

Valencia, Horacio; Andersen, Lykke E.

**Working Paper**

## Cambio climático en Bolivia hasta 2100: Análisis de los impactos sobre el sector agropecuario

Development Research Working Paper Series, No. 13/2009

**Provided in Cooperation with:**

Institute for Advanced Development Studies (INESAD), La Paz

*Suggested Citation:* Valencia, Horacio; Andersen, Lykke E. (2009) : Cambio climático en Bolivia hasta 2100: Análisis de los impactos sobre el sector agropecuario, Development Research Working Paper Series, No. 13/2009, Institute for Advanced Development Studies (INESAD), La Paz

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/45664>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

# Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo



## Serie de Documentos de Trabajo sobre Desarrollo

**No. 13/2009**

### Cambio Climático en Bolivia hasta 2100: Análisis de los Impactos sobre el Sector Agropecuario

por:

Horacio Valencia  
Lykke E. Andersen

Diciembre 2009

Los opiniones expresados en la Serie de Documentos de Trabajo sobre Desarrollo son de los autores y no necesariamente reflejan los del Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo. Los derechos de autor pertenecen a los autores. Los documentos solamente pueden ser bajados para uso personal.



# **Cambio Climático en Bolivia hasta 2100: Análisis de los Impactos sobre el Sector Agropecuario\***

Por:

Horacio Valencia  
&  
Lykke E. Andersen

La Paz, 31 de diciembre de 2009

---

\* Este estudio forma parte del proyecto regional “Economía del Cambio Climático en Sudamérica” coordinado por el CEPAL y auspiciado por el Banco Inter-americano de Desarrollo, la cooperación británica y la cooperación danesa. Los autores agradecen el apoyo y los comentarios recibidos de Luis Carlos Jemio, Juan Carlos Ledezma, Graciela Magrin, Rubén Mamani, Gustavo Nagy, Alejandra Palma, Patricia Valdez y Jaime Villanueva.



### Resumen Ejecutivo

Bolivia es un país heterogéneo en todos los aspectos, incluyendo los aspectos climáticos, geográficos, culturales y económicos. Esto significa que los impactos del cambio climático también serán muy heterogéneos, brindando beneficios a unos y perjudicando a otros. Para poder captar toda esta heterogeneidad, el presente documento trabaja a nivel municipal, ya que dentro de cada municipio, las condiciones son mucho más homogéneas.

El cambio climático afecta el sector agropecuario por cuatro vías principales: 1) Por cambios en temperatura, 2) por cambios en precipitación, 3) por cambios en la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire, y 4) por eventos extremos. El impacto de cada uno de estos efectos varía entre municipios.

El modelo climático PRECIS prevé aumentos en temperaturas de 3.4 - 5.1°C en el escenario A2 y de 2.4 - 3.7°C en el escenario B2, con mayores aumentos en el norte del país y en el Altiplano. El impacto de estos aumentos dependerá del punto de partida, ya que los lugares actualmente fríos (el Altiplano) se beneficiarían por mayores temperaturas, mientras que áreas actualmente calientes (las tierras bajas) se verían perjudicados por temperaturas aún más altas.

Los impactos de los cambios en precipitación generalmente son mayores que los impactos de cambios en temperatura, parcialmente porque los rendimientos agropecuarios son más sensibles a variaciones en precipitación, y parcialmente porque los cambios en precipitación previstos por el modelo PRECIS son mucho más grandes que los cambios en temperatura. Para el escenario A2, el modelo prevé un leve aumento en precipitación a nivel nacional (+4%), pero con enormes diferencias entre municipios (entre -50% y +51%). Para el escenario B2, el modelo prevé una leve disminución a nivel nacional (-1%), pero también con enormes diferencias entre municipios (entre -51% y +43%). En general, las áreas más secas se volverán aún más secas y las áreas más húmedas recibirán aún más precipitación, pero con excepciones importantes, sobre todo en Oruro y Santa Cruz donde se prevé aumentos en precipitación en áreas ahora relativamente secas. Dado que los niveles de precipitación tienden a volverse más extremos, esto causaría daños a las actividades agropecuarias en la mayoría de municipios (excepto en Oruro y Santa Cruz).

La fertilización de CO<sub>2</sub> tendría un efecto positivo en todas las áreas, pero más para cultivos C3, como soya, y menos para cultivos C4, como maíz. Para 2100 se espera aumentos en rendimientos por fertilización de CO<sub>2</sub> de 20-27% en el escenario A2 y de 12-18% en el escenario B2. Estos aumentos son suficientes para convertir las pérdidas por cambios en temperatura y precipitación a ganancias totales en la gran mayoría de municipios. Las excepciones son los municipios de Beni y Pando, donde el efecto negativo de los grandes aumentos en temperatura predominan, y en Chuquisaca, donde las grandes reducciones en precipitación predominan.

Finalmente incluimos el efecto adverso de eventos extremos (sobre todo precipitaciones fuertes) cuya frecuencia aumentará sustancialmente de acuerdo al modelo PRECIS.



En total, a nivel nacional, estos 4 componentes del cambio climático tendrían un efecto positivo sobre los ingresos rurales en 2100 de 4,8% en el escenario A2 y 1,5% en el escenario B2. El departamento que más se beneficiaría del cambio climático es Oruro, que se volvería menos frío y menos árido que ahora. En cambio, el departamento que más perdería sería Beni, que se volvería aún más caliente, más húmedo y con mayores pérdidas como consecuencia de más inundaciones (ver el cuadro de resumen abajo).

<b>Impactos del cambio climático del Escenario A2 el año 2100 sobre el nivel de consumo rural, por departamento (en %)</b>				
<b>Departamento</b>	Efecto bruto de cambios en temperatura y precipitación (% consumo per cápita)	Efecto neto considerando la posibilidad de adaptación (% consumo per cápita)	Efecto neto considerando también el efecto de fertilización de CO <sub>2</sub> (% consumo per cápita)	Efecto neto considerando también el efecto de desastres naturales (% consumo per cápita)
Beni	-26	-20	-7	-18
Chuquisaca	-28	-13	-3	-4
Cochabamba	-26	-10	+1	+1
La Paz	-8	+2	+12	+12
Oruro	-7	10	+19	+18
Pando	-20	-18	-5	-5
Potosí	-34	-7	+3	+3
Santa Cruz	-18	-7	+5	+1
Tarija	-20	-8	+2	+2
<b>Bolivia</b>	<b>-20</b>	<b>-5</b>	<b>+6</b>	<b>+5</b>

**Fuente:** Estimación propia.  
**Nota:** Promedios ponderados por la población municipal de 2001. Solamente hasta municipios 50% rurales incluidos.

Al nivel nacional, estos impactos corresponden a un efecto positivo del cambio climático en 2100 sobre el sector agropecuario de 0,51% y 0,15% del PIB, respectivamente. Estos porcentajes aumentarían casi linealmente desde 0% en 2000.

Sin embargo, hay que interpretar estos datos con mucha precaución. Lo que más determinan los resultados son los cambios en precipitación previstos por el modelo PRECIS, y ellos tienen bastante incertidumbre.



### 1. Introducción

Uno de los sectores más directamente afectados por el cambio climático es el sector agropecuario, cuyo producción depende fuertemente de las vagarías del clima. Es un sector muy importante en Bolivia ya que contribuye con el 14% del PIB, ocupa cerca de 36% de la población ocupada<sup>1</sup>, y afecta a aún más personas a través de su importancia para la seguridad alimentaria.

Sin embargo, el sector es muy heterogéneo, cubriendo muchos diferentes climas y sistemas de producción, lo que complica el análisis e invalida generalizaciones fuertes. Existen también enormes diferencias en el clima actual entre las diferentes regiones del país, y además los cambios climáticos esperados no serían los mismos para todo el país. Es importante considerar que los efectos serían diferentes sobre los pequeños agricultores que practican agricultura de subsistencia y grandes empresas agroindustriales que producen para exportación.

Adicionalmente hay que tomar en cuenta que durante el horizonte de 100 años de la presente investigación se esperaría grandes cambios en el sector. Por eso, antes de empezar a analizar los impactos del cambio climático es necesario establecer un escenario base (sin cambio climático) que nos muestra cuantas personas estarían trabajando en agricultura, la extensión de tierra cultivada y los rendimientos que se puede esperar en la ausencia de cambio climático. Además, es necesario establecer la evolución de sus ingresos promedios, las exportaciones agropecuarias, y otros variables sobre los cuales deseamos medir impactos.

Una vez establecido el escenario base en la sección 2, la sección 3 procede a estimar relaciones entre variables climáticas y rendimientos e ingresos agropecuarios a diferentes niveles de análisis. La sección 4 usa los modelos estimados para simular los efectos del cambio climático sobre rendimientos agropecuarios con y sin la posibilidad de adaptación. La sección 5 presenta una discusión del probable impacto de la fertilización de CO<sub>2</sub>. La sección 6 analiza el costo de cambios en la frecuencia de eventos extremos. La sección 7 junta todos los componentes y presenta los resultados de las estimaciones de los efectos del cambio climático sobre el sector agropecuario para el escenario A2 y B2. La Sección 8 discute las implicaciones para la seguridad alimentaria y, finalmente, la sección 9 proporciona conclusiones y recomendaciones.

### 2. Un Escenario Base para el Sector Agropecuario hasta 2100

Dada la incertidumbre asociada a proyecciones y estimaciones de largo plazo, no se pueden medir los impactos del cambio climático sin conocer (estimar) el escenario base sobre el cual se medirá los impactos asociados al cambio climático. El propósito de esta sección es establecer una línea base que describa la evolución del sector en la ausencia de cambio climático, partiendo de la estructura actual (1999) y tendencias recientes.

---

<sup>1</sup> Datos de INE para el año 2007.



Para asegurar la consistencia interna del escenario y la consistencia con todos los otros estudios sectoriales del mismo proyecto, se usa un Modelo de Equilibrio General Computable, BOLIXXI, calibrado para reflejar los grandes cambios que se espera en Bolivia durante el Siglo XXI. El modelo y todos los supuestos para el escenario base común están descritos en Jemio & Andersen (2009). En esta sección se profundiza la descripción del sector agropecuario.

### 2.1. Algunas consideraciones

Bolivia tiene un territorio de más de 1 millón de km<sup>2</sup>, se encuentra situada entre los 9° 39' y 22° 53' de latitud sur, en la parte central de Sud América. Se ubica en la región intertropical, pero la presencia de la Cordillera de los Andes en la parte occidental y central del país introduce grandes variaciones en los rasgos biofísicos del país, en cuanto a formas del terreno, clima, suelos y vegetación (Morales *et al*, 2000).

Las características geográficas determinan la producción agropecuaria, donde la región altiplánica ocupa un tercio del territorio, se encuentra ubicada entre los dos grandes ramales andinos, las cordilleras Occidental y Oriental o Real, presenta un clima frío y con baja precipitación. Por otro lado, la región de los valles, que se encuentra entre el altiplano y los llanos orientales que abarca el 13% del territorio, presenta un clima de templado a cálido. Por último, los llanos abarcan el 60% de la superficie nacional y se ubica al norte de la cordillera Oriental o Real que se extiende desde el pie de los Andes hacia el río Paraguay, registra una temperatura tropical y precipitación alta.

Es también importante notar que la producción agrícola en Bolivia se encuentra marcada por un dualismo. Mientras que la producción tradicional es realizada para el mercado local y para el consumo de subsistencia, la producción industrial está organizada en superficies grandes de territorio, parcialmente mecanizada y modernizada, y con una fuerte orientación hacia la exportación (UDAPE, 2004).

La producción agrícola tradicional se desarrolla principalmente en el altiplano y valles semiáridos (UDAPE, 2004) en Bolivia, con producción básicamente familiar que utiliza poca tecnología, no tiene acceso a crédito y falta de infraestructura. Por otro lado, la producción agrícola industrial se realiza en grandes extensiones de tierra, con acceso a tecnología, capital, apoyo institucional como la CAO (Cámara Agropecuaria del Oriente) o ANAPO (asociación de productores de oleaginosas y trigo) y servicios de investigación como el Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT), el Sistema Boliviano de Tecnología Agropecuaria (SBTA), el Instituto de Investigación Agrícola “El Vallecito” perteneciente a la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, entre otros.

