el escenario A2 y pueden estar entre 0.35% y 2.39%, si sucede el escenario B2.

En el caso de El Salvador, se tienen una situación similar. Los costos aumentan con el paso del tiempo y se tiene una variación dependiendo la tasa de descuento utilizada. En 2100 bajo el escenario A2 los costos pueden representar entre 0.68% y 7.41% del PIB agrícola, y en el escenario B2 pueden estar entre 0.19% y 1.97% del PIB agrícola. Es importante notar que ambos países los mayores costos se elevan en el periodo de 2070 a 2100.

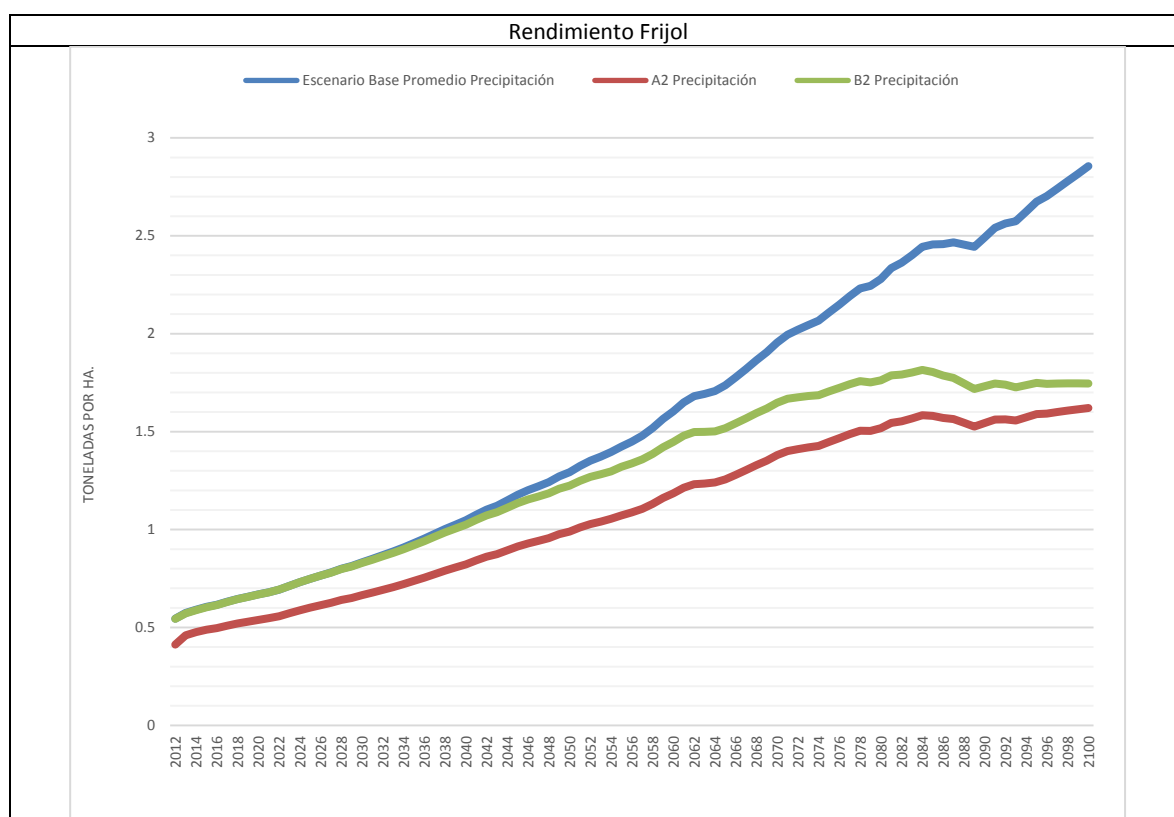
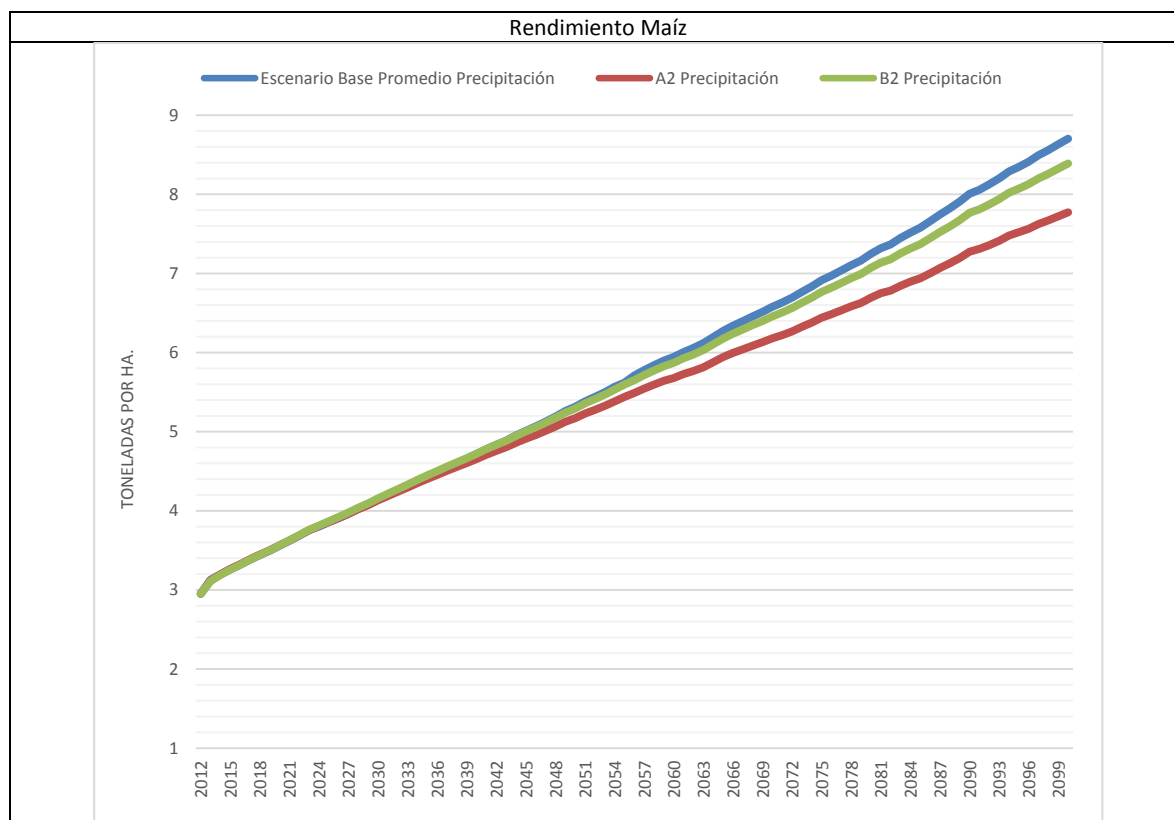
Los cuadros 16, 17 y 18 muestran los costos promedio por hectárea sembrada de maíz, frijol y arroz, como resultado de una disminución de la precipitación. En el caso de los rendimientos de maíz para Costa Rica la disminución del valor de la producción por tonelada podrá llegar a 2.5% en 2020 y 13.5% al 2100 en el caso del escenario B2; para el escenarios A2 los costos pueden ser de una magnitud de 5.5% en 2020 a 22.5% en 2100. Los costos de El Salvador podrían llegar a 0.2% en 2020 y a 18.5% en 2100 bajo el escenario B2, mientras que bajo el escenario A2 los valores podrían ser de 0.35% en 2020 y de 29.6% en 2100. Al igual que en el PIB agrícola los costos aumentan en las últimas tres décadas del siglo, como resultado de la mayor variabilidad climática.

Gráfica 15. El Salvador

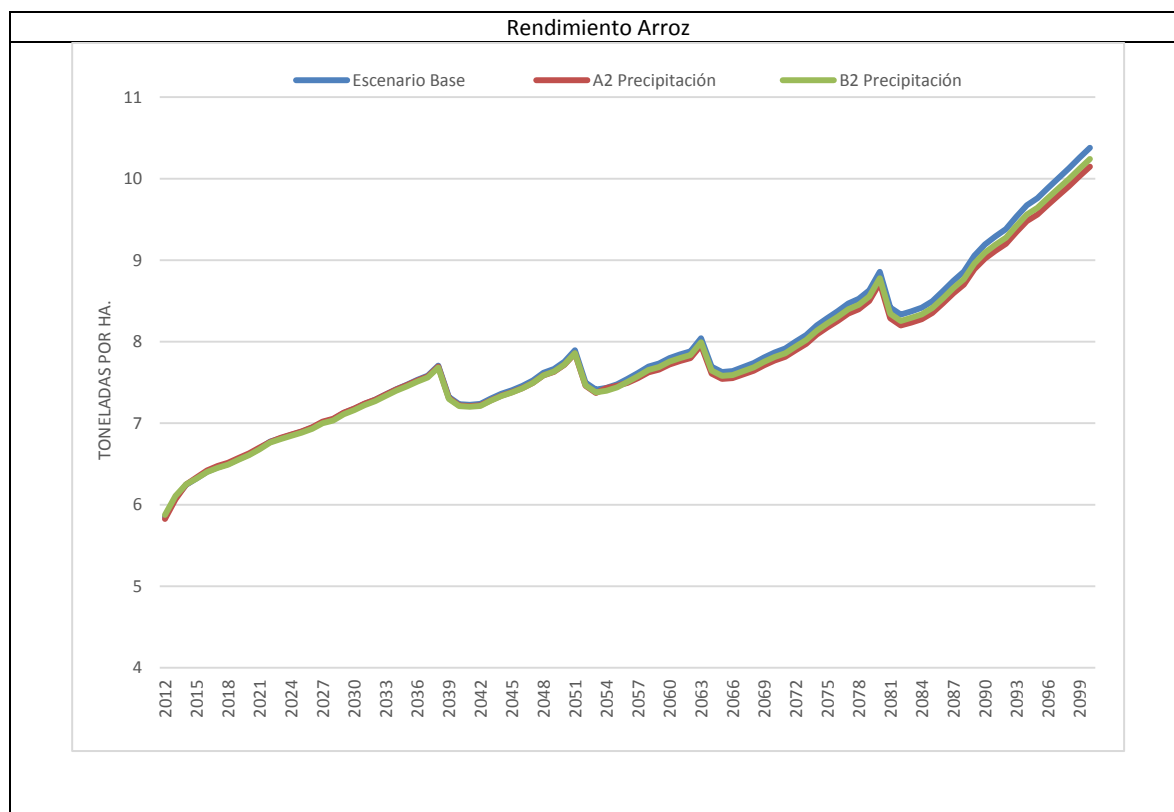
Pronostico del PIB Agrícola y de los Rendimientos de maíz, frijol y arroz.



Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.



Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.



Cuadro 15.

Costos estimados escenario A2 y B2 como porcentaje del PIB Agrícola 2011

Costa Rica			
A2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	0.05	0.04	0.04
2030	0.13	0.11	0.09
2050	0.26	0.19	0.14
2070	1.18	0.62	0.30
2100	5.35	1.98	0.62
B2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	0.07	0.07	0.06
2030	0.15	0.13	0.11
2050	0.28	0.21	0.16
2070	0.62	0.38	0.22
2100	2.39	0.95	0.35
El Salvador			
A2			
Tasa de Descuento	0.01	0.02	0.04
2020	0.01	0.01	0.01
2030	0.02	0.01	0.01
2050	0.13	0.09	0.05

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

2070	0.98	0.49	0.20
2100	7.41	2.55	0.68
B2			
Tasa de Descuento	0.01	0.02	0.04
2020	0.04	0.03	0.03
2030	0.05	0.05	0.04
2050	0.06	0.05	0.04
2070	0.19	0.11	0.07
2100	1.97	0.68	0.19

Los resultados en el caso de los rendimientos por hectárea de la producción de frijol muestran que en caso de suceder el escenario B2 en Costa Rica, los valores de los costos pueden representar 2% por tonelada en 2020 y alcanzaría el 22% por tonelada en 2100; en el escenario A2 los costos son más bajos en 2020, inferiores al 1% por hectárea, pero los costos para 2100 los valores se elevan a cerca del 30%. En este caso es importante notar que aumento en los costos son más elevados en el periodo de 2070 a 2100, de lo que incrementan en el caso del maíz. Para El Salvador los costos son aún mayores, para el escenario B2 la disminución en el valor por tonelada para 2020 podría ser de 0.14% y se elevarían para 2100 a 27%; bajo el escenario A2 los resultados muestran que los costos en 2020 alcanzarían 12% y en el 2100 podrían superar el 47% del valor por tonelada de frijol.

Cuadro 16.

Costos estimados escenario A2 y B2 como porcentaje del valor de una tonelada de Maíz 2009

Costa Rica			
A2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	5.34	5.26	5.16
2030	11.49	11.33	11.11
2050	17.67	17.56	17.42
2070	14.87	14.80	14.71
2100	22.33	22.30	22.25
B2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	2.48	2.45	2.40
2030	3.43	3.38	3.31
2050	11.38	11.36	11.33
2070	12.20	12.30	12.26
2100	13.60	13.40	13.14
El Salvador			
A2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	0.355	0.35	0.343
2030	0.142	0.140	0.137
2050	3.567	3.51	3.45
2070	11.543	11.37	11.154
2100	29.67	29.23	28.667
B2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	0.20	0.20	0.20
2030	0.51	0.50	0.49
2050	0.27	0.26	0.26
2070	11.93	12.25	12.21
2100	18.69	18.56	18.40

Los rendimientos de la producción de arroz se presentan en el cuadro 18, los resultados del escenario B2 para Costa Rica muestran que los costos por tonelada podrían disminuir en 2% en el 2020 y podrían alcanzar 22.6% en 2100. Con los resultados bajo el escenario A2 los costos son más elevados, en 2020 podrían ser de 6.7% y se elevarían a 30% para 2100. En caso de El Salvador, los resultados para el escenario B2 podrían generarse costos en 2020 de alrededor del 0.04%, y se elevarían a más de 27% en 2100; para el escenario A2 los costos podrían representar de 0.5% en 2020, y se elevarían a más de 47% en 2100, el aumento de los costos en las últimas décadas podría ser muy elevado.

Cuadro 17.

Costos estimados escenario A2 y B2 como porcentaje del valor de una tonelada de Frijol en 2009

Costa Rica			
A2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	0.86	0.84	0.83
2030	5.07	5.00	4.90
2050	3.56	3.51	3.44
2070	20.45	20.45	20.44
2100	29.99	29.55	28.98
B2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	2.01	1.98	1.94
2030	2.40	2.36	2.32
2050	2.44	2.41	2.36
2070	5.84	5.75	5.64
2100	22.68	22.34	21.91
El Salvador			
A2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	12.19	12.01	11.78
2030	13.62	13.42	13.16
2050	18.49	18.22	17.87
2070	26.68	26.29	25.79
2100	47.28	46.58	45.69
B2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	0.14	0.14	0.13
2030	0.12	0.12	0.11
2050	1.54	1.52	1.49
2070	6.82	6.72	6.59
2100	27.07	26.68	26.16

Cuadro 18.

Costos estimados escenario A2 y B2 como porcentaje del valor de una tonelada de Arroz en 2009

Costa Rica			
A2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	6.71	6.62	6.49
2030	9.31	12.14	14.90
2050	12.85	13.51	13.44
2070	24.68	20.45	20.44
2100	30.55	29.55	28.98
B2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

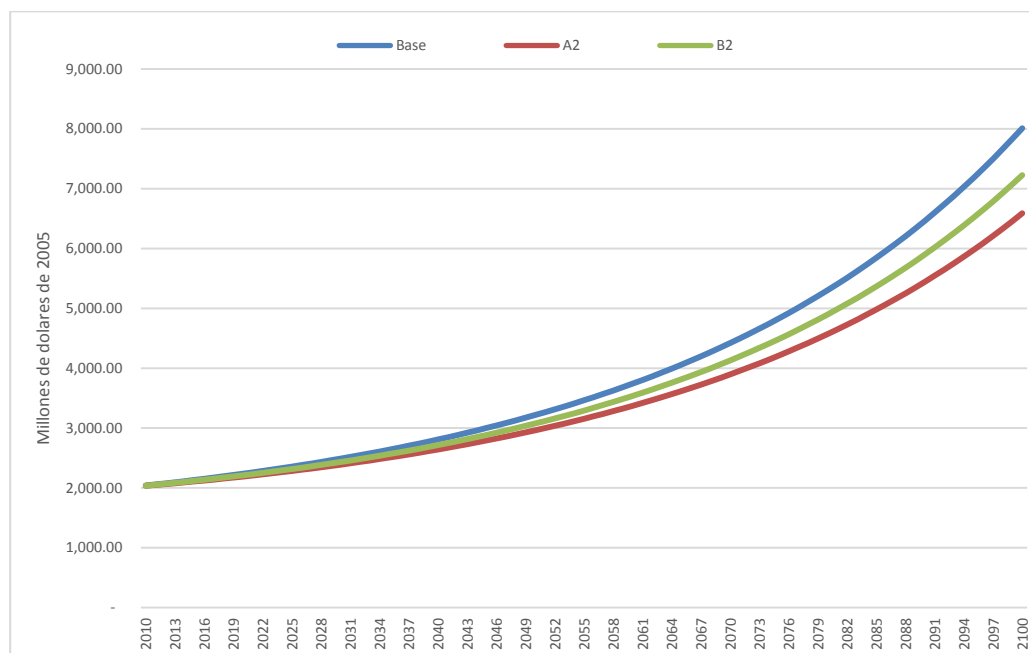
2020	2.01	1.98	1.94
2030	2.40	2.36	2.32
2050	2.44	2.41	2.36
2070	5.84	5.75	5.64
2100	22.68	22.34	21.91
El Salvador			
A2			
Tasa de Descuento	0.50	0.20	0.40
2020	0.50	0.50	0.49
2030	0.53	4.34	13.16
2050	0.56	18.22	17.87
2070	2.66	26.29	25.79
2100	47.03	46.58	45.69
B2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	0.14	0.14	0.13
2030	0.12	0.12	0.11
2050	1.54	1.52	1.49
2070	6.82	6.72	6.59
2100	27.07	26.68	26.16

Por otra parte los resultados obtenidos a través de los modelos de sección cruzada se presentan en la gráfica 16, en los cuales se busca medir el impacto en el valor de la producción agrícola obtenida a partir de la producción registrada para cada uno de los departamentos de cada país. En este caso también se usó el escenario base, y los escenarios de cambio climático A2 y B2. Los resultados presentados en las gráficas muestran que los costos podrían ser mayores bajo el escenario A2 al simular una mayor disminución de la precipitación.

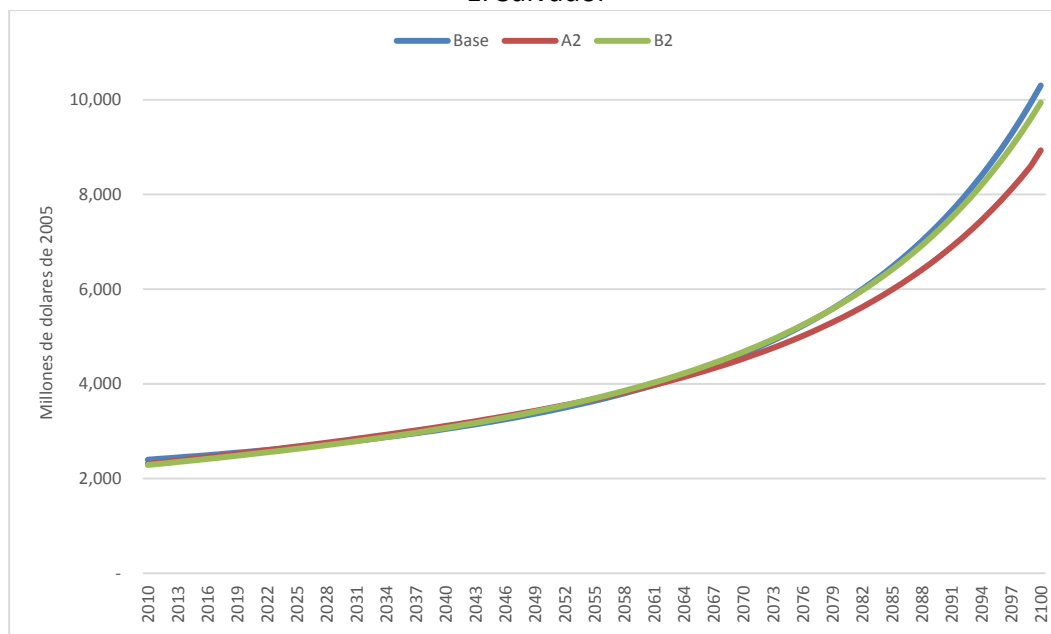
Los costos se contabilizaron como porcentaje del valor de la producción de 2009. Para Costa Rica se puede tener una disminución del valor de la producción de 0.06% en 2020, de 0.92% en 2050 y de 6.5% en 2100 en el caso del escenario B2, bajo el escenario A2 los resultados son 0.11% en 2020, de 1.64% en 2050 y de 11.8% en 2100 (Cuadro 19). Los resultados para El Salvador muestran que se puede presentar una disminución del valor de la producción de 0.3% en 2020 y de 1.8% en 2100 en el caso del escenario B2. En el escenario A2 los resultados pueden generar una disminución de 0.22% en 2020 y para 2100 los costos en el valor de la producción pueden alcanzar el 6.7%.

Gráfica 16.

Pronóstico del valor de la producción Agrícola



El Salvador



Cuadro 19.

Costos como porcentaje en el valor de la producción agrícola de 2009

Costa Rica			
A2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	0.11	0.10	0.08
2030	0.40	0.32	0.25
2050	1.64	1.09	0.66
2070	4.09	2.22	1.07
2100	11.82	4.65	1.62
B2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	0.06	0.06	0.05
2030	0.22	0.18	0.14
2050	0.92	0.61	0.37
2070	2.28	1.24	0.60
2100	6.55	2.58	0.90
El Salvador			
A2			
Tasa de Descuento	0.50	0.20	0.40
2020	0.22	0.21	0.19
2030	0.18	0.16	0.16
2050	0.27	0.11	0.01
2070	1.24	1.04	1.01
2100	6.63	1.88	0.40
B2			
Tasa de Descuento	0.005	0.02	0.04
2020	0.38	0.35	0.32
2030	0.51	0.46	0.40
2050	0.49	0.47	0.46
2070	0.55	0.52	0.50
2100	1.84	1.44	1.34

En este apartado se estimaron modelos de función de producción agrícola para el PIB agrícola y los rendimientos del arroz, maíz y frijol para estimar el valor económico del aporte de la precipitación sobre los mismos, y los costos de los impactos asociados al cambio climático. Se utilizaron dos metodologías, una para los datos de series de tiempo a nivel país empleando cointegración y mecanismo de corrección de errores, la segunda fue estimación por mínimos cuadrados de un modelo de sección cruzada a nivel departamento, con la finalidad de capturar la heterogeneidad existente en la información departamental.