El sector agropecuario tradicional de Bolivia, conformado por pequeños productores campesinos, ha sido y sigue siendo todavía el principal abastecedor de alimentos que consume el país, aunque cada vez en menor medida (UDAPE, 2004). En cambio, el sector agropecuario



industrial utiliza solamente una pequeña parte de su producción para abastecer al mercado interno, exportando la mayor parte de su producción.

Un aspecto importante de mencionar al momento de realizar un análisis del sector agropecuario es aquel referente a los procesos de migración rural-rural en el país durante los últimos 40 años. Estos procesos migratorios dieron lugar al surgimiento de un importante contingente de pequeños agricultores en las regiones húmedas de Alto Beni, Chapare y Norte de Santa Cruz (UDAPE, 2004). Este proceso de migración rural-rural surge ya en 1950 con la idea de habitar el oriente del país y desarrollar la agricultura a gran escala como alternativa de diversificación de la economía nacional.

Otro punto clave es aquel que se refiere al consumo de agua por parte de la producción agropecuaria. El riego es una actividad de alto consumo de agua (>80%), más importante que los usos urbanos, e incluso el uso industrial urbano (Van Damme, 2001).

En Bolivia, los recursos hídricos son sub-utilizados, la cobertura de riego es limitada y, en consecuencia, no tienen un impacto importante en los volúmenes de producción y en los rendimientos de la actividad agropecuaria nacional. Según datos de UDAPE (2004) y Van Damme (2001), la producción agropecuaria nacional solamente tiene unas 200 mil hectáreas con sistemas de riego (aproximadamente el 10% de la superficie cultivada para el año 2000). El agua para riego es uno de las principales necesidades del sector agropecuario, especialmente en las regiones cuyo clima presenta al menos seis meses de déficit hídrico al año y, por tanto, donde la escasez del agua constituye un obstáculo mayor.

Por otro lado el sector agropecuario se caracteriza por ser una fuente importante de empleo para un porcentaje importante de la población ocupada en Bolivia. Este hecho es especialmente cierto en el área rural, donde 8 de cada 10 trabajadores realizan sus labores en el sector agropecuario (UDAPE, 2004).

Por último es importante mencionar también que Bolivia en general es un país pobre con aproximadamente un 60% de la población viviendo debajo de la línea de la pobreza. En el área rural la pobreza es aun mucho mayor, el 76% de la población rural vive en condiciones de pobreza, de los cuales 62% se encuentra bajo la línea de extrema pobreza (INE, 2006). Si se considera que más del 80% de la población ocupada vive de la producción agropecuaria, se estima que el 82% de los productores agropecuarios viven debajo de la línea de la pobreza y que el 71% vive debajo de la línea de la pobreza extrema.

Las causas de la pobreza rural en Bolivia son variadas pero sigue siendo explicada esencialmente por la baja productividad agrícola alcanzada como resultado de una educación incipiente, poco formal e inversiones públicas inadecuadas e insuficientes en el desarrollo de programas de apoyo técnico y tecnológico, riego, manejo de recursos, caminos rurales e infraestructura de mercado.





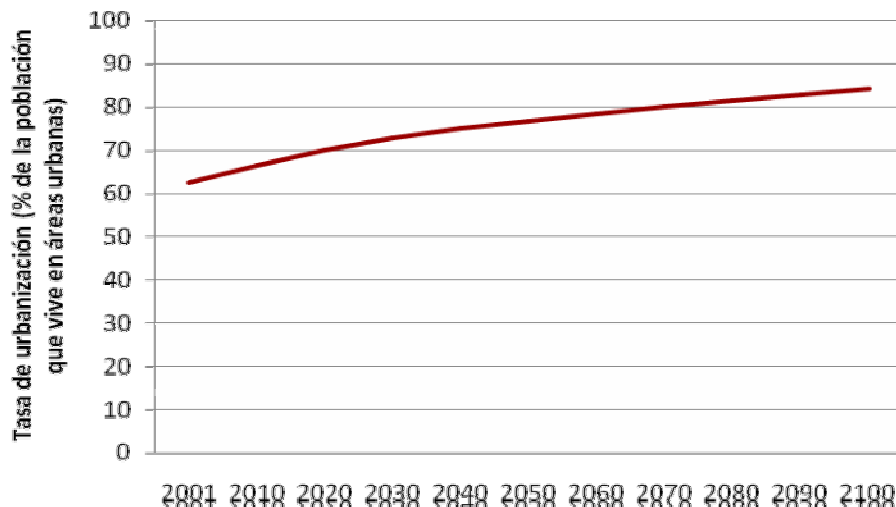
## 2.2. Proyecciones de población

Lo primero que debemos conocer al momento de analizar los efectos del cambio climático sobre el sector agropecuario es el número de personas afectadas, por lo que se estima la evolución probable de la población de Bolivia hasta 2100.

El Instituto Nacional de Estadísticas (INE) ha elaborado proyecciones de población rural y urbana hasta 2030 en el ámbito departamental, y CEPAL ha extendido estas proyecciones a nivel nacional hasta 2100. Dadas las características propias de la producción agropecuaria es necesario realizar una desagregación de las proyecciones nacionales hasta nivel municipal rural/urbana, y a continuación se explica la metodología aplicada.

Primero, se extiende las proyecciones sobre la tasa de urbanización a nivel nacional. En el año 2001 el 62% de la población vivía en áreas urbanas (conglomeraciones con más de 2000 habitantes) y de acuerdo con las proyecciones oficiales de INE, este porcentaje crecerá hasta 73% en 2030. Hemos extendido la tendencia llegando a 84% en 2100 (ver el Gráfico No. 1), lo que corresponde aproximadamente al nivel actual promedio de los países que tienen el nivel de ingreso per cápita que esperamos para Bolivia el año 2100<sup>2</sup>.

**Gráfico No. 1: Proyecciones de la tasa de urbanización en Bolivia**



**Fuente:** Elaboración propia, extendiendo las proyecciones de INE.

Junto con las proyecciones de población de CEPAL hasta 2100, esto implica la evolución de la población nacional indicado en el Gráfico No. 2. Se nota que la población total llegaría a un

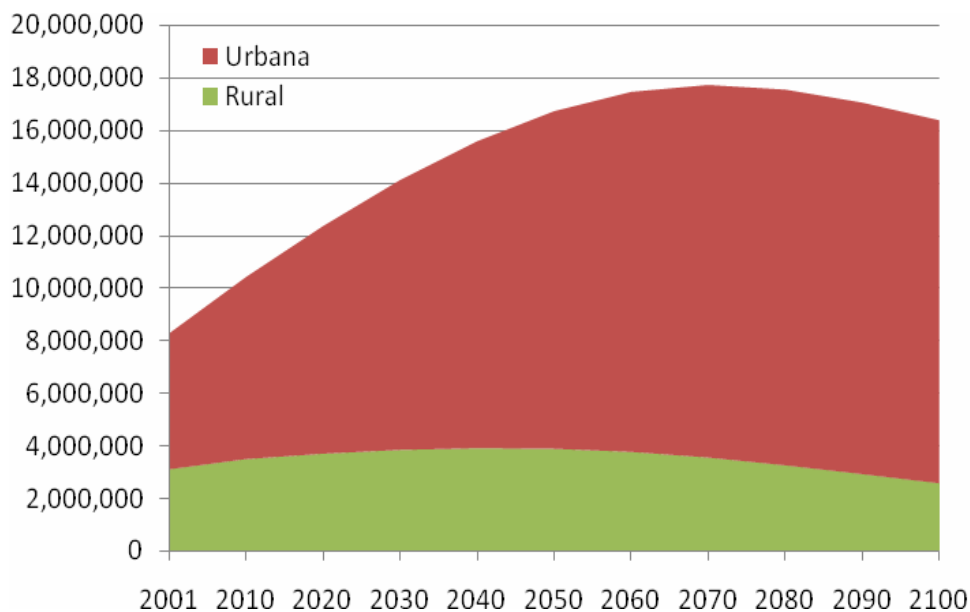
<sup>2</sup> Jemio y Andersen (2009) usa un Modelo de Equilibrio General Computable para desarrollar un escenario base para la economía boliviana hasta 2100. El escenario base indica que el PIB per cápita aumentaría aproximadamente 9 veces durante el siglo XXI.



máximo de 17,7 millones el año 2070, para después caer a un nivel de 16,4 millones el año 2100. La población rural, sin embargo, llegaría a su máximo de 3,9 millones ya en 2040 y después empieza a caer hasta 2,6 millones en 2100.

Este comportamiento poblacional previsto implica que las futuras tasas de crecimiento de la población rural sean mucho menores que los que se han visto en el pasado, siendo incluso negativas durante la mayor parte del siglo XXI, y esto tiene importantes implicaciones para la distribución de tierra, los ingresos agropecuarios, y la presión para deforestar.

**Gráfico No. 2: Proyecciones de población rural/urbana en Bolivia**



**Fuente:** Elaboración propia, en base a proyecciones de población de CEPAL y la tasa de urbanización del Gráfico No. 1.

### 2.3. Proyecciones de empleo

De los 3,3 millones de personas miembros de la población ocupada en Bolivia en el año 1999, se estima que el 36% se emplea en el sector agropecuario, es decir aproximadamente 1,3 millones de personas. Del sector agropecuario, el sector que más contribuye al empleo es la agricultura tradicional con aproximadamente 0,86 millones de ocupados en esta actividad, seguida por la producción pecuaria que emplea a 0,37 millones de personas y por último la agricultura industrial que emplea a 0,15 millones de personas.

Según estimaciones realizadas a partir del modelo de equilibrio general BOLIXXI, se espera que para el año 2050 se empleen unos 3,3 millones de personas en el sector agropecuario, pero que este número baje hasta 2,8 millones en 2100.

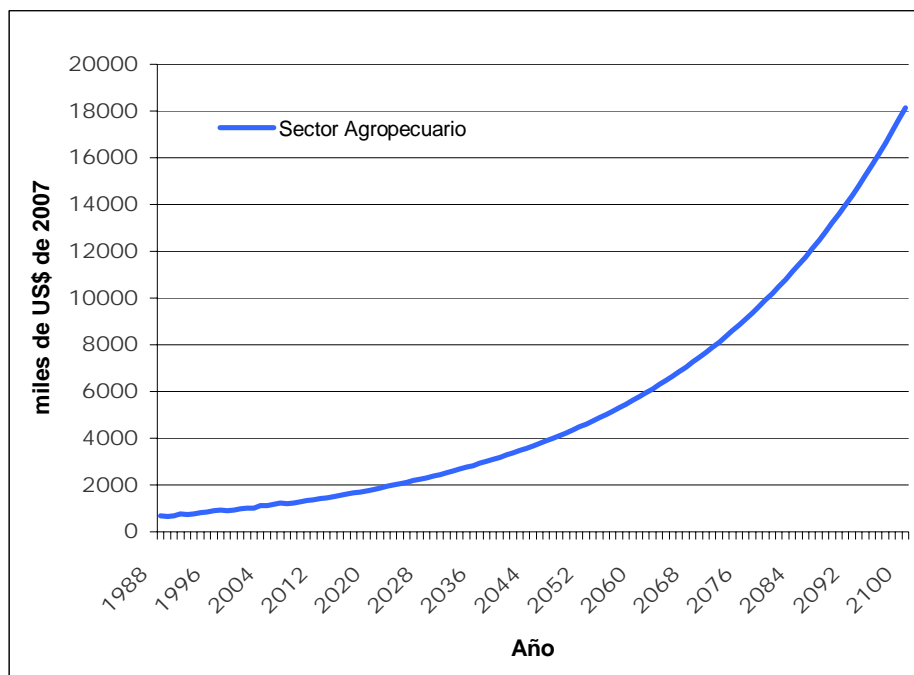


## 2.4. Proyecciones de Producción

Otro aspecto importante de estimar es aquel que se refiere a la importancia de la producción agropecuaria en el PIB nacional, donde según datos provenientes anteriores años el sector agropecuario representa en promedio un 14% del PIB (1988-2007). Con un crecimiento anual de 3%, siendo este crecimiento de 1,75% en la producción agrícola tradicional, de 8% en la producción agrícola industrial y de 3% para la producción pecuaria.