- Se encontró que todos los modelos para ambos países cumplen con la función de daño de U invertida especificada para temperatura y precipitación lo cual indica un impacto inicial de temperatura positivo en los rendimientos pero hasta un punto de inflexión que más temperatura implicará menos rentabilidad. Asimismo los modelos incluyen variables de insumos de la producción que resultaron estadísticamente significativas.

- El aporte económico de la precipitación en el PIB agrícola es de 5.63% para Costa Rica y de 7.63% para El Salvador, lo cual indica la importancia de este insumo.
- Los resultados por cultivos indican que en Costa Rica el aporte de la precipitación en el valor de la tonelada de maíz es de 5.81%, de frijol 4.98% y de arroz de 7.92%; para El Salvador 7.84% de maíz, 6.22% de frijol y de 7.95% para el Arroz.
- Los escenarios de cambio climático utilizados fueron en B2 y A2, el cambio en el patrón de precipitación es más intenso y aleatorio bajo el escenario A2, es decir se presentarían mayores reducciones en la precipitación para ambos países. Esto incide en los costos económicos del aporte del agua en la agricultura
- Para 2100 los costos en la producción agrícola en Costa Rica pueden ubicarse entre 0.62% y 5.32% del PIB agrícola bajo el escenario A2 considerando las diferentes tasas de descuento, y pueden estar entre 0.35% y 2.39% si ocurre el escenario B2.
- El Salvador para el 2100 bajo el escenario A2 los costos pueden representar entre 0.68% y 7.41% del PIB agrícola, y en el escenario B2 pueden estar entre 0.19% y 1.97%.
- Los rendimientos de maíz para el caso de Costa Rica la disminución del valor de la producción por tonelada podrá llegar a 2.5% en 2020 y 13.5% al 2100 en el caso del escenario B2; para el escenario A2 los costos pueden ser de una magnitud de 5.5% en 2020 a 22.5% en 2100. Los costos de El Salvador podrían llegar a 0.2% en 2020 y a 18.5% en 2100 bajo el escenario B2, mientras que bajo el escenario A2 los valores podrían ser de 0.35% en 2020 y de 29.6% en 2100.
- Los resultados de la producción de frijol muestran que bajo el escenario B2 en Costa Rica, los costos pueden representar 2% por tonelada en 2020 y alcanzaría el 22% por tonelada en 2100; en el escenario A2 los costos son más bajos en 2020, inferiores al 1% por hectárea, pero los costos para 2100 los valores se elevan a cerca del 30%. Para El Salvador los costos son aún mayores, para el escenario B2 la disminución en el valor por tonelada para 2020 podría ser de 0.14% y se elevarían para 2010 a 27%; bajo el escenario A2 los resultados muestran que los costos en 2020 alcanzarían 12% y en el 2100 podrían superar el 47% del valor por tonelada de frijol.
- Los resultados del escenario B2 para Costa Rica para los rendimientos de arroz muestran que los costos por tonelada podrían disminuir en 2% en el 2020 y podrían alcanzar 22.6% en 2100. Los resultados bajo el escenario A2 los costos son más elevados, en 2020 podrían ser de 6.7% y se elevarían a 30% para 2100. En caso de El Salvador, los resultados para el escenario B2 podrían generarse costos en 2020 de alrededor del 0.04%, y se elevarían a más de 27% en 2100; para el escenario A2 los costos podrían representar de 0.5% en 2020, y se elevarían a más de 47% en 2100.
- El incremento en los costos será de mayor intensidad, en ambos países, en el periodo de 2070 a 2100. De los productos seleccionados, el frijol podría presentar las mayores pérdidas económicas por la disminución de agua asociada al cambio climático.
- No se consideraron los posibles impactos asociados a eventos extremos.

Costos del Cambio Climático en Hidroelectricidad

Debido a la restricción de información disponible, no se contó con información de disponibilidad de agua por cuenca hidrográfica de cada una de las plantas hidroeléctricas, tampoco con el pronóstico del impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua en las cuencas. Por lo anterior, se buscó el valor económico del agua en las hidroeléctricas con el siguiente procedimiento y con base a la información disponible de cada país:

1. Se buscaron las plantas hidroeléctricas de cada país, se identificó el departamento al que pertenece.
2. Se recopiló la información de la generación neta de electricidad de cada una de las plantas para el año 2009.
3. El precio de la electricidad utilizado es el promedio anual.
4. Se asignó un valor de la electricidad producida con el precio identificado.
5. Para el escenario de cambio climático se usó el pronóstico de precipitación por departamento al 2100, y se asoció a la generación de hidroelectricidad.

Costa Rica

Los datos de generación y capacidad instalada se obtuvieron de diversas fuentes de información, incluyendo CEPAL y de sitios web. Son datos de 2009, con excepción de algunas centrales de donde los datos son el promedio anual de producción, que no especifica el año. Además se agregó información de plantas construidas después de 2009, de las cuales también se tomó el promedio. Se encontraron plantas que no tienen información de producción o de capacidad como Ventanas, Tapezco, Chocosuela, Cujubuqui, Tacaes, Birrís y Torito. El procedimiento para la estimación del valor fue el siguiente:

1. Se ordenaron todas las plantas de acuerdo a su ubicación por departamento.
2. Si sólo faltaba el dato de capacidad o producción se aplicó una fórmula que toma de referencia a otra planta cuyos datos estén completos, que esté dentro del mismo departamento y que sean similares en capacidad o producción.
3. El criterio del departamento se tomó por la variable de precipitación. Se tiene entonces:

$$Pn_e = \frac{(Ci_e * Pn_{re})}{Ci_{re}}$$

Dónde:

Pn_e = Producción neta estimada de la planta.

Ci_e = Capacidad instalada de la planta a estimar.

Pn_{re} = Producción neta de la planta de referencia

Ci_{re} = Capacidad instalada de la planta de referencia

Por ejemplo, para estimar el dato faltante de la producción de la planta "Chocosuela" que tiene 25,500 kw de capacidad se tomó de referencia la planta de "Negros II", con capacidad instalada de 28,000 kw y producción de 126,000 MW, ambas ubicadas en Alajuela. Sustituyendo:

$$Pn_e = \frac{(25,500 * 126,000)}{28,000} = 114,750$$

En el cuadro 20, se puede observar que Alajuela concentra aproximadamente el 33.69% de la generación para 2009 y que en ese departamento se ubican 25 de las 54 centrales hidroeléctricas del país, esto se explica en parte por el lago Arenal, un embalse artificial entre los departamentos de Alajuela y Guanacaste. Seguido está Cartago concentrando 30.89% de la generación y 11 plantas. Mientras que Guanacaste, Heredia, Puntarenas y San José poseen el 34.16% restante de generación y dentro de estos departamentos se ubican 18 centrales.

Las centrales más grandes por capacidad instalada y generación son pertenecientes a empresas públicas. Entre estas el ICE posee las 3 centrales más grandes por generación: Miguel Pablo, Angostura y Arenal, con 717.3, 709.8 y 648.8 miles de MW de generación neta en el 2009, respectivamente y ubicadas en Guanacaste y Cartago. Por ende, el valor de la producción de estas plantas es el mayor. Se puede apreciar la concentración del subsector hidroeléctrico en el sector público, siendo el ICE órgano rector de esta actividad pero también productor y distribuidor, sin embargo, existen empresas públicas o juntas regionales así como cooperativas. Las centrales más pequeñas por capacidad se deben a la flexibilización de la regulación del sector, que permitió la entrada de la iniciativa privada a proyectos pequeños. En lo que respecta al precio, este se rige por la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP), encargada de regular al sector eléctrico y los precios.

Cuadro 20. Costa Rica

Ubicación de centrales hidroeléctricas por departamento, generación neta y valor de la generación 2009

Departamento	Central hidroeléctrica	Capacidad instalada. kW	Generación neta 2009 MW	Precipitación promedio anual (1950-2000)	Temperatura promedio anual (1950-2000)	US\$/MW (2009)	Valor de la generación neta 2009 (miles de)
Alajuela	C. Grande3	3,375	15,889.40	2,610.60	22.55	145	2,303.96
	Caño Grande	2,905	17,892.90	2,610.60	22.55	145	2,594.47
	Hidrozarcá	14,208	78,124.70	2,610.60	22.55	145	11,328.08
	Losko	2,753	13,327.20	2,610.60	22.55	145	1,932.44
	Platanar	14,594	95,654.30	2,610.60	22.55	145	13,869.87
	Q. Azul	300	1,050.00	2,610.60	22.55	145	152.25
	Rebeca	60	192.10	2,610.60	22.55	145	27.85
	S. Lorenzo	17,000	67,000.50	2,610.60	22.55	145	9,715.07
	Tapezco		155.50	2,610.60	22.55	145	22.54

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

	Ventanas-Garita	97,380	401,412.51	2,610.60	22.55	145	58,204.81
	Cariblanco	87,941	362,503.78	2,610.60	22.55	145	52,563.04
	Toro 2	65,736	270,972.00	2,610.60	22.55	145	39,290.93
	Peñas blancas	38,172	157,349.75	2,610.60	22.55	145	22,815.71
	La garita	37,360	154,002.58	2,610.60	22.55	145	22,330.37
	Toro 1	23,205	95,653.91	2,610.60	22.55	145	13,869.81
	Cacao	672	2,770.07	2,610.60	22.55	145	401.65
	Toro 3	46,000	189,617.74	2,610.60	22.55	145	27,494.57
	Daniel Gutierrez	21,500	69,940.00	2,610.60	22.55	145	10,141.30
	Ventanas		8,136.00	2,610.60	22.55	145	1,179.72
	Central	17,500	75,490.20	2,610.60	22.55	145	10,946.07
	Chocosuela	25,500	114,750.00	2,610.60	22.55	145	16,638.75
	Negros II	28,000	126,000.00	2,610.60	22.55	145	18,270.00
	Negros I	17,000	67,000.50	2,610.60	22.55	145	9,715.07
Cartago	Tacares	7,000	29,000.00	2,610.60	22.55	145	4,205.00
	Angostura	172,202	709,838.14	2,630.64	17.53	145	102,926.52
	Rio macho	120,000	494,654.98	2,630.64	17.53	145	71,724.97
	Cachí	108,800	448,487.18	2,630.64	17.53	145	65,030.64
	Los lotes	375	1,545.80	2,630.64	17.53	145	224.14
	Avance	240	989.31	2,630.64	17.53	145	143.44
	Puerto	184	758.47	2,630.64	17.53	145	109.97
	Birris	16,000	71,306.95	2,630.64	17.53	145	10,339.50
	Tuis	1,496	6,667.20	2,630.64	17.53	145	966.74
	torito	50,000	276,440.83	2,630.64	17.53	145	40,083.92
Guanacaste	Rio Lajas	11,000	54,040.70	2,630.64	17.53	145	7,835.90
	U. Fenosa	50,700	280,311.00	2,630.64	17.53	145	40,645.09
	Miguel Pablo	174,012	717,299.18	1,905.84	25.54	145	104,008.38
	Arenal	157,399	648,818.32	1,905.84	25.54	145	94,078.65
Heredia	Sandillal	31,978	131,817.31	1,905.84	25.54	145	19,113.50
	Cote	6,886	13,977.00	1,905.84	25.54	145	2,026.66
	D. Julia	16,470	105,403.00	2,594.64	20.70	145	15,283.43
	Cubujuqui	22,400	143,353.20	2,594.64	20.70	145	20,786.21
Puntarenas	Don Pedro	14,000	59,529.10	2,594.64	20.70	145	8,631.71
	El General	42,000	208,233.00	2,594.64	20.70	145	30,193.78
	Esperanza	5,506	31,464.70	3,297.48	25.74	145	4,562.38
	Echandi	4,696	19,357.50	3,297.48	25.74	145	2,806.83
San José	Pirris	132,000	544,120.48	3,297.48	25.74	145	78,897.46
	El encanto	8,640	15,089.00	3,297.48	25.74	145	2,187.90
	Brasil	27,000	97,693.00	2,456.28	20.93	145	14,165.48
	El Ángel		470.60			145	68.23
No localizadas	Embalse	2,000	8,913.40			145	1,292.44
	La Lucha	339	1,827.00			145	264.91
	Matamoros	3,819	24,998.80			145	3,624.82
	Suerkata	3,000	1,466.20			145	212.59
	Volcán	17,000	56,928.40			145	8,254.61
Total			7,589,685.38				1,100,504.38

Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL, (2010a) y CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012a) y de sitios de internet consultados: <http://www.coopesca.co.cr/> <http://www.grupommarshall.net/> <http://www.copisa.com/> <http://www.grupoice.com/> <https://www.esph-sa.com/> <http://www.coopeguanacaste.com/> <https://www.cnfl.go.cr/> <http://www.nacion.com/> <http://conelectricas.com/> <http://www.electricamatamoros.com/> <https://www.grupoice.com/> <http://www.coopesca.co.cr/> <https://www.cnfl.go.cr/>

En los cuadros 21 y 22 se concentró la información de las plantas hidroeléctricas por departamento, para el año 2009 considerando la relación de generación de electricidad neta con la precipitación histórica y la precipitación proyectada con los escenarios de cambio climático. Asimismo, se presenta el valor económico asociado a las diferentes simulaciones de precipitación y en consecuencia el nivel de generación.

Cuadro 21. Costa Rica

**Simulación sobre la generación neta 2009 ante cambios en
la Precipitación en Escenarios A2 y B2 a 2100**

Departamento	Generación neta. 2009. MW	Generación con precipitación histórica	Generación con precipitación B2 2100	Generación con precipitación A2 2100
Alajuela	2,557,238.84	2,557,238.84	2,344,862.76	2,135,157.87
Cartago	2,345,040.55	2,345,040.55	2,080,744.79	1,751,602.59
Guanacaste	1,511,911.82	1,511,911.82	1,411,303.53	1,234,714.48
Heredia	373,165.10	373,165.10	335,825.89	295,521.53
Puntarenas	610,031.67	610,031.67	565,216.61	527,998.16
San José	97,693.00	97,693.00	87,496.94	76,973.33
Total	7,495,080.98	7,495,080.98	6,825,450.52	6,021,967.96

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 22. Costa Rica

Valor de la Generación Neta 2009 ante cambios en la precipitación Escenarios A2 y B2 a 2100

Departamento	Precio US\$/MW	Valor de la generación neta. 2009	Valor de la generación neta B2 2100 (miles US\$)	Valor de la generación neta A2 2100 (miles US\$)
Alajuela	145	370,799.63	340,005.10	309,597.89
Cartago	145	340,030.88	301,707.99	253,982.38
Guanacaste	145	219,227.21	204,639.01	179,033.60
Heredia	145	54,108.94	48,694.75	42,850.62
Puntarenas	145	88,454.59	81,956.41	76,559.73
San José	145	14,165.49	12,687.06	11,161.13
Total		1,086,786.74	989,690.32	873,185.35

Fuente: Elaboración propia

En el escenario B2 se observa que los departamentos más afectados son Cartago y San José, con una disminución porcentual en el valor de la producción de 11.27 y 10.44 respectivamente, sin embargo, en valores absolutos los departamentos de Alajuela y Cartago son los más afectados ya que sus pérdidas suman el 71.18% de las pérdidas totales (Cuadro 23). Para el escenario A2 esta tendencia se mantiene, siendo las pérdidas de Alajuela y Cartago de 68.93% del total. También se observa que el valor total de las pérdidas para el escenario A2 es el doble que para B2, esta diferencia es visible también para los departamentos, con excepción de Guanacaste, cuyas pérdidas se multiplican casi por tres. Con todo lo anterior se aprecia que el cambio en la precipitación tiene fuertes repercusiones en términos de generación y valor, ya que Costa Rica basa su producción de electricidad en las centrales hidroeléctricas.

Cuadro 23. Costa Rica

**Pérdidas en valor de la generación y términos porcentuales por
departamento escenarios A2 y B2 a 2100**

	Escenario B2		Escenario A2	
	Valor (miles US\$)	Δ %	Valor (miles US\$)	Δ %
Alajuela	-30,794.53	-8.30	-61,201.74	-16.51
Cartago	-38,322.89	-11.27	-86,048.50	-25.31
Guanacaste	-14,588.20	-6.65	-40,193.61	-18.33
Heredia	-5,414.19	-10.01	-11,258.32	-20.81
Puntarenas	-6,498.18	-7.35	-11,894.86	-13.45
San José	-1,478.43	-10.44	-3,004.36	-21.21
Total	-97,096.42	-8.93	-213,601.39	-19.65

Fuente: Elaboración propia

El Salvador

Los datos de ubicación de las centrales hidroeléctricas, así como los de capacidad instalada se obtuvieron de la página web de la CEL (Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa), de SIGET (Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones) se obtuvieron los datos de Generación Neta 2009 y la evolución mensual de los precios promedio en el mercado regulador del sistema en US\$/MWh, que se trata de un promedio de los 12 meses del año 2009.

El cálculo del valor de la generación neta 2009 consistió en multiplicar la generación neta medida en mega watts por el precio promedio que está medido en dólares por mega watt, mismo que se consideró constante para todas las centrales hidroeléctricas ya que se trata de un precio nacional. Se observa en el Cuadro 24 que la central “Cinco de Noviembre” se encuentra ubicada en los departamentos de Cabañas y Chalatenango, cuenta con una capacidad instalada de 99,400 MWh, y en el año 2009 su generación neta fue de 474,059.5 MWh; en esos departamentos la precipitación y temperatura promedio mensual histórica es de 165.83 mm y 25.96 °C, respectivamente, por último al multiplicar el precio promedio de 124.95 dólares por mega watt se obtuvo el valor de la generación neta 2009 que es de 59.23 millones de dólares. El valor total de la generación neta para 2009 de las cuatro centrales hidroeléctricas asciende a 187.47 millones de dólares.

Cuadro 24. El Salvador

Ubicación de centrales hidroeléctricas por departamento, Capacidad instalada,

Generación neta y valor de la Generación 2009.

Departamento	Central Hidroeléctrica	Capacidad instalada kWh	Generación Neta 2009	Precipitación promedio anual	Temperatura promedio anual	US\$/MW	Valor de la generación Neta 2009. (Miles US\$)
Cabañas y Chalatenango	Cinco de Noviembre*	99,400	474,059.5	1,989.96	25.96	124.95	59,233.73
Cabañas y Chalatenango	Cerrón Grande*	170,000	400,992	1,989.96	25.96	124.95	50,103.95
Santa Ana	Guajoyo	19,700	51,233.7	1,854.60	26.08	124.95	6,401.65
Usulután	15 de Septiembre	180,180	574,097.7	1,638.48	25.57	124.95	71,733.51
Total							187,472.843

Fuente: Elaboración propia con datos de SIGET: Boletín de estadísticas eléctricas No. 14(2012) y CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012a),

* Debido a que “Cerrón Grande” y “Cinco de Noviembre” se encuentran sobre la cuenca del Río Lempa y esta sirve de frontera entre ambos departamentos la CEL las ubica en ambos departamentos a la vez.

La simulación de la generación neta 2009 consistió en observar la precipitación histórica con la que se produjo hasta ese año, considerando que esa precipitación aporta el cien por ciento de la generación, y de este modo con los datos de las precipitaciones en los escenarios A2 y B2 al 2100 se buscó medir la relación que existe con la generación para 2009. Desde luego, en el cuadro puede observarse que a menor precipitación, como sucede con la tendencia general en los escenarios, existirá por ende menor generación hidroeléctrica. Siendo el escenario A2 el que cuenta con el dato menor de generación.

Con los datos de la generación neta a 2009 medidos en términos del impacto de los escenarios de cambio climático, se construyó nuevamente un valor de la generación neta, el cálculo de este valor consistió en multiplicar la generación que incluye los cambios en precipitación en el escenario A2 y B2 al 2100 (cuadro de simulación sobre la generación neta 2009) por el precio promedio para 2009 medido en dólares por mega watt. Puede observarse entonces que existe un decremento en este valor, que era de esperarse debido al decremento en la generación y al mantener como supuesto el precio del 2009 constante. Se observa que el valor de la generación alcanza un nivel mínimo en el escenario A2 al 2100 con la disminución de la precipitación, donde la generación de las centrales desciende respecto a la generación neta 2009 de manera significativa, el total del valor de la generación disminuye hasta 138.6 millones de dólares. Es evidente que los cambios en precipitación tienen un importante efecto sobre la generación hidroeléctrica que a su vez tendrá efecto sobre el valor de esta generación.

Cuadro 25. El Salvador

Simulación sobre la Generación Neta 2009 ante cambios en la Precipitación en

Escenarios A2 y B2 a 2100

Departamento	Generación Neta 2009	Generación con precipitación histórica	Generación con precipitación B2 2100	Generación con precipitación A2 2100
Cabañas y Chalatenango	875,051.5	875,051.5	855,235.2	673,277.2
Santa Ana	51,233.7	51,233.7	49,018.7	38,482.7
Usulután	574,097.7	574,097.7	563,603.3	397,653.4
Total	1,500,382.9	1,500,382.9	1,467,857.3	1,109,413.4

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 26. El Salvador

Valor de la Generación Neta 2009 ante cambios en la precipitación Escenarios A2 y B2 a 2100

Departamento	US\$/MW	Valor de la generación Neta 2009 (miles US\$)	Valor de la generación B2 2100 (miles US\$)	Valor de la generación A2 2100 (miles US\$)
Cabañas y Chalatenango	124.95	109,337.68	106,861.65	84,126.00
Santa Ana	124.95	6,401.65	6,124.89	4,808.42
Usulután	124.95	71,733.51	70,422.24	49,686.79
Total		187,472.84	183,408.78	138,621.21

Fuente: Elaboración propia

Los impactos generados por los cambios en la precipitación sobre la generación hidroeléctrica pueden observarse en el cuadro 27. El departamento más afectado con la estimación del escenario B2 es Santa Ana que registra una pérdida del 4.32%, hay que tomar en cuenta que es el departamento que menor generación hidroeléctrica aporta. Por otro lado, el departamento más afectado con la estimación en el escenario A2 es Usulután con una pérdida del 30.73%, siendo este departamento el segundo lugar en generación hidroeléctrica de El Salvador, que a su vez es el que registra la menor pérdida en el escenario B2 con tan sólo 1.83% al 2100, esto se debe a las variaciones que registran los pronósticos de la precipitación para los distintos departamentos.