Según el modelo BOLIXXI se estima que la importancia dentro del PIB del sector agropecuario sea relativamente estable hasta el año 2100, donde como se observa en el Gráfico No. 3 se estima que el sector agropecuario tenga un crecimiento importante.

**Gráfico No. 3: Participación del sector agropecuario en el PIB 1988-2100**



**Fuente:** Elaboración propia en base a estimaciones del modelo BOLIXXI

El año 2007 el PIB agropecuario era de 1,2 mil millones de US\$ y se espera que para el año 2100 el PIB agropecuario sea de 18 mil millones de US\$ de 2007, con un crecimiento promedio anual de 3%.

Estas estimaciones se realizan con tasas de crecimiento anual relativamente bajas que en promedio no superan el 3 %, por lo cual se puede decir que estas estimaciones son bastante conservadoras considerando lo vivido en el periodo observado, especialmente en los primeros 20



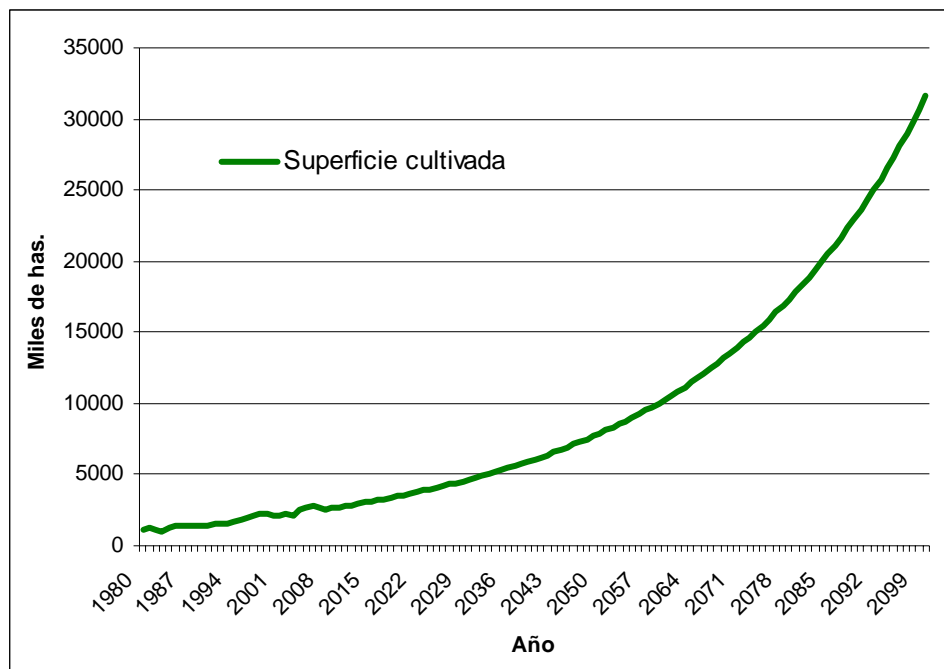
años la agricultura industrial, donde se tuvo una tasa de crecimiento anual de 8% aproximadamente.

## 2.5. Proyecciones de Superficie Cultivada

Otro tema importante al momento de hacer un análisis de largo plazo en el sector agropecuario es aquel referente a la superficie de tierra cultivada y el uso de suelo.

La superficie cultivada tuvo una tasa de crecimiento anual del 3% en el período 1980-2007, donde la superficie cultivada para los productos tradicional aumentó en un 1%, mientras que la superficie cultivada para los productos industriales tuvo un aumento de 8% en el período 1980-2007, siendo este tipo de cultivos el que más influyó en la expansión de la frontera agrícola.

**Gráfico No. 4: Superficie cultivada sector agropecuario en el PIB, 1988-2100**



Fuente: Elaboración propia en base a estimaciones del modelo BOLIXXI

Las estimaciones realizadas nos muestran un crecimiento importante de la superficie cultivada hasta el año 2100. En el año 1980 Bolivia contaba solamente con 1,18 millones de hectáreas cultivadas de las cuales la agricultura tradicional utilizaba 1,03 millones de hectáreas, mientras que la agricultura industrial cultivaba en 0,15 millones de has.



Para el año 2007 la frontera agrícola era de 2,5 millones de hectáreas cultivadas, de las cuales 1,45 millones eran utilizadas en agricultura tradicional y 1,25 millones de hectáreas eran utilizadas por la agricultura industrial. Gracias al modelo de equilibrio general BOLIXXI se estima, que para el año 2100 la frontera agrícola ocupe 31,6 millones de hectáreas del territorio nacional.

Estas estimaciones se realizan considerando el crecimiento de la frontera agrícola implica la deforestación de bosques, habilitación de nuevas tierras y la cantidad máxima disponible de tierra en cada municipio de Bolivia. Se espera que el crecimiento de la frontera agrícola se desarrolle especialmente al oriente del país, dadas las características y disponibilidad de la tierra y los patrones de crecimiento observados (1980-2007).

También es importante mencionar que este crecimiento de la frontera agrícola en el periodo analizado observado los cultivos con mayor crecimiento fueron los cultivos industriales como la soya, el sésamo y el algodón en fibra. Aunque también los cereales tuvieron un crecimiento importante entre los que destacan el arroz, maíz y el trigo. Por lo que se espera que la expansión agrícola se lleve a cabo especialmente para ampliar el cultivo de los mencionados anteriormente manteniendo todo lo demás constante.

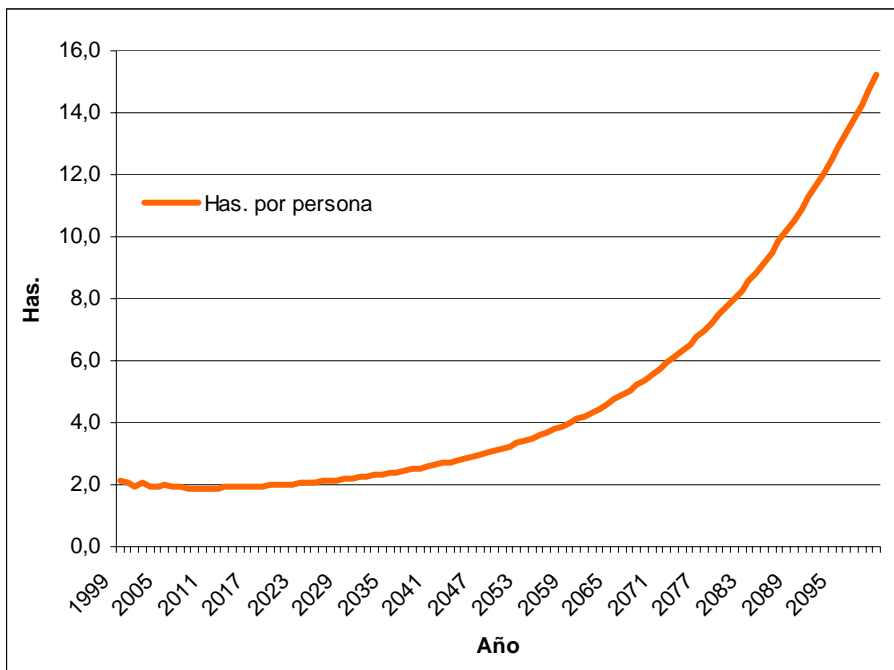
### **2.6. Tierra Cultivada por trabajador**

Tomando en cuenta los datos observados y estimados de empleo y superficie cultivada se puede analizar el número de hectáreas cultivadas por persona. La relación de área por trabajador en Bolivia para 1999 era de 2,2 ha/persona, donde la tierra cultivada por trabajador en la agricultura tradicional era de 1,5 ha/persona mientras que en la producción agrícola industrial era de 5,7 ha/persona. El año 2007, ultimo año observado, se observa que el ratio de hectáreas por trabajador era de 1,9 en el sector tradicional mientras que en el sector industrial el ratio aumenta y se cultivan 6,1 has por trabajador.

Tomando en cuenta las estimaciones realizadas por el modelo de equilibrio general BOLIXXI se estima que para el año 2100 la superficie cultivada por trabajador habrá crecido hasta un promedio de 15,2 hectáreas por trabajador (ver el Gráfico No. 5).



**Gráfico No. 5: Superficie cultivada por trabajador  
1999-2100**



**Fuente:** Elaboración propia en base a estimaciones del modelo BOLIXXI

Este aumento en el uso de tierra por trabajador es estimado considerando el aumento de la disponibilidad de tierra, consecuencia de la expansión agrícola y la deforestación de zonas boscosas para habilitar esta frontera. También se considera el aumento de trabajadores agropecuarios en el siglo en curso en una primera instancia y su posterior disminución, y también el aumento de la productividad en el sector.

Se espera un aumento importante del uso de tierra por trabajador en el sector agrícola industrial, consecuencia de la mecanización y el uso de tecnologías para su desarrollo, pero también se espera que el uso de tierra por trabajador en la agricultura tradicional aumente basándose también en el aumento de tecnología para este tipo de producción, como así también de una mayor disponibilidad de tierra.

## 2.7. Valor agregado por superficie cultivada

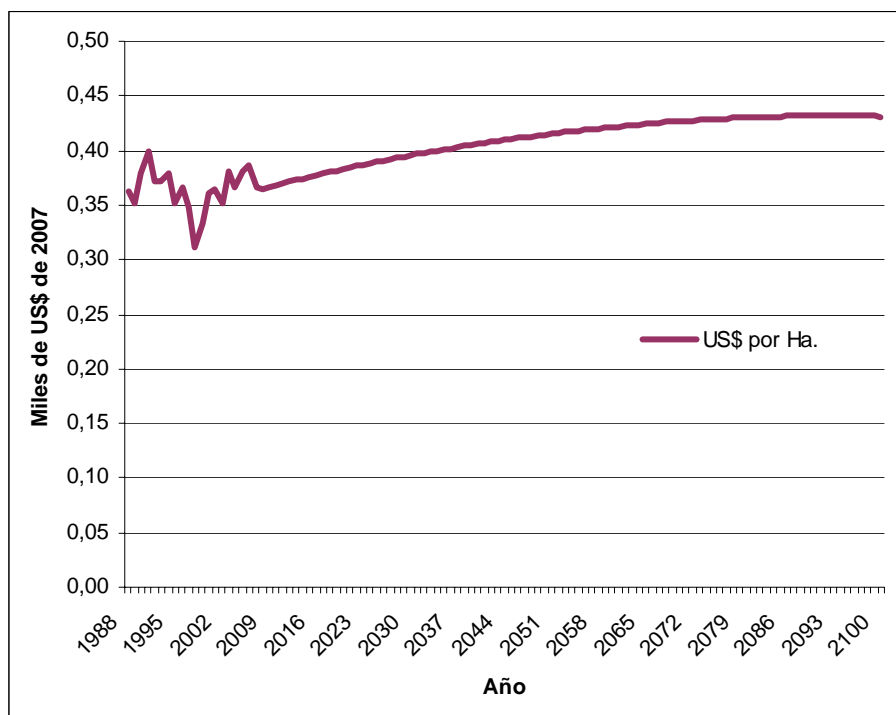
En busca de plantear un escenario base más completo, se analiza también el valor agregado generado por hectárea, por tipo de cultivo y en miles de US\$ de 2007.

Como se observa en el en el Grafico No. 6, para el año 1988 el valor agregado por hectárea en el sector agrícola era de 362 US\$, para el año 1998 el valor agregado era de 311 US\$ y para el último dato observado en el año 2007 el valor agregado por hectárea era de 365 US\$.



Según las estimaciones realizadas por el modelo BOLIXXI se estima un pequeño aumento en productividad por hectárea hasta llegar a 431 US\$ por hectárea en 2100.