En el escenario B2 el total de la disminución en generación hidroeléctrica de las centrales aquí consideradas es de 2.17% que en términos de valor es de 4.06 millones de dólares, es notable que esta variación es mínima comparada con el escenario A2 donde el total de la pérdida es de 26.06% que en términos monetarios es de 48.85 millones de dólares. En este sentido, se observa que los cambios en la precipitación tienen un efecto sobre la generación hidroeléctrica y por ende sobre el valor de esta generación con base en la simulación aquí presentada, la disminución de la precipitación con base en los escenarios A2 y B2 tendrán un efecto negativo sobre estos datos, es decir, un efecto de pérdidas tanto en generación como en el valor de la generación.

Cuadro 27. El Salvador

**Pérdidas en valor de la generación y términos porcentuales por
departamento escenarios A2 y B2 a 2100**

	Escenario B2		Escenario A2	
	Valor (miles US\$)	Δ %	Valor (miles US\$)	Δ %
Cabañas y Chalatenango	-2,476.03	-2.26	-25,211.68	-23.06
Santa Ana	-276.76	-4.32	-1,593.23	-24.89
Usulután	-1,311.27	-1.83	-22,046.71	-30.73
Total	-4,064.06	-2.17	-48,851.62	-26.06

Fuente: Elaboración propia

Hidroeléctrica de Cerrón Grande en El Salvador

Se realizó un estudio con un enfoque ingenieril para estimar los impactos potenciales del cambio climático en la generación de hidroelectricidad en la planta hidroeléctrica de Cerrón Grande en El Salvador la cual utiliza las aguas del río Lempa (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2012b). La información disponible para la simulación de la cuenca del río Lempa hasta el sitio de la hidroeléctrica Cerrón Grande fue proporcionada por la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) y comprende datos de precipitación, temperatura y evaporación de tanque de las estaciones meteorológicas localizadas en la cuenca y sus cercanías, así como información de caudales de las estaciones hidrométricas instaladas en el río Lempa y sus tributarios y en el sitio de la presa. Además se contó con información de la generación de energía mensual de la planta hidroeléctrica.

Para realizar la simulación se realizaron cálculos sobre precipitación a nivel mensual y se obtuvieron los totales anuales para generar promedios de una serie de 1971 a 2008; con la información de la temperatura anual y la altitud se elaboró un modelo donde se correlacionan ambas variables y que fue utilizado para estimar las pérdidas por evapotranspiración en la cuenca; la información acerca de los caudales mensuales de las estaciones hidrométricas y de los sitios de las presas fueron completadas mediante correlaciones entre las series de caudales mensuales de las estaciones para formar una serie de 26 años, de 1984 a 2009; los resultados del análisis de la evaporación, fueron utilizados para estimar el incremento de las pérdidas en los embalses debido al incremento de la temperatura según los escenarios futuros; y para relacionar con la producción de energía fue necesario hacer la comparación de los caudales turbinados mensuales promedio con la producción de energía del mes respectivo entre enero de 2000 y diciembre de 2009, sin considerar las posibles variaciones debidas a la diferencia de niveles del embalse. La cuenca del Río Lempa fue simulada estableciendo la mejor relación entre la precipitación y la altitud para las condiciones de temperatura y geomorfología de la cuenca en dos fases:

La primera fase consistió en simular los caudales, utilizando la mejor estimación de la relación precipitación- altitud permitida por los datos de lluvia.

segunda fase consistió en obtener las altitudes medias hasta los sitios de las estaciones y calcular las curvas hipsométricas de las cuencas hasta esos mismos sitios. Una vez obtenidas las elevaciones medias de las cuencas, los rendimientos unitarios de los caudales y la lluvia equivalente hasta los sitios de las estaciones se pueden comparar con los datos de lluvia de las estaciones meteorológicas.

Los escenarios de Cambio Climático B2 y A2 indican que la temperatura seguirá aumentando en las siguientes décadas y en el caso de la precipitación, los registros históricos señalan que los volúmenes han variado durante las últimas décadas, dependiendo de la ubicación de las estaciones meteorológicas.

Los modelos de temperatura que resultan de aplicar las anomalías en el modelo original de temperatura se encontraron que a niveles de elevación más altos corresponden temperaturas más bajas en ambos escenarios. Los modelos meteorológicos se aplicaron al modelo de la cuenca

Valoración Económica del agua y su influencia en el desarrollo frente al cambio climático: Sectores agrícola e hidroeléctrico en Costa Rica y El Salvador.

para obtener los caudales de cada año simulado. Los caudales se distribuyeron de acuerdo al promedio observado en el sitio de la presa de la planta hidroeléctrica.

En el escenario B2 el aumento del caudal sería menor en las primeras décadas, seguido por una reducción que llegaría a 15% en el corte a 2100 en relación con el nivel histórico. En A2 disminuye tan pronto como al corte 2020. Así, en el escenario A2 se estima un caudal anual promedio de 32.7 m³/s para el corte a 2100, mientras que en B2 se tendrían 91.5 m³/s, es decir, la disminución del caudal en A2 sería aproximadamente cinco veces mayor que la del B2. Para simular la operación de la planta con los resultados de la simulación hidrológica de los escenarios de Cambio Climático se adoptaron reglas de operación similares a las de la planta las cuales son las siguientes:

- La cota mínima de operación es 228 msnm. La operación de la planta empieza con esta cota al inicio de la temporada de lluvias en junio.
- La planta opera a la cota mínima al fin de la temporada de estiaje.
- Se trata de llenar el embalse a la cota de 243 msnm al final de la temporada de caudales altos en octubre. Se trata de reducir los vertidos al mínimo.
- El caudal turbinado máximo es de 175 m³/s por turbina, es decir, un total de 350 m³/s.

Para facilitar la simulación de la producción de la planta se adoptaron funciones que representan las curvas de área-elevación y volumen-elevación. La evaporación en el embalse se calculó promediando las elevaciones 243 msnm y 235 msnm, que son las de operación máxima y mínima, respectivamente, y calculando la evaporación de la elevación promedio. La evaporación se redujo 30 por ciento debido a que los datos disponibles corresponden a los de los tanques evaporímetros.

En el Cuadro se muestra la evolución de la generación de energía en ambos escenarios. En B2 podría aumentar o alcanzar relativa estabilidad, salvo en las últimas décadas del siglo, cuando podría disminuir hasta 17% respecto al promedio histórico. En el escenario A2 la reducción es progresiva desde las primeras décadas y termina con una pérdida de 70%. Considerando los efectos del cambio climático en la planta del río Lempa, la generación de energía disminuiría 17% en el escenario B2 y 71% en A2 respecto al promedio del período 1979–2008, lo que representa 74,5 GW-h y 317 GW-h, respectivamente.

Planta Cerrón Grande: Generación de energía, Escenarios B2 y A2, 2020 a 2100

(En gigawatts-hora)

Periodo	B2		A2	
	GWh	%	GWh	%
Histórico	443		443	
2020	463	4	348	-22
2030	456	3	291	-34
2050	429	-3	263	-41
2070	441	-1	191	-57
2100	369	-17	126	-71

Fuente: CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2012b

Recomendaciones para la elaboración de indicadores para la inclusión de la seguridad hídrica y el cambio climático en los planes de desarrollo, con base a la información generada sobre la contribución económica del RH

Agricultura

Enfrentar las consecuencias del cambio climático implica la implementación de políticas integrales desde la perspectiva del desarrollo sustentable, cambios en los patrones de consumo, programas y estrategias que promuevan cambios tecnológicos. En el sector agrícola es necesario lograr la sustentabilidad productiva y la seguridad alimentaria, lo cual implica considerar, entre otros aspectos, la incertidumbre que generará el cambio climático sobre la actividad agrícola, particularmente en los cambios en los patrones de precipitación, tendencias de largo plazo de temperaturas y el incremento de eventos extremos como sequías e inundaciones.

La investigación agronómica sobre la productividad agrícola indica que los cultivos tienen rangos climáticos bien definidos donde se obtienen los mayores beneficios (IPCC, 2007), conforme los rangos se mueven hacia temperaturas más cálidas o frías o a condiciones más húmedas o secas, la productividad cae. Es por ello que los cambios en las variables climáticas implican pérdidas económicas asociadas a la disminución en la producción de productos agrícolas. Los resultados de este estudio indican que las pérdidas varían dependiendo del clima original y de sus variaciones asociadas a los escenarios de cambio climático.

El cambio en la precipitación es un factor que incide directamente en la forma de producción, por ejemplo en áreas con poca precipitación se debe proveer con irrigación o cambiar a cultivos de bajo valor tolerantes a sequías, mientras que en áreas que tienen una mayor precipitación los productores se pueden dar el lujo de utilizar métodos de producción de temporal. Los resultados empíricos de las afectaciones de la disponibilidad de agua en la agricultura sugieren que los impactos son diferenciados de acuerdo a (Mendelsohn y Dinar, 2009):

- La disponibilidad de irrigación. Los países con más irrigación, en general, son menos sensibles a los cambios climáticos. En este caso, Costa Rica que tiene una mayor proporción de superficie regada, comparada con El Salvador, presenta pérdidas económicas menores asociadas a la menor disponibilidad de precipitación.
- La dotación de capital y el nivel de tecnología. Los agricultores en países más desarrollados obtienen mayores ganancias por hectárea.

En este sentido la implementación de sistemas de riego será un factor crucial para el desarrollo de la actividad agrícola, sin embargo otro aspecto fundamental es el uso eficiente del recurso. Para ello se deben considerar la efectividad de las tecnologías de irrigación. Por ejemplo, la irrigación por gravedad tiene la ventaja que es menos cara, sin embargo requiere de más agua por hectárea. La irrigación por goteo es más cara, pero conserva más agua. Conforme el agua será más escasa, la

inversión en irrigación de goteo podrá permitir a mas productores cambiar de producción de temporal a cultivos irrigados (Mendelsohn y Dinar, 2009). Por lo anterior, la inversión de los Gobiernos en infraestructura y canales para captura de agua de lluvia, almacenamiento de agua y su distribución es fundamental para una correcta adaptación del sector al cambio climático. Asimismo, los Gobiernos deben jugar un papel fundamental en la asignación del recurso hídrico, para que sea lo más eficiente posible.