**Gráfico No. 6: Valor Agregado por hectárea  
1999-2100**



Fuente: Elaboración propia en base a estimaciones del modelo BOLIXXI

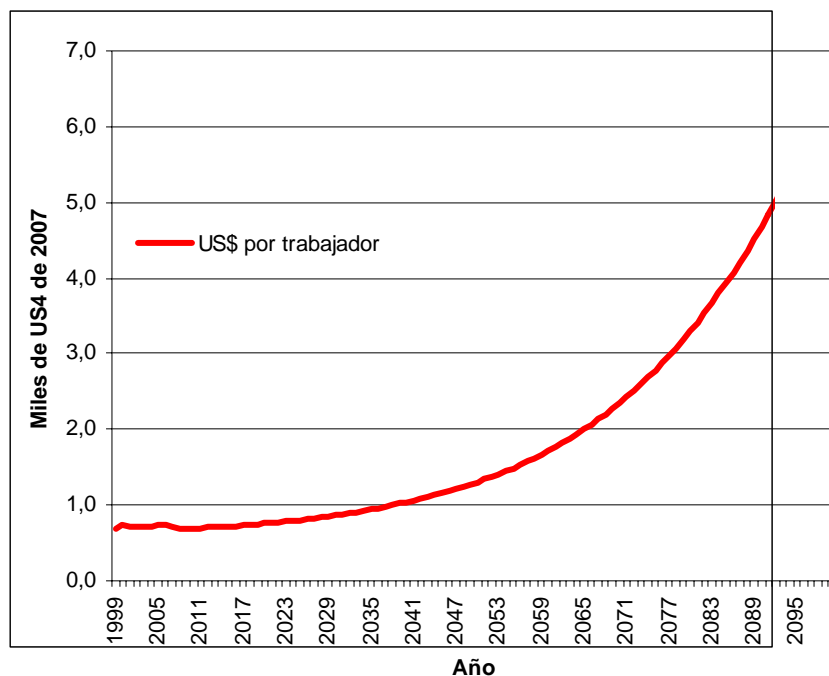
## 2.8. Valor agregado por trabajador

El último análisis que se realizará en esta primera parte descriptiva del escenario base para modelar los efectos económicos del cambio climático es aquel que se refiere al valor agregado generado en el sector agropecuario por trabajador.

Como se observa en el gráfico siguiente para el año 1999 se generaba unos 700 US\$ por trabajador en el sector agropecuario, donde en el sector tradicional se generaba 600 US\$ al año, 1100 US\$ en el sector industrial y 700 US\$ por trabajador en el sector de producción pecuaria. Para el año 2007 todo el sector generaba en promedio 700 US\$, donde el sector tradicional generaba 600 US\$ por trabajador por año, el sector industrial generaba 1200 US\$ por trabajador por año y el sector pecuario unos 700 US\$ por trabajador por año.



**Gráfico No. 7: Valor Agregado por trabajador  
1999-2100**



**Fuente:** Elaboración propia en base a estimaciones del modelo BOLIXXI.

Según las estimaciones realizadas por el modelo de equilibrio general BOLIXXI se espera que para el año 2030 el sector agropecuario genere unos 900 US\$ por trabajador por año. Para el año 2050 se espera que se generen 1300 US\$ por trabajador. Para el año 2070 se espera que se genere unos 2300 US\$ por trabajador y por último para el año 2100 se espera que se genere 6500 US\$ por año por trabajador en el sector agropecuario.

Esto aumento en valor agregado por trabajador se deberá sobre todo al aumento en la extensión trabajado por persona y en menor grado al incremento en rendimientos por hectárea.

### 3. El clima y la productividad de las actividades agropecuarias

#### 3.1. Metodología

Para poder evaluar correctamente los impactos del cambio climático sobre el sector agropecuario, es necesario saber cómo la productividad agropecuaria depende de diferentes variables climáticas. Estas relaciones entre clima y productividad se pueden estimar a diferentes niveles, pero tienen relaciones complejas y muchas veces son difíciles de cuantificar.





Por lo mencionado antes, se toma un especial cuidado al momento de analizar los efectos del cambio climático sobre los productores agropecuarios y evitar el síndrome “del granjero tonto”<sup>3</sup>. El análisis se realiza sobre el nivel de consumo per cápita en las áreas rurales que es un proxy de la productividad de los habitantes rurales.

Este variable es la más relevante para el análisis de cambio climático en el largo plazo, ya que incluye la adaptación hacia los cultivos y métodos más adecuados para el clima dado. Es decir, no se supone que los agricultores cultivan los mismos cultivos en un clima frío que un clima caliente, como resultaría del análisis a nivel de cultivo.

Adicionalmente, para poder considerar todas las relaciones y complejidades del sector agropecuario se cuantifico el efecto de adaptación por parte de los productores agropecuarios ante cambios en temperatura y precipitación como consecuencia del cambio climático. Una vez que se tiene estos 2 componentes se puede estimar el efecto bruto del cambio climático, es decir los efectos de cambio climático sobre el sector agropecuario sin considerar las posibles mitigaciones y ganancias fruto de la adaptación. La siguiente formula describe el cálculo de estos:

$$\text{Costo/Beneficio Bruto} = \text{Costo/Beneficio Neto} - \text{Costos/Beneficio por adaptación}$$

Varios autores (Mendelsohn *et al*, 2000; Seo & Mendelsohn, 2007; Seo & Mendelsohn, 2008; Kurukulasuriya & Mendelsohn, 2008; Seo *et al*, 2008) revelan la importancia de considerar dentro de los análisis de los efectos del cambio climático, la adaptación, dado que está reduciría enormemente los daños producidos por el cambio climático.

Así también es importante mencionar que el sector agropecuario a pesar de ser uno de los sectores más afectados por el cambio climático, también es considerado como uno de los sectores que más fácilmente puede adaptarse (Mendelsohn *et al*, 2000), considerando que el capital utilizado en la producción agropecuaria tiene un tiempo de vida corto (5 a 10 años), un productor agropecuario puede cambiar entre 10 y 20 veces su capital de trabajo en el periodo analizado (100 años), por lo que es razonable esperar que los productores agropecuarios tengan muchas más oportunidades de reemplazar su capital de trabajo y sus practicas de producción que otros sectores (Mendelsohn, 2000 ).

Otro punto importe al momento de analizar los efectos del cambio climático en el sector agropecuario es incluir en el análisis los efectos de la fertilización de CO<sub>2</sub>, teniendo en cuenta que el análisis de la fertilización de carbono es crucial para obtener estimaciones coherentes en el sector agropecuario (Cline, 2007). Los incrementos en el dióxido de carbono crean beneficios dado que los cultivos crecen más rápido gracias a la fertilización de CO<sub>2</sub>, y numerosos experimentos muestran un aumento consistente en la productividad (Mendelsohn *et al*, 2000).

---

<sup>3</sup> Traducción del ingles “dumb farmer syndrome” (Mendelsohn *et al*, 2000).



Por último, se espera que el cambio climático tenga efectos importantes sobre las precipitaciones lo que significa mayores ocurrencias de desastres naturales. Estos sucesos también afectaran a la producción agropecuaria y se sabe que los cambios en la variación del clima tendrá efectos serios en la producción agrícola (Mearns *et al*, 1997). Por eso es necesario incluir los efectos del aumento de los desastres naturales sobre la producción agropecuaria. Estos efectos fueron calculados en un estudio separado<sup>4</sup> y se adicionaron a los efectos totales calculados por este estudio, teniendo un análisis completo de los efectos del cambio climático sobre la producción agropecuaria.

### 3.2. Clima y productividad rural a nivel municipal (efectos netos)

Como se mencionó anteriormente, el análisis de los efectos del cambio climático se realizaron sobre la variable consumo per cápita en las áreas rurales, dado que esta variable es un proxy de la productividad de los habitantes rurales.

Para analizar la relación entre el consumo per cápita en municipios rurales y variables climáticas, se estima un modelo simple a nivel municipal<sup>5</sup> que explica la variación en consumo per cápita con variables climáticas (temperatura promedio, temperatura promedio al cuadrado, precipitación promedio, precipitación promedio al cuadrado, variabilidad de temperaturas, variabilidad de precipitación), controlando por topografía (porcentaje del municipio con pendientes mayores de 25%), aptitud de los suelos, probabilidad de inundaciones, riqueza de especies, densidad de caminos primarios y secundarios, y nivel de educación.

Los resultados de esta estimación indican que estas variables explican relativamente bien la variación observada en consumo per cápita entre municipios rurales en Bolivia, ya que el poder explicativo del modelo alcanza 60% (ver Cuadro No. 1). Las variables temperatura y precipitación salen altamente significativas con una relación no-lineal, mientras que las variables que reflejan la variabilidad de temperatura y precipitación no salen significativa. La variable dummy de heladas no es significativa (el efecto se capta mejor por temperatura), pero el coeficiente significativamente positivo de la dummy de inundaciones muestra un efecto positivo en el consumo en áreas que sufren inundaciones regularmente (por lo menos una vez cada tres años). Esto último resultado puede ser inesperado, pero se debe al hecho que las aguas ayudan a reponer nutrientes en los suelos, al mismo tiempo que las inundaciones son suficientemente regulares para que no deben sorprender a los habitantes.

La variable más importante es años de escolaridad, lo que tiene un efecto altamente positivo en el nivel de consumo (en promedio el consumo per cápita aumenta \$81 por cada año extra de escolaridad). La densidad de caminos primarios es otra variable de política que también tiene un efecto positivo en el consumo.

---

<sup>4</sup> Ver Arenas (2009).

<sup>5</sup> Municipios con más de 50% de la población en áreas urbanas son excluidas del análisis.



Finalmente, una topografía accidentada es asociada con un menor nivel de consumo. Dado que las áreas más accidentadas de Bolivia tiene un extremadamente alto nivel de biodiversidad y provee importantes servicios ambientales (Andersen, 2009), se puede concluir que estos probablemente deben ser conservados en vez de usados para actividades agropecuarias.

**Cuadro No. 1: Modelo municipal de Consumo per cápita**

<b>Variables explicativas</b>	<b>Coefficiente estimado</b>	
Constante	-53.920	(-0.52)
Temperatura Promedio	36.056	(2.86) ***
Temperatura Promedio <sup>2</sup>	-1.209	(-2.69) ***
Precipitación Promedio	4.241	(4.03) ***
Precipitación Promedio <sup>2</sup>	-0.012	(-2.36) **
Desviación Estándar de Temperaturas	-	-
Desviación Estándar de Precipitación	-	-
Dummy de heladas	-	-
Dummy de inundaciones	44.074	(2.15) **
Aptitud de los suelos para agricultura	-24.702	(-2.14) **
Nivel de biodiversidad	-	-
Topografía	-1.846	(-4.04) ***
Años de escolaridad	80.683	(9.69) ***
Densidad de caminos primarios	0.365	(2.44) ***
Densidad de caminos secundarios	-	-
	# obs = 192	R <sup>2</sup> = 0.5977

**Fuente:** Estimación propia.

**Notas:** Los números en paréntesis son estadísticas t.

\* Significativo a nivel 10%,

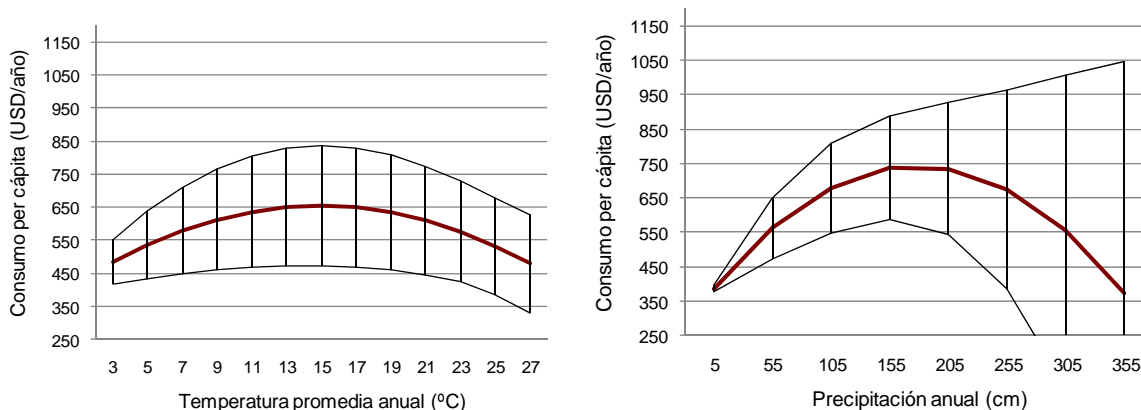
\*\* Significativo a nivel 5%,

\*\*\* Significativo al nivel 1%.