Hidroeléctricas

La generación de energía en hidroeléctricas disminuiría gradualmente por la disminución de la capacidad de almacenamiento de los embalses debido la disminución en la precipitación, aumento de la evaporación por el aumento de la temperatura y por la sedimentación. Para un adecuado manejo de las hidroeléctricas se pueden recomendar las siguientes acciones (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2012b):

- Considerar en los planes de generación futura la disminución de disponibilidad de agua para calcular la pérdida de capacidad de generación, y con base en ello elaborar planes de sustitución de generación o de recuperación de los embalses, incluyendo recuperación de bosques en las cuencas y otras acciones de manejo integral de las mismas.
- Para una adecuada medición de la evaporación de los embalses y calcular su balance instalar estaciones meteorológicas e instrumentos para medir la evaporación de tanque. Así como utilizar modelos que incluyan el uso del suelo y el incremento de la población, considerando sus efectos probables y los recursos para enfrentarlos.
- Realizar análisis operativos que consideren también la función de los proyectos de futuros embalses en la adaptación al cambio climático, tanto para la operación rutinaria del embalse y la planta como medidas de emergencia frente a exceso o ausencia de caudal, con consideraciones no solamente de cada planta sino sobre el manejo de cada cuenca.
- Mejorar la eficiencia de todos los sistemas que utilizan agua ante la menor disponibilidad eventual del recurso.
- Adoptar un manejo adecuado de las cuencas para evitar la erosión de los suelos y la sedimentación de los embalses, así como la regulación del ciclo hidrológico. Lo cual se puede lograr con la implementación de proyectos de reforestación y conservación de bosques y prácticas adecuadas de uso del suelo y el agua de riego.
- Implementar sistemas de almacenamiento estacional para compensar el efecto de la reducción de caudales en el período de estiaje.
- Revisar en el corto plazo los modelos de operación de los embalses de las plantas para optimizar la generación de energía ante los escenarios tendenciales de reducción de caudales y ante probables aumentos en la variabilidad de las mismas aun a corto plazo.

Conclusiones y recomendaciones

Dentro de los impactos del cambio climático en la atmósfera se encuentra el incremento de la temperatura terrestre y oceánica, cambios en las precipitaciones sobre las zonas terrestres, y cambios en numerosos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos (IPCC, 2007 y 2013). A pesar de que existe una gran incertidumbre sobre la trayectoria futura de las precipitaciones en la región Centroamericana se pueden identificar patrones de disminución de precipitación. En todos los países, se podría observar una reducción de 11% en promedio para finales del siglo bajo un escenario climático B2 y bajo un escenario más pesimista (A2) en promedio podría presentarse una disminución de 28% (CEPAL, CCAD/SICA, DFID y DANIDA, 2011). Asimismo, se estima que la región podría experimentar una alternancia entre períodos de sequía severa e inundaciones.

La valoración económica del agua en sectores claves como agricultura y generación hidroeléctrica, se puede realizar con diversas metodologías, con base a la información disponible en este documento se optó por la función de producción agrícola y una aproximación con el valor de la producción de electricidad generada en las plantas hidroeléctricas. Para la función de producción se realizaron dos metodologías. La primera a nivel país con datos anuales del periodo 1980-2011 con un modelo de cointegración. La segunda metodología fue usando datos a nivel municipal de sección cruzada para el año 2009. Se estimaron modelos para la agricultura en su conjunto y para tres cultivos fundamentales: maíz, frijol y arroz.

- Interpretación de los modelos econométricos sobre el aporte marginal del agua a los diferentes cultivos

Los modelos econométricos de la producción agrícola y de los rendimientos del maíz, frijol y arroz de Costa Rica indican que en todos los casos las variables climáticas son estadísticamente significativas y los coeficientes confirman la forma de U invertida de la función de daño, es decir un signo positivo en la variable y un signo negativo con el término cuadrático. Las variables que tienen una mayor incidencia en la producción agrícola son la superficie regada, el empleo agrícola y la temperatura; mientras que para los cultivos las variables son diferenciadas en cada caso. Los coeficientes del aporte marginal del agua a la producción agrícola y en los rendimientos del maíz son de pequeña magnitud, comparados con los encontrados para los rendimientos de frijol y arroz. En el caso de El Salvador los resultados son muy similares para la producción agrícola y para los cultivos, lo cual se puede deber a que ambos países presentan formas de producción y condiciones climatológicas muy similares.

- Estimación del aporte económico del agua en la agricultura

El valor económico del nivel de precipitación en Costa Rica y El Salvador se puede aproximar a partir de los modelos de función de producción. Utilizando el nivel de precipitación del 2010 se obtiene un aporte en el PIB agrícola de 5.96% y de 8.29% para Costa Rica y El Salvador respectivamente. En el caso de los cultivos los resultados indican que en Costa Rica la precipitación tiene un efecto promedio de 5.81% en el valor por tonelada de Maíz, que equivale a 14.22 dólares, de 3.99% en el frijol que equivale a 106.33 dólares y de 7.92% en el arroz equivalente a 36.17 dólares por tonelada. En El Salvador el agua presenta un mayor aporte en el arroz (7.95% de su valor), seguido del maíz (7.84%) y finalmente el frijol (6.22%).

- Análisis de la relación disponibilidad de agua - producción hidroeléctrica

La electricidad generada de una planta hidroeléctrica está en función de la estimación de salto, del caudal y la potencia extraíble, esta última depende de los tipos de turbinas utilizadas. Para la estimación del caudal se deben examinar los registros de precipitaciones de una determinada localidad a lo largo de varios años, este flujo estimado de precipitación tiene que ser corregido por pérdidas de evaporación, absorción de la vegetación e infiltraciones. Los factores que pueden afectar la disponibilidad de agua son (Sandagiri, 2013): la capacidad presente del reservorio, los flujos futuros y la tasa de cambio del flujo en un horizonte de tiempo dado.

- Estimación del valor económico de la producción hidroeléctrica

Una vez instalada una planta hidroeléctrica, el funcionamiento depende fundamentalmente de la disponibilidad de agua, es el único “combustible” que necesita para funcionar. En este sentido el valor económico del agua en las hidroeléctricas se puede trasladar completamente al valor de la energía que se produce, si se descuentan los costos de operación y la depreciación de las instalaciones. Los costos económicos y ambientales del agua consumida se pagan al operador de una planta de energía hidroeléctrica incluido en el precio de la energía hidroeléctrica. Por lo tanto hay que reconocer que los costos de utilización de agua varían en el año y a través de las cuencas hidrográficas, ya que el grado de escasez de agua y la competencia por el agua dependerá del período dentro del año y circunstancias locales.

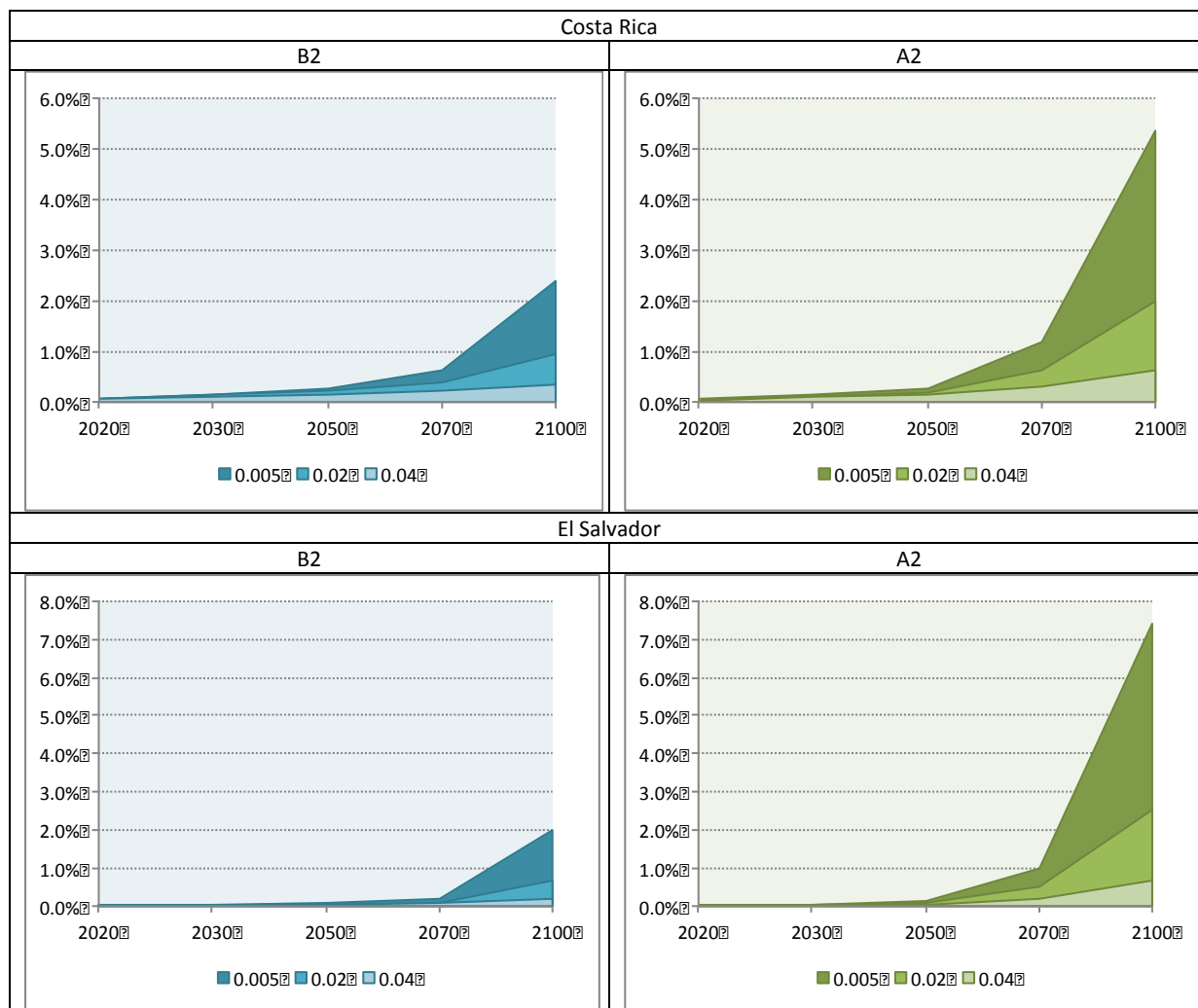
Con base a la información de la producción de hidroeléctricas se puede calcular el valor de la generación neta, que para el 2009 ascendía a 1.08 millones de dólares en Costa Rica y 1.5 millones de dólares en El Salvador.

- Interpretación de las simulaciones de cambios en los valores económicos por las variaciones del cambio climático en agricultura

Los escenarios de cambio climático utilizados fueron en B2 y A2, el cambio en el patrón de precipitación es más intenso y aleatorio bajo el escenario A2, es decir se presentaron mayores reducciones en la precipitación para ambos países. Esto incide en los costos económicos del aporte del agua en la agricultura. Para 2100 los costos en la producción agrícola en Costa Rica pueden ubicarse entre 0.62% y 5.32% del PIB agrícola bajo el escenario A2 considerando las diferentes tasas de descuento, y pueden estar entre 0.35% y 2.39% si ocurre el escenario B2. En el Salvador para el 2100 bajo el escenario A2 los costos pueden representar entre 0.68% y 7.41% del PIB agrícola, y en el escenario B2 pueden estar entre 0.19% y 1.97% (Gráfica 17). El incremento en los costos será de mayor intensidad, en ambos países, en el periodo de 2070 a 2100. De los productos seleccionados, el frijol podría presentar las mayores pérdidas económicas por la disminución de agua asociada al cambio climático.

Gráfica 17.

Pronóstico de los costos del impacto del cambio climático en el valor de la producción agrícola por pérdida de disponibilidad de agua con diferentes tasas de descuento



- Interpretación de las simulaciones de cambios en los valores económicos por las variaciones del cambio climático en hidroeléctricas.

Los costos del cambio climático en la producción de hidroelectricidad asociados cambios en los patrones de precipitación podrían representar una magnitud de 8.93% y de 19.65% de su valor actual bajo los escenarios de cambio climático B2 y A2 respectivamente en el caso de Costa Rica, con importantes variaciones por departamento. Pare El Salvador las pérdidas podrían llegar a ser de 2.17% y 26.06% bajo los escenarios climáticos.

En este sentido, se observa que los cambios en la precipitación tienen un efecto sobre la generación hidroeléctrica y por ende sobre el valor de esta generación con base en la simulación aquí presentada.

Anexo 1

Nota metodológica: cointegración de Engle y Granger

Un vector Y_t de variables de naturaleza $I(1)$ se dicen cointegradas si y solo si existe una combinación lineal de las mismas, definida por un vector β tal que $\beta'Y$ es una variable aleatoria $I(0)$, es decir, es una serie estacionaria. En términos generales se dice que un vector Y de variables cuyo máximo orden de integración es q están cointegrados si existe una combinación lineal de las mismas, definidas por un vector β tal que $\beta'Y$ es una variable aleatoria $I(p)$; con $p < q$. Dado lo anterior, el vector β se denomina vector de cointegración.

El enfoque de Engle y Granger (1989) es aplicable a modelos uniecuacionales de dos o más variables. Es un método en dos etapas basado en los residuos estimados donde se asume la existencia de un solo vector de cointegración en el modelo y donde debe comprobarse la estacionariedad de los residuos de la regresión para determinar la existencia de cointegración de las series. El método se aplica en dos etapas: en la primera se estima los errores de una ecuación de largo plazo y en la segunda se determina el orden de integración de los errores estimados. A pesar de sus limitaciones este enfoque tiene un gran interés económico ya que tiene en cuenta la existencia de la relación contemporánea entre las variables del modelo, que se plantea en un modelo que captura la relación de largo plazo.

La metodología parte del análisis simple de dos variables y_t, x_t de naturaleza $I(1)$, donde sus primeras diferencias $\Delta y_t, \Delta x_t$ son estacionarias. Se contrasta la cointegración de y_t, x_t mediante la estimación de la regresión:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + v_t, \quad t = 1, 2, \dots, T$$

Se obtienen los residuos y se comprueba la estacionariedad de los residuos. Sin embargo, los niveles críticos para el contraste de esta hipótesis no son los mismos que para el contraste de raíces unitarias en una variable, ya que el contraste se lleva a cabo después de haber estimado el modelo de regresión. El procedimiento de mínimos cuadrados busca los valores del espacio paramétrico que minimizan la varianza del residuo resultante, y éste tiene una varianza infinita para los valores de β_1 que no hacen que las variables estén cointegradas.

Por tanto, si y_t, x_t están cointegradas, el método de MCO tendrá a seleccionar el valor de β_1 que genera residuos estacionarios, es decir, la constante de cointegración. En consecuencia, los valores críticos para el contraste de raíz unitaria de los residuos de la regresión deben ser más elevados en valor absoluto que los utilizados para el contraste de una raíz unitaria habitual. Si los residuos de esta regresión resultan ser estacionarios se dice que las variables y_t, x_t están cointegradas siendo la regresión estimada la relación de cointegración entre ambas. Esta relación sería el producto $\beta'Y$ anterior después de normalizar una de las coordenadas del vector β . Se interpreta como la relación de largo plazo entre ellas, alrededor de la cual experimentan desviaciones a corto plazo que se revierten posteriormente.

El teorema de representación de Engle y Granger (1989) afirma que si dos variables y_t, x_t de naturaleza $I(1)$ están cointegradas, sus relaciones dinámicas están caracterizadas por el modelo de corrección de error:

$$\Delta y_t = \alpha_y + \sum_{i=1}^m \delta_{1i}^y \Delta x_{t-1} + \sum_{i=1}^n \delta_{2i}^y \Delta y_{t-1} + \gamma_y \xi_{t-1} + \varepsilon_{yt}$$

$$\Delta x_t = \alpha_x + \sum_{i=1}^p \delta_{1i}^x \Delta x_{t-1} + \sum_{i=1}^q \delta_{2i}^x \Delta y_{t-1} + \gamma_x \xi_{t-1} + \varepsilon_{xt}$$

Donde ξ_{t-1} denota la desviación del periodo anterior respecto de la relación de equilibrio a largo plazo $\xi_{t-1} = y_{t-1} - \beta x_{t-1}$ siendo β el coeficiente de cointegración entre y_t y x_t y Δ el operador de primeras diferencias. En el modelo de corrección de error todas las variables son estacionarias, por lo que las propiedades habituales del estimador MCO en dicho contexto son válidas. Los términos $\gamma_y \xi_{t-1}$ y $\gamma_x \xi_{t-1}$ se denominan términos de corrección de error y han de aparecer en las ecuaciones anteriores con un determinado signo, que depende del modo en que se haya definido el desequilibrio ξ_{t-1} .

La prueba para determinar estacionariedad en una serie es la prueba de Dickey-Fuller (1979). Como en los modelos autorregresivos el proceso estocástico puede incluir o excluir una constante y/o una tendencia, existen 3 variantes de la prueba Dickey-Fuller (1979) para tomar en cuenta o no a la constante y a la tendencia.

Prueba Dickey-Fuller 1 (sin constante y sin tendencia)

Esta prueba se basa en un modelo autoregresivo AR(1) en el que $y_t = \rho y_{t-1} + v_t$ es estacionario cuando $|\rho| < 1$, pero cuando $\rho = 1$ se convierte en no estacionario. Dado lo anterior, una manera de probar la estacionariedad es examinar el valor de ρ , probando si es significativamente menor a 1.

Las hipótesis a probar son:

$$H_0: \rho = 1$$

$$H_0: \rho < 1$$

Prueba Dickey-Fuller 2 (con constante y sin tendencia)

Esta prueba incluye una constante en la ecuación $\Delta y_t = \alpha + \gamma y_{t-1} v_t$ siendo la hipótesis nula y la hipótesis alternativa son las mismas que la prueba anterior. En este caso, si no se rechaza la hipótesis nula de que $\rho = 1$, se concluye que la serie no es estacionaria.

Prueba Dickey-Fuller 3 (con constante y con tendencia)

Esta prueba incluye una constante y una tendencia en la ecuación $\Delta y_t = \alpha + \gamma y_{t-1} + \lambda_t + v_t$. Al igual que en las pruebas anteriores. Si no se rechaza la hipótesis nula de $\rho = 1$, se concluye que la serie no es estacionaria.

Bibliografía

- Adams R.M., McCark y L.O. Means (2003) "The role of spatial variability on economic effects of climate change" *Climate Change* 60, 131-48
- Alcamo, Joseph , Flörke, Martina and Märker, M. (2007)." Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes". *Hydrological Sciences Journal*, 52: 247 — 275
- Alexandratos, N. (2005). "Countries with Rapid Population Growth and Resource Constraints: Issues of Food, Agriculture and Development". in *Population and Development Review* 31(2):237-58
- Anjum, M.A, VK Smith, D Whittington. (1987). Willingness to pay for water in rural Punjab, Pakistan. Pág. 18.WHAS report N° 213 septiembre.
- Arrojo, P. (1999). Perspectivas socioeconómicas del uso del agua en el regadío en España. Riegos y drenajes XXI, ISSN 0213-3660, N° 104, 1999, pags. 46-53.
- Azqueta, D. (2002) *Introducción a la Economía Ambiental*. Madrid: McGrawHill, 2002, p. 420.
- Azqueta, D. *Introducción a la Economía Ambiental*. Madrid: McGrawHill, 2002, p. 420.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2014). Costa Rica, Estrategia del País del BID 2011 -2014 Documento.
- Briscoe, Jhon, PF de Castro, C Griffin, J North. (1990). Toward Equitable and Sustainable Rural Water Supplies: A Contingent Valuation Study in Brazil. The World Bank Economic Review. Vol. 4. No. 2: pág. 115-135.
- Caballer V. Y N. Guadalajara, (1998). Valoración Económica del agua de riego. Ed. Mundi Prensa.
- CAZALAC (Centro d el A gua p ara Z onas áridas y s emi áridas d e A mérica L atina y e l Caribe) y P HI (Programa Hidrológico Internacional)/UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) (2005). *Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe*, CAZALAC.
- CAZALAC y PHI/UNESCO (2005). *ATLAS de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe*. Elaborado por: Koen Verbist, Fernando Santibáñez, Donald Gabriels y Guido Soto. PHI-VII / Documento Técnico No. 25.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), CCAD/SICA (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo/ Sistema de la Integración Centroamericana), UKAID (Programa de Asistencia del Ministerio para Desarrollo Internacional del Gobierno Británico) y DANIDA (Agencia de Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca) (2011). La economía del cambio climático en Centroamérica. Reporte técnico 2011, Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.1016, México, D.F.

- CEPAL, (2010b), "Centroamérica: Estadísticas del subsector eléctrico, 2009." ", Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.976 México D.F.
- CEPAL, CCAD/SICA, UKAID (UK Department for International Development) y DANIDA (Agencia de Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca) (2012) La Economía del Cambio Climático. Síntesis 2012, Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.1074 México D.F.
- CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012a), "La economía del cambio climático en Centroamérica: Impactos potenciales en los patrones intraanuales y espaciales del clima. Serie técnica 2012", Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.1073, México, D.F.
- CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012b) "La Economía del Cambio Climático en Centroamérica: Dos casos de impactos potenciales en la generación de hidroelectricidad. Serie técnica 2012" Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.1070, México, D.F.
- CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2012c), "La economía del cambio climático en Centroamérica: Impactos potenciales en la aridez y los meses secos. Serie técnica 2012", Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.1074, México, D.F.
- CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, (2013) "Impactos potenciales del cambio climático sobre los granos básicos en Centroamérica" Organización de la Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.1123 México D.F.
- Cramer, W., Bondeau, Woodward IC., Prentice, R.A. Betts, Brovkin, P.M. Cox, V. Fisher, Folley, Friend., C. K. Kucharik, M.R. Lomas, N. Ramankutty, S. Stich, B. Smith, A. White y C. Young Molling. (2001) "Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: Results from six dynamic global vegetation models", *Global Change Biol.*, 7, 357–373, 2001.
- Challinor, A.J., J.M. Slingo, T.R. Wheeler, P.Q. Craufurd y D.I.F. Grimes (2003) "Towards a combined seasonal weather and crop productivity forecasting system: Determination of the working spatial scale" *Journal Applied Meteorology*, 42 175 – 92
- Delgado Baquerizo, M. et al. 2013. "Decoupling of soil Nutrient cycles as a function of aridity in global drylands. *Nature* 502: 672 - 676., doi:10.1038/nature12670
- Dickey, D.A. and W.A. Fuller (1979), "Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root," *Journal of the American Statistical Association*, 74, p. 427–431
- Dickey, D.A. y W.A. Fuller (1979). "*Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root*", *Econometrica*, 49, 1057-1072.
- Doering, O.C., J.C. Randolph, J. Southworth, and R.A. Pfeifer (ed.) 2002. Effects of climate Change and Variability on Agricultural Production Systems. Kluwer Academic Publishers. Boston. 267 pp.
- Döll P. (2002) "Impact of climate change and variability on irrigation requirements a global perspective". *Climate Change* 41 (3, 4) 371 – 411