Las relaciones no-lineales estimadas entre temperatura promedio, precipitación promedio y consumo per cápita son ilustrados en el Gráfico No. 8. En este, se nota que niveles intermedios de temperatura y precipitación son más propicios para la productividad, aunque los intervalos de confianza son bastante amplios, especialmente en áreas con mucha precipitación.



**Gráfico No. 8: Relaciones estimadas entre temperatura, precipitación y consumo rural**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Nota:** Las líneas rojas representan los estimados puntuales del Cuadro No. 1, mientras que las líneas negras delimitan los intervalos de 95% de confianza (calculados por el comando `lincom` de Stata).

### 3.3. Clima y productividad rural a nivel municipal (efectos por adaptación)

Para hacer un análisis correcto de los efectos del cambio climático es necesario tomar en cuenta que los efectos de cambios en la temperatura y precipitación como consecuencia del cambio climático suponen también efectos sobre la composición de producción de los productores agropecuarios. Si consideramos que los diferentes cultivos tienen diferentes tolerancias y necesidades de temperatura y precipitación esta aseveración se hace lógica y se convierte en un aspecto importante a tomar en cuenta.

Para el análisis consideraremos primero un modelo de elección de cultivos basado en los *modelos ricardianos* (*Structural Ricardian Models*), donde se emplea las regresiones *multinomial logit* para estimar el efecto de las variables climáticas y otras sobre la elección de los productores agropecuarios en cuanto a que cultivo producir.

Los datos que se emplean son los que provienen de la Encuesta Continua de Hogares 2003-2004, donde se tiene datos de hogares de 178 municipios en Bolivia de un total de 327. La encuesta 2003-2004 tiene una característica especial, ya que es la única realizada de manera continua (durante todo el año), por lo cual se considera este tipo de encuestas más representativas especialmente a nivel rural, teniendo en cuenta la estacionalidad de la producción agropecuaria.

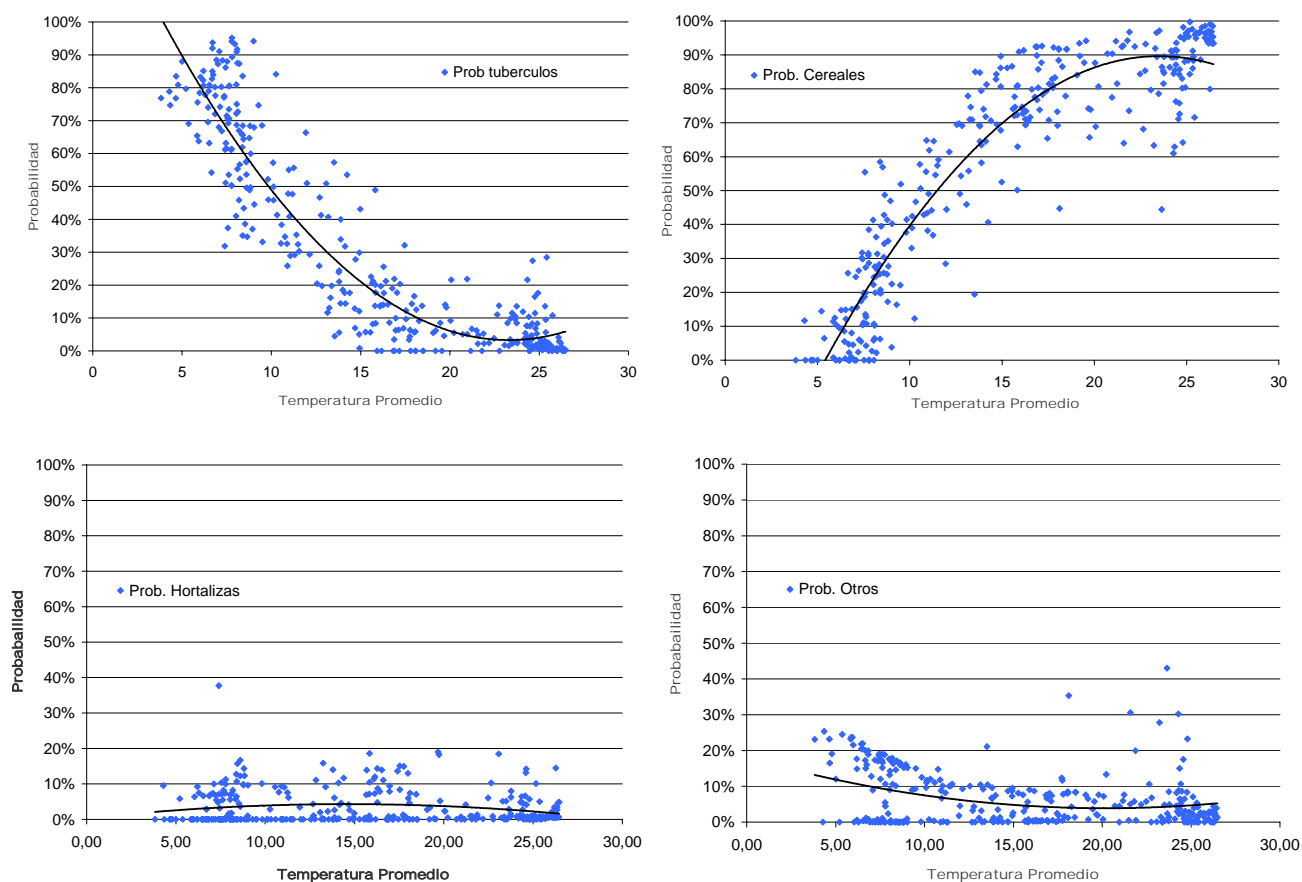
Adicionalmente se incluyeron variables climatológicas a nivel municipal, con datos acerca de la temperatura promedio, precipitación promedio, desviación estándar de la temperatura y precipitación, como así también variables con características municipales como ser potencial agrícola, forestal, altura, entre otras.



Posteriormente y una vez obtenidas los efectos del clima (a través del modelo multinomial logit) sobre la probabilidad de cultivar cierto cultivo  $i^6$ , se calculan promedios a nivel municipal y se interpola las probabilidades tomando en cuenta los efectos marginales para obtener una nueva base de datos con las probabilidades de cultivos  $i$  hasta  $m$  para todos los municipios.

Estos datos calculados a nivel municipales nos permiten observar algunas tendencias acerca de la elección de cultivos en las diferentes variedades climáticas. Como se observa en el cuadro siguiente la variación de las probabilidades de cultivar tubérculos, cereales, hortalizas y otros.

**Gráfico No 9: Probabilidad de elección de cultivos respecto a la temperatura promedio a nivel municipal**



Fuente: Elaboración propia

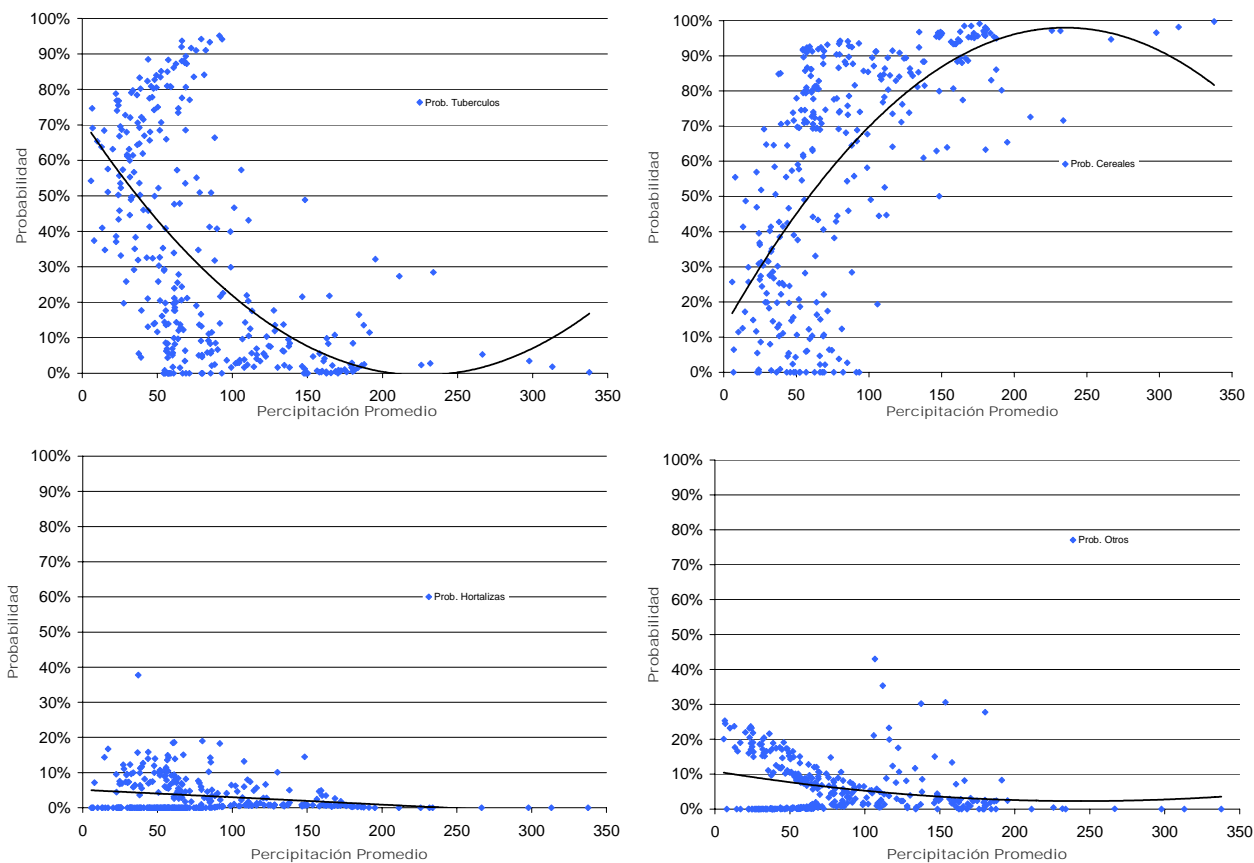
La probabilidad de cultivar tubérculos disminuye de manera clara a mayor temperatura, este hecho se puede explicar básicamente por el efecto de una mayor probabilidad de cereales. Por otro lado las hortalizas parecen tener pocas probabilidad de producción sin embargo se

<sup>6</sup> Para más detalles ver el ANEXO.



encuentran presentes en la misma intensidad en casi todas las temperaturas. La producción de otros que se refiere a *frutas, estimulantes y productos industriales* si bien tiene también pocas probabilidades de producción, donde se ve un pequeño incremento en los rangos altos de temperatura consecuencia de la producción de productos industriales y frutas.<sup>7</sup>

**Gráfico No 10: Probabilidad de elección de cultivos respecto a la precipitación promedio a nivel municipal**



Fuente: Elaboración propia

Ante mayor precipitación aumenta la probabilidad de producción de cereales, mientras que en ambientes más secos la probabilidad de producción de tubérculos es grande. Al igual que en el análisis de la temperatura, la precipitación parece no tener efectos muy grandes sobre la decisión de Hortalizas y Otros.

Lo que se quiere encontrar es el efecto de variables como temperatura y precipitación sobre las probabilidades de producción de los diferentes tipos de cultivos, para lo que se decide analizar

<sup>7</sup> Ver el ANEXO



los efectos de la producción de cereales sobre el consumo per cápita, tomando en cuenta que este cultivo tiene mayor presencia y presenta una correlación negativa ( $\rho=-0.97$ ) con el segundo agregado en importancia (tubérculos).