- EEA (2008) "Greenhouse Gas Emission Trends and Projections in Europe 2008", European Environment Agency. *EEA Report No. 5/2008*. EEA Copenhagen
- Engle, R.F. y C.W.J. Granger (1989). "*Cointegration and error correction: Representation, estimation and testing*", *Econometrica*, 55, 251-276.
- Engle, R.F. y Granger, C. W. J. (1989) Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing. *Econometrica*, Vol. 55, pp: 251-276
- ESCAP. 1996a. Guidelines for the Establishment of Irrigation Water Pricing Policies and Structures. ST/ESCAP/1733. Bangkok: Economic and Social Commission for Asia-Pacific
- ESCAP. 1996b. Overview of Water Pricing Policies and Structures in the ESCAP Region. ST/ESCAP/1646. Bangkok: Economic and Social Commission for Asia-Pacific
- FAO (2004) "Economic Valuation of Water resources in agriculture: From the Sectorial to a functional perspective of natural resource management". FAO Waters Reports 27. Roma.
- FAO (2004) [*Economic valuation of water resources in agriculture*](#) . Rome. 2004
- Field, B. C. y Field, M. K. (2003). *Economía Ambiental*. Madrid: Mc Graw Hill / Interamericana.
- Field. B, Field. M. *Economía Ambiental*. España: McGraw. Hill, 2005, p. 556. 3ª ed
- Fleischer, Aliza & Lichtman, Ivgenia & Mendelsohn, Robert, 2008. "[Climate change, irrigation, and Israeli agriculture: Will warming be harmful?](#)", *Ecological Economics*, Elsevier, vol. 65(3), pages 508-515, April.
- Freeman, A.M (2003). The measurement of environmental and resource values: Theory and methods. 2a edición. Washington D.C: Resources For the Future. En Young. R. Determining the economic value of Water. Concepts and methods. "Resources for the Future" (RFF), Washington D.C. 2003, pp. 4-16.
- Galán F. (1995). Agua en Colombia. Recursos abundantes, sin uso racional. Fundación FES, Fundación CORONA. Santafé de Bogotá.
- Gillette H.P. (1950) "A Creeping drought under way" *Water and Sewage Works*. 104-5
- Glantz M.H. and R. Katz, (1977) "When is a drought a drought?" *Nature* 267, 192-3
- Hassan, H & Dregne, H.E. (1997): Natural Habitats and Ecosystems Management in Drylands: An Overview.- Environment Department Paper N° 51, World Bank, Washington. D C., World Bank.
- Hodge, I.D.; Adams, W.M. (1997). "Allocating water for production and rural conservation: choices and institutions". In Kay, M.; Franks, T.; Smith, L. (Eds.), *Water: Economics, management and demand*. London, UK: E & FN Spon. pp. 117-127.

- Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. (2008) *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources*, Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. (2011) *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*, Earthscan, London, UK.
- Iglesias A. S. Quiroga y A. Diz (2011) "Looking into the future of agriculture in a changing climate" *European Reviews of Agricultural Economics*, 39, 1-21
- Iglesias A., A. Cancelliere, F. Cubillo, L. Garrote y D.A. Wilhite (2009) "Coping with Drought Risk in Agriculture and Water Supply Systems: Drought" *Management and policy Development in the Mediterranean Amsterdam*: Springer.
- IPCC (2007a) "Climate Change 2007. Synthesis report" Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2013). Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013: The physical science basis: Final Draft Underlying Scientific-Technical Assessment. Stockholm, Sweden.
- IPCC, (2007) "Climate Change 2007: The Physical Science Basis". Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. - Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Jablonski, L.M., Wang, X. and Curtis, P.S. (2002) "Plant reproduction under elevated CO2 conditions: a meta-analysis of reports on 79 crop and wild species". *New Phytologist* 156: 9-26.
- Katz R.W., B.G. Brown (1992) "Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages" *Climate Change*, 21, 289-302
- Kulshreshatha, S.N., y Tewari, D. D. (1991). Value of water in irrigated crop production using derived demand functions: A case study of south Saskatchewan River irrigation district. *Water Resources Bulletin*. 27, 227-236.
- Lobell, D V; M. Burke, C. Tebaldi, M.D. Mastrandrea, W.P. Falcón, L.Rosamond y R.L. Naylor (2008) "Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030" *Science* 319, 607-10
- Mabey, Nick, Stephen Hall, Clare Smith, y Sujata Gupta. (1997). "Argument in the greenhouse: the international economics of controlling global warming". *Global Environmental Change Series*.
- Martinez M. y L. Dimas (2007) "Valoración Económica de los Servicios Hidrológicos: Subcuenca del Río Teculután Guatemala"
- Mas Collé, Andreu, Michael D. Whinston, y Jerry R. Green, (1995) "Microeconomic Theory", New York: Oxford Univ. Press.

- Mekonnen M. y Hoekstra A. (2011), "The water footprint of electricity from Hydropower" UNESCO-IHE Institute for Water Education
- Mendelsohn R., A. Dinar y A. Sanghi (2001) "The effect of development on the climate sensitivity of agriculture". *Environment and Development Economics*, 6, 85-101
- Mendelsohn, R., W. Nordhaus and D. Shaw. 1994. "The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis", *American Economic Review* 84: 753-771.
- Mendelsohn, Robert y Ariel Dinar (2009), "Climate Change and Agriculture: An Economic Analysis of Global Impacts, Adaptation and Distributional Effects, Edward Elgar, octubre.
- Molle, F.; Berkoff, J. 2006. "Cities versus agriculture: Revisiting intersectoral water transfers, potential gains and conflicts" *Comprehensive Assessment Research Report 10*. Colombo, Sri Lanka: Comprehensive Assessment Secretariat.
- Moreno (2005) "La valoración económica de los servicios que brinda la biodiversidad: la experiencia de Costa Rica" Instituto Nacional de Biodiversidad.
- Olesen, J.E., Bindi, M., (2002). "Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy". *Eur. J. Agron.* 16, 239-262.
- Pagiola, S.; Agostini, P.; Gobbi, J., de Haan, C.; Ibrahim, M.; Murgiento, E., Ramirez, E.; Rosales, M.; Ruiz, P. 2004. Paying for biodiversity conservation services in agricultural landscapes. In: Environment Department Paper No.96. Washington, D.C. World Bank.
- Papadakis, J. (1980). *El clima. Con especial referencia a los climas de América Latina, Península Ibérica, ex Colonias Ibéricas y sus potencialidades agropecuarias*. Editorial Albatros, Buenos Aires, Argentina.
- Parry M.L, Rosenzweig C, Iglesias A, Livermore M, Fischer G. (2004) "Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios". *Global Environ. Change*. 2004; 14:53
- Penman, H. (1956). "Evaporation, an introduction survey", *Netherlands Journal of Agricultural Science* Vol. 4, California, EUA.
- Perrier, A. (1984). "Updated evapotranspiration and crop water requirement definitions", en: Perrier, A. y Riou, C. (eds) *Crop Water Requirements (ICID Int. Conf., Paris, Sept. 1984)*. INRA.
- SEMARN, Fundación Sur Futur, CDEEE, INDRHI, INAPA, Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo, Centro para el Desarrollo Agroforestal, Inc. (2011) "ESTUDIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS CUENCAS ALTAS DE LA PRESA DE SABANA YEGUA, REPÚBLICA DOMINICANA"
- Shiklomanov, I.A. 2000. World water resources and water use: present assessment and outlook for 2005. In F. Rijberman, ed. *World water scenarios: analysis* (Chapter 12). World Water Vision.

- Siebert S. y P. Doll (2007) Irrigation water use – Aglobal Perspective. In Lozan J.L. H Grabil P. Hupfer, L Menzel & C-D Schönwiese (eds) *Global Change: Enough Water for all?* Universität Hamburg /GEO 104 – 107
- SIGET (Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones) (2013) “Boletín de Estadísticas Eléctricas N° 14, 2012”, Gerencia de Electricidad. San Salvador, El Salvador C.A.
- Sivakumar, M.V.K., H.P. Das y O. Brunini (2005) “Impacts of present and future climate variability and change on agriculture and forestry in the arid and semi-arid tropics” *Climate change* 70, 31-72
- Tannehill J.R. (1947) “Drought. Its causes and effects”, Princeton N.S. Princeton University Press.
- Thorntwaite, C. (1948). “An approach toward a rational classification of climate”. *Geographical Review* Vol. 38, Num. 1.
- Tubiello, F.N., and F. Ewert, (2007) “Simulating the effects of elevated CO₂ on crops: Approaches and applications for climate change”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (50) 19686 – 90
- UNEP (1997): World Atlas of Desertificación.- 2nd. ed., Editores Middleton
- Vorosmarty CJ, P Green, J Salisbury, and R Lammers (2000) “Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth” *Science* 289 pp 284-288.
- Wang, Hua & Lall, Somik, 1999. "[Valuing water for Chinese industries : a marginal productivity assessment](#)," [Policy Research Working Paper Series](#) 2236, The World Bank.
- Wilhite D.A. y Buchanan – Smith (2005) “Drought as hazard: Understanding the nature and social context” in D. Wilhite (ed) *Drought and Water Crises” Science, Technology and Management Issues*, Boca Raton FL; CRC Press p 3-29
- Wilhite D.A. y Glantz (1985) “Understanding the Drought phenomenon: The role of definitions” *Water International*. 10, 111 – 20
- Yevjevich V. (1967) “An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts” *Hidrology Papers No. 23* Colorado State University. Fort Collins. CO
- Young, R.A. 1996. *Measuring economic benefits for water investments and policies*. World Bank Technical Paper No. 338.
- Young. R. (2005) “Determining the economic value of Water. Concepts and methods. Resources for the Future (RFF)”, Washington D.C. , pp. 4-16. Field. B, Field. M. (2005) *Economía Ambiental*. España: McGraw. Hill, p. 556. 3ª ed.

www.gwpcentroamerica.org

www.facebook.com/gwpcam

gwpcam.wordpress.com

Con el propósito de contribuir al logro de la seguridad hídrica que permita el desarrollo económico sostenible de la región, GWP Centroamérica gestiona el Programa Agua Clima y Desarrollo (PACyD), como parte de una iniciativa impulsada por GWP a nivel regional.

GWP Centroamérica es una red internacional de organizaciones involucradas en la gestión del agua. Nuestra visión es la de un mundo con seguridad hídrica y nuestra misión es promover la gobernabilidad y gestión de los recursos hídricos para un desarrollo sostenible y equitativo.

E gwpcam@gwpcentroamerica.org

T (504) 2232-0052 ☎ (504) 2239-0588

D Apdo Postal 4252. Tegucigalpa, Honduras