En el cuadro siguiente se puede observar el efecto del aumento de la probabilidad de producción de cereales en niveles y diferencias y controlado por varias variables como años de escolaridad, riqueza de especies y topografía sobre el consumo per cápita a nivel municipal.

**Cuadro No. 2: Modelo municipal de Consumo per cápita**

Variables explicativas	Coeficiente estimado
Constante	-384,9 (-5,0) ***
Probabilidad de Producir Cereales	480,5 (2,5) ***
Probabilidad de Producir Cereales <sup>2</sup>	-295,8 (-1,7) *
Dummy de heladas	23,2 (2,7) ***
Dummy de inundaciones	- -
Aptitud de los suelos para agricultura	31,4 (2,4) **
Nivel de biodiversidad	0,1 (3,6) ***
Topografía	- -
Años de escolaridad	163,4 (22,2) ***
Densidad de caminos primarios	0,4 (-1,8) *
Densidad de caminos secundarios	- -
# obs = 326	R <sup>2</sup> = 0,6495

**Fuente:** Estimación propia.

**Notas:** Los números en paréntesis son estadísticas t.

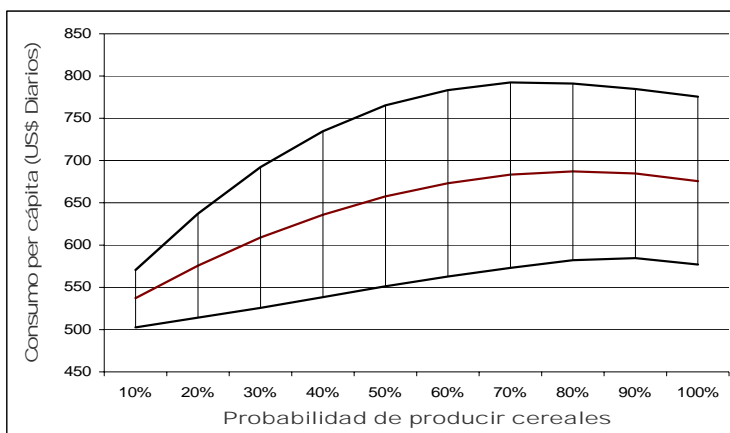
- \* Significativo a nivel 10%,
- \*\* Significativo a nivel 5%,
- \*\*\* Significativo al nivel 1%.

La regresión se realiza por MCO y cuenta con 326 observaciones<sup>8</sup>, presenta un R<sup>2</sup> de 0.65, lo que significa que el modelo explica en un 65% las variaciones en el consumo per capita en los diferentes municipios. Es importante mencionar que se explica una relación no lineal entre la probabilidad de producción de cereales y el consumo per capita, explicando que los efectos de una mayor probabilidad de producción de cereales aumenta el consumo de manera importante en las primeras variaciones de la probabilidad y este incremento en el consumo tiene a ser cada vez menos importante. (Ver el Gráfico No. 11).

<sup>8</sup> Se excluye una variable después de un análisis de la consistencia de la regresión.



**Gráfico No. 11 Relaciones estimadas entre temperatura, precipitación y consumo rural**



**Fuente:** Elaboración propia

**Nota:** Las líneas rojas representan los estimados puntuales del Cuadro No. 1, mientras que las líneas negras delimitan los intervalos de 95% de confianza (calculados por el comando `lincom` de Stata).

La variable de probabilidades de producción de cereales esta construida a partir de los efectos de la temperatura, temperatura al cuadrado, precipitación, precipitación al cuadrado, desviación estándar de la temperatura respecto a su media y desviación estándar de la precipitación respecto a su media.<sup>9</sup>

#### 4. Simulación de impactos sin y con adaptación

En esta sección simulamos los impactos del cambio climático previstos por el modelo PRECIS en los escenarios A2 y B2 descritos en Andrade (2009).

Para cada municipio comparamos un escenario sin cambio climático con dos escenarios, uno con cambio climático (manteniendo todos otros factores iguales entre los dos escenarios) sin considerara la posible adaptación de los productores y otro con cambio climático considerando los efectos de una posible adaptación. En el primer caso la diferencia entre los dos sería el impacto bruto atribuible al cambio climático, mientras que en el segundo caso la diferencia entre los dos sería el impacto neto.

Formalmente, el nivel de consumo per cápita en municipio  $i$  en el escenario sin cambio climático (la situación actual) se puede escribir como:

$$\text{Ecuación (1): } C = \alpha + \beta_0[\chi] + \beta_1[\tau] + \varepsilon$$

<sup>9</sup> Para más detalles, ver el anexo.





Donde  $C$  es el consumo per cápita,  $\alpha$  es una constante,  $\chi$  es un conjunto de variables no relacionadas con el clima que afectan al consumo,  $\tau$  es un conjunto de variables relacionadas con el clima que afectan al consumo y  $\varepsilon$  es la variación aleatoria.

#### 4.1. Simulación de los efectos sin considerar los efectos de adaptación

El siguiente cuadro resume los resultados de la simulación a nivel municipal, departamental y nacional de los efectos del cambio climático, manteniendo los demás factores constantes. En el escenario A2, que es el más extremo, los efectos brutos del cambio climático sería una reducción en el consumo rural del 20% a nivel nacional. El efecto más fuerte proviene de los efectos de cambios en temperatura (representan una pérdida en promedio a nivel nacional de 109 U\$, mientras que las pérdidas por precipitación significan 18U\$, en promedio).

Según estas estimaciones todos los departamentos pierden, algunos más que otros, donde los departamentos más afectados son los departamentos de Potosí, Chuquisaca, Cochabamba y Beni con pérdidas en promedio del 34%, 28%, 26% y 26% de su consumo respectivamente. Mientras que los departamentos de Oruro y La Paz son los menos afectados, con reducciones en promedio respecto de su consumo el año 2001 de 7% y 8%.

**Cuadro No. 3: Impactos del cambio climático del Escenario A2 sobre el nivel de consumo rural, por departamento y vía de impacto (sin tomar en cuenta los efectos por adaptación, sin tomar en cuenta la fertilización de CO<sub>2</sub> y sin considerar los efectos de eventos climáticos extremos)**

Departamento	Por cambio en temperatura	Por cambio en precipitación	Impacto total (USD/persona/año)	Impacto total (%)
Beni	-198	-27	-225	-26
Chuquisaca	-108	-45	-153	-28
Cochabamba	-111	-48	-159	-26
La Paz	-58	-9	-67	-8
Oruro	-57	+7	-49	-7
Pando	-152	-30	-182	-20
Potosí	-88	-48	-136	-34
Santa Cruz	-204	36	-168	-18
Tarja	-130	-40	-170	-20
<b>Bolivia</b>	<b>-109</b>	<b>-18</b>	<b>-127</b>	<b>-20</b>

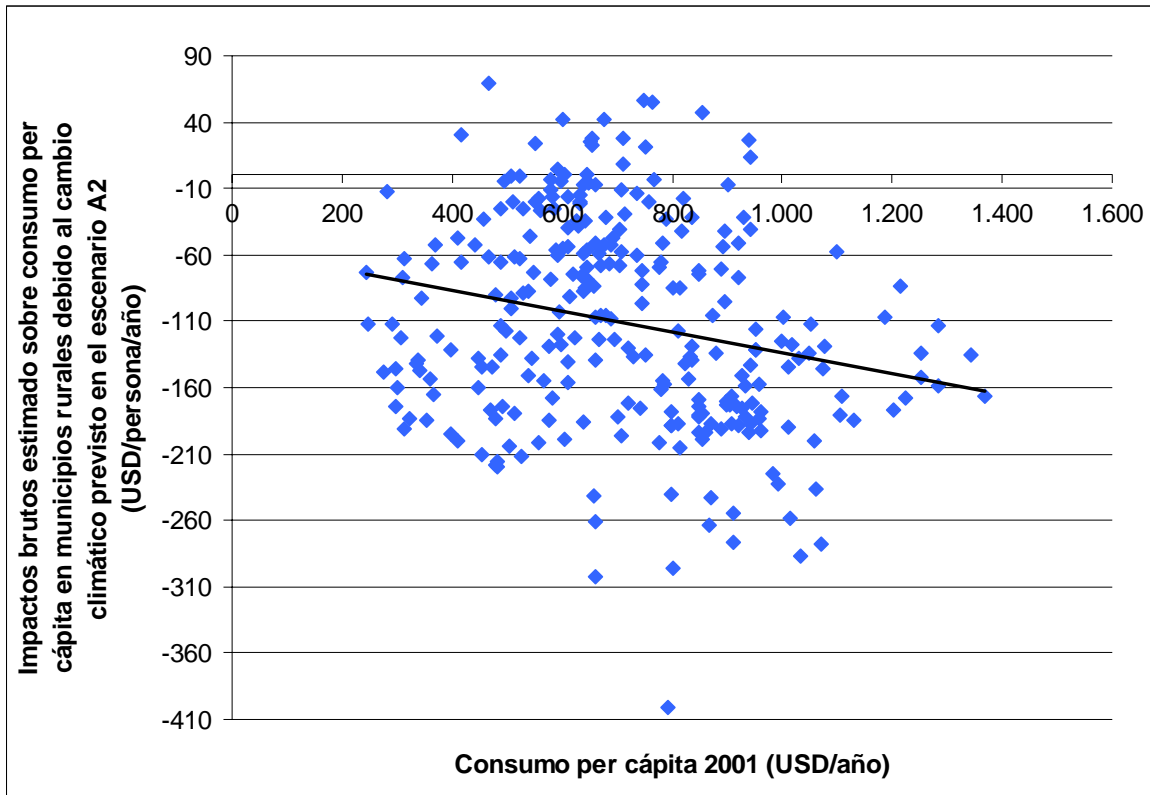
**Fuente:** Estimación propia.

**Nota:** Promedios ponderados por la población municipal de 2001. Solamente municipios 50%-100% rurales incluidos.



El Grafico No. 12 nos muestra el impacto del cambio climático (medido en USD/persona/año) en todos los municipios rurales de Bolivia contra su nivel inicial de consumo per cápita.

**Gráfico No. 12 : Impacto del cambio climático en el escenario A2 sobre consumo rural, por municipio (valores absolutos)**



Fuente: Elaboración propia

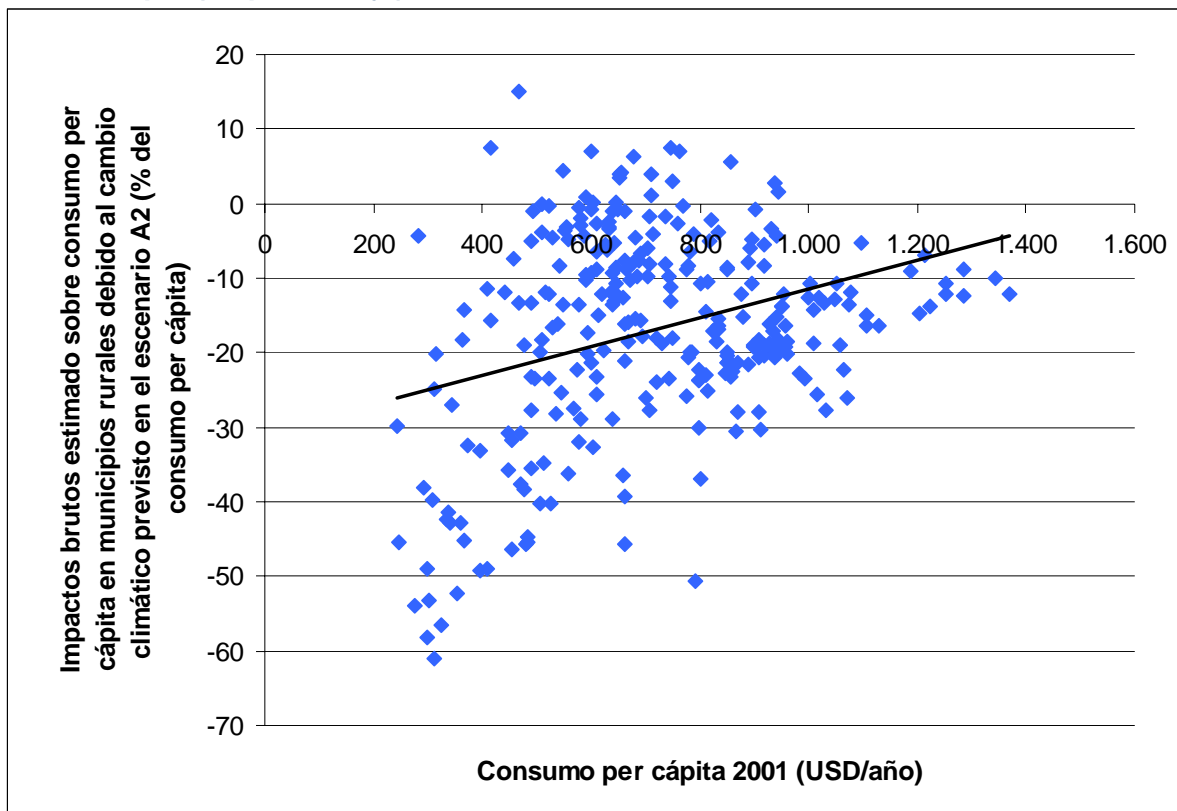
La correlación es negativa, lo que nos muestra que los municipios con mayor nivel de consumo per cápita ahora serán los que tendrán mayores problemas como consecuencia del cambio climático.

Sin embargo aunque los efectos tiende a ser más importantes (en USD/ año por persona) en los municipios con mayores niveles de consumo, al analizar este efecto considerando la variación porcentual sobre el consumo de los municipios, se observa que son los municipios con menores niveles de consumo (más pobres) que serían más afectados como consecuencia del cambio climático.



Estas pérdidas pueden significar hasta 61% del consumo per cápita por persona en el municipio de Tacobamba, 58% en el municipio de Ravelo, 56% en Arampampa, 54% en Tinquipayaya y 53% en Ocurí, todos estos en el departamento de Potosí.

**Gráfico No. 13: Impacto del cambio climático en el escenario A2 sobre consumo rural, por municipio (en porcentaje)**



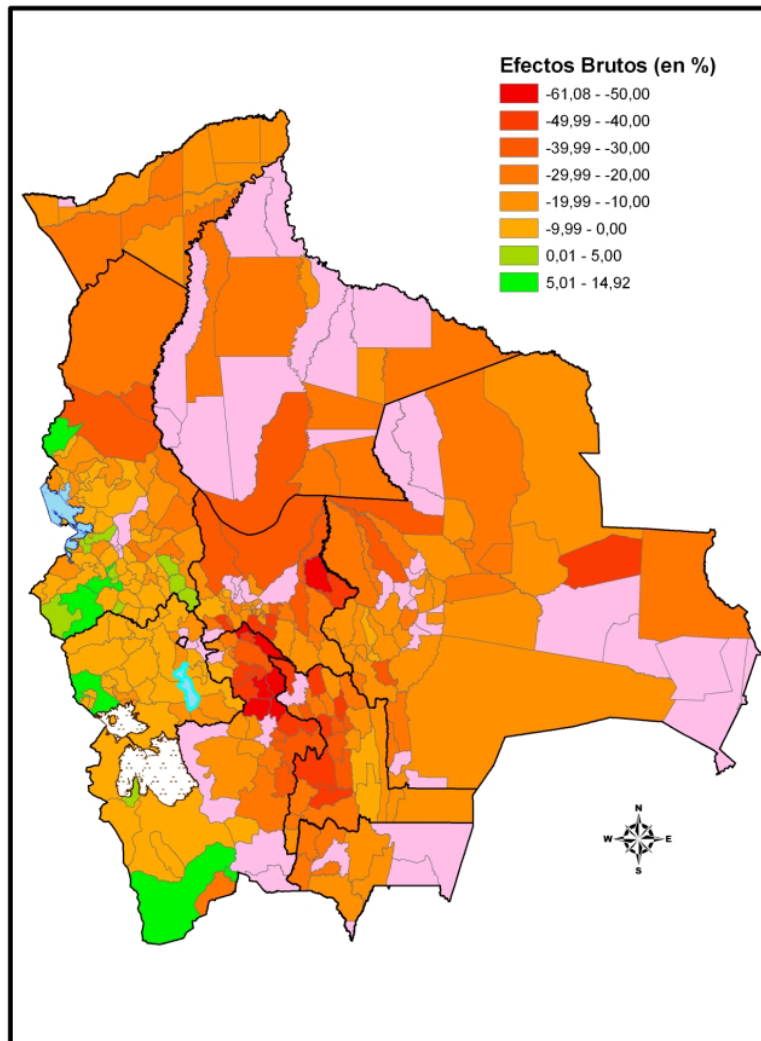
Fuente: Elaboración propia.

Son pocos los municipios que se beneficien del cambio climático y la magnitud de su ganancia es muy pequeña, entre los más beneficiados se encuentran San Pablo de Lipez, Calacoto, Mojinete, Coro Coro, Sabaya y Pelechuco con ganancias en porcentaje de su consumo per cápita por año del 14, 9%, 7,5%, 7,4, 7,1%, 7,0 y 6,2%, respectivamente.

En el siguiente gráfico se puede observar los efectos directos del cambio climático estimado en el escenario A2 para el año 2100, casi todas las regiones pierden con excepción de algunos municipios al noreste de Oruro que son los que se menciono previamente.



**Gráfico No. 14: Impactos brutos del cambio climático en el escenario A2 sobre consumo rural, por municipio (en porcentaje)**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Nota:** Los municipios color rosada tienen la mayoría de su población en áreas urbanas, y por eso son excluidas del análisis.

#### 4.2. Simulación de los efectos considerando los efectos de adaptación

Como se mencionó anteriormente, hay que tener cuidado especial al momento de analizar los efectos del cambio climático sobre los productores agropecuarios y evitar el síndrome “del granjero tonto”, por lo que es necesario considerar los efectos de adaptación.



Los efectos de adaptación pueden mitigar de manera importante los efectos negativos de las variaciones en la temperatura, llegando incluso en un promedio nacional a obtener ganancias pequeñas. Mientras que la mitigación de los efectos de variaciones en precipitaciones son más difíciles de atenuar mediante la adaptación de cultivos.

**Cuadro No. 4: Efectos de la adaptación sobre el Escenario A2 sobre el nivel de consumo rural, por departamento**

Departamento	Por cambio en temperatura	Por cambio en precipitación	Impacto total (USD/persona/año)	Impacto total (%)
Beni	+54	-7	+47	+5
Chuquisaca	+73	+9	+82	+15
Cochabamba	+73	+14	+87	+16
La Paz	+78	+2	+80	+11
Oruro	+110	+2	+113	+17
Pando	-10	+22	+12	+1
Potosí	+103	+10	+113	+28
Santa Cruz	+106	-4	+102	+11
Tarija	+95	+9	+104	+12
Bolivia	+86	+5	+91	+15

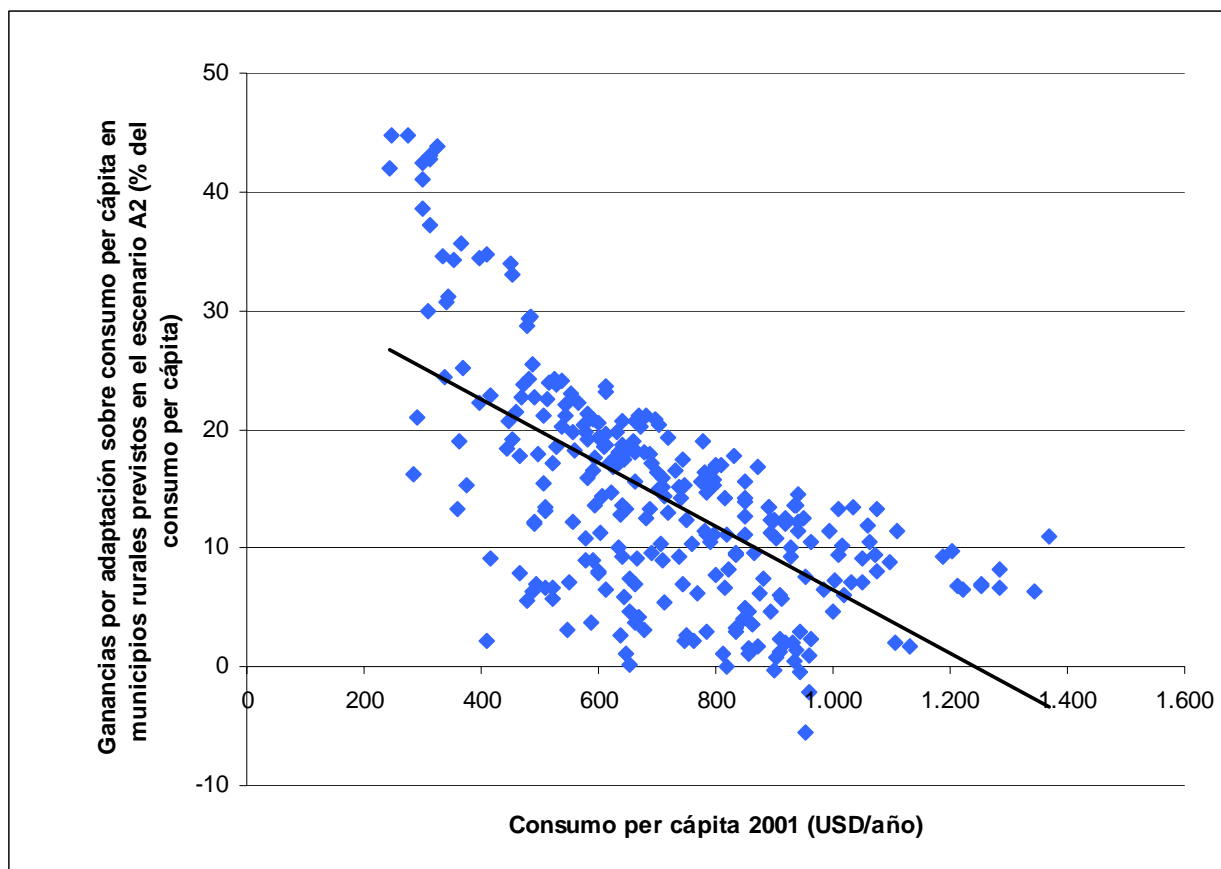
**Fuente:** Estimación propia.

**Nota:** Promedios ponderados por la población municipal de 2001. Solamente hasta municipios 50% rurales incluidos.

Los efectos de la adaptación en el escenario A2 también son bastante heterogéneos, donde en promedio representan el 15% del consumo per cápita nivel nacional, siendo los departamentos de Potosí, Cochabamba, Chuquisaca y La Paz los que mejor adaptación pueden realizar. Mientras que los departamentos con menores niveles de adaptación son los departamentos con mayores niveles de temperatura promedio, Pando, Beni, Santa Cruz y La Paz.



**Gráfico No. 15: Impacto del cambio climático en el escenario A2 sobre consumo rural, por municipio (en porcentaje)**



Fuente: Elaboración propia.

Una vez considerado el efecto de la adaptación, se presenta los resultados netos de la simulación a nivel municipal, departamental y nacional. Manteniendo todos otros factores constantes, el impacto neto del cambio climático (considerando los efectos de adaptación) en el escenario A2 sería una reducción de los ingresos rurales de 4,7% a nivel nacional. Sin embargo, este promedio esconde grandes diferencias entre regiones. Beni y Pando experimentaría pérdidas de cerca de 20% debido a las temperaturas más altas en áreas ya muy calientes, mientras que Oruro podría ganar unos 10% debido a temperaturas más cálidas en una región que ahora es demasiado fría. Potosí también ganaría por el aumento en temperaturas, pero perdería por la reducción en precipitación previsto en el escenario A2 en un departamento de por si muy seco. El efecto neto para Potosí sería una reducción en el nivel promedio de consumo de 7%. Chuquisaca perdería unos 13% debido a cambios adversos en ambos temperaturas y precipitación.



**Cuadro No. 5: Impactos del cambio climático del Escenario A2 sobre el nivel de consumo rural, por departamento y vía de impacto (sin tomar en cuenta la fertilización de CO<sub>2</sub>, considerando los efectos por adaptación)**

Departamento	Por cambio en temperatura	Por cambio en precipitación	Impacto total (USD/persona/año)	Impacto total (%)
Beni	-144	-33	-178	-20
Chuquisaca	-35	-36	-71	-13
Cochabamba	-37	-34	-72	-10
La Paz	20	-7	13	2
Oruro	54	9	63	10
Pando	-162	-8	-170	-18
Potosí	15	-38	-23	-7
Santa Cruz	-98	31	-66	-7
Tarija	-35	-31	-66	-8
Bolivia	-23	-13	-36	-5

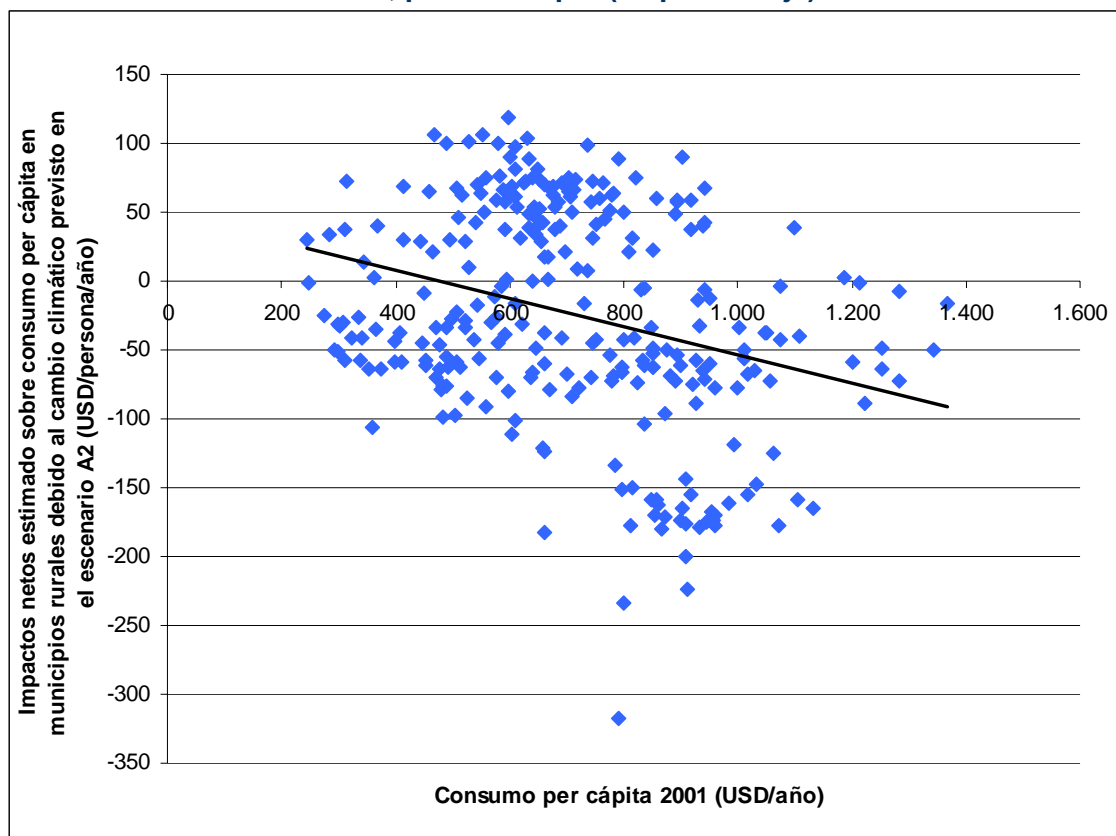
**Fuente:** Estimación propia.

**Nota:** Promedios ponderados por la población municipal de 2001. Solamente municipios 50%-100% rurales incluidos.

El Gráfico No. 5 muestra el impacto neto del cambio climático (medido en USD/persona/año) en todos los municipios rurales de Bolivia contra su nivel inicial de consumo per cápita.



**Gráfico No. 16: Impacto del cambio climático en el escenario A2 sobre consumo rural, por municipio (en porcentaje)**



**Fuente:** Elaboración propia.

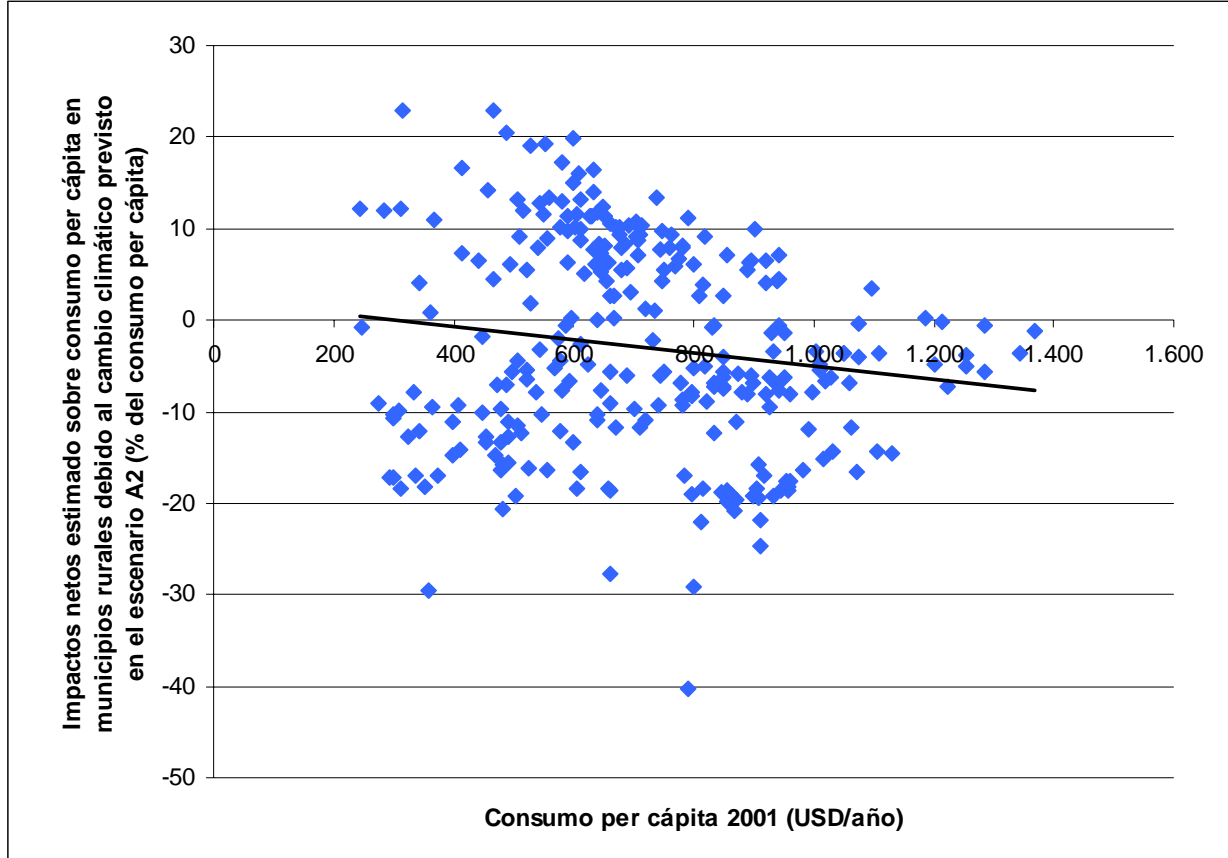
Se nota que existe una correlación negativa ( $\rho = -0.11$ ), lo que implica que los municipios que ahora son más ricos experimentarían un efecto más adverso del cambio climático que los municipios inicialmente más pobres. Esto significa que el cambio climático tendería a reducir la desigualdad entre municipios. Sin embargo, muchos municipios rurales muy pobres verían una reducción de consumo debido al cambio climático esperado en el escenario A2.

El Gráfico No. 17 y el Gráfico No. 18 muestran el impacto del cambio climático (medido como cambio porcentual en el nivel de consumo) en todos los municipios rurales de Bolivia contra su nivel inicial de consumo per cápita.





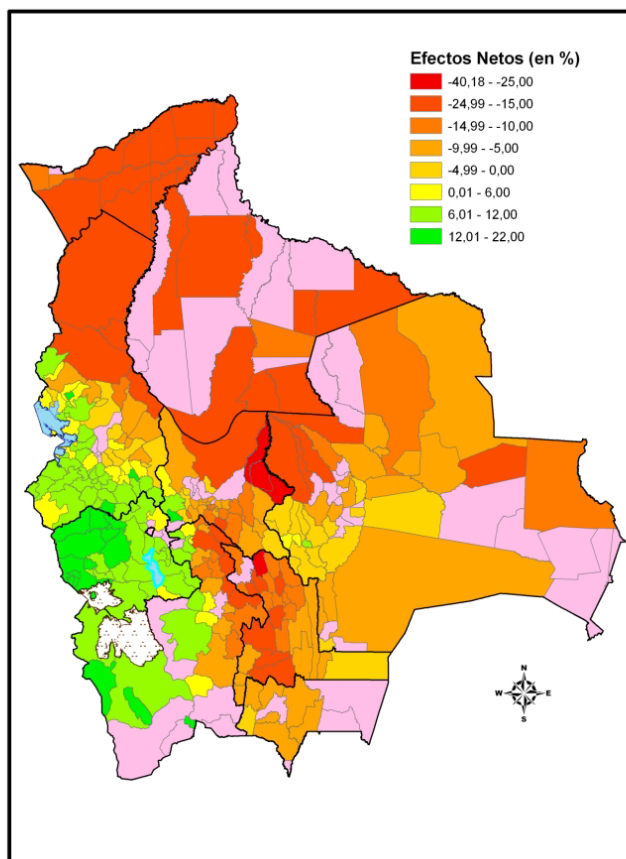
**Gráfico No. 17: Impacto del cambio climático en el escenario A2 sobre consumo rural, por municipio (en porcentaje)**



**Fuente:** Elaboración propia.



**Gráfico No. 18: Impactos netos del cambio climático en el escenario A2 sobre consumo rural, por municipio (en porcentaje)**



**Fuente:** Elaboración propia.

## 5. El efecto de fertilización de CO<sub>2</sub>

Una parte fundamental del cambio climático que hemos ignorado hasta ahora es el aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Dado que estamos analizando específicamente los cambios climáticos que son causados por el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> (y otros gases de efecto invernadero) y no por ninguna otra razón, sería irresponsable ignorar este componente. Como la concentración de CO<sub>2</sub> no varía de un lugar a otro, no se podría incluir este variable en el modelo municipal de la anterior sección ni en los modelos a nivel de cultivos. Sin embargo, existen un gran número de estudios experimentales del efecto de CO<sub>2</sub> sobre los rendimientos de diferentes cultivos, y en este apartado analizamos los que son más relevantes para el caso boliviano, es decir estudios experimentales sobre soya, arroz, maíz y papa, que son los principales cultivos de Bolivia ahora (aunque no necesariamente al final del siglo).



En general, plantas que crezcan en ambientes con mayores niveles de CO<sub>2</sub> en el aire demuestran tasas de fotosíntesis más rápidas, por lo que pueden generar más biomasa. Además, con mayores niveles de CO<sub>2</sub>, las estomas<sup>10</sup> en las hojas tienden a cerrarse, lo que reduce la transpiración y aumenta la eficiencia en el uso de agua. Como consecuencia de estas interacciones, mayores niveles de CO<sub>2</sub> tiende a aumentar el rendimiento de la mayoría de cultivos y plantas silvestres.

Sin embargo, no todas las plantas se benefician de igual fuerza. Soya, junto con 95% de todas las plantas del mundo, fijan el CO<sub>2</sub> por la vía de 3 carbonos (C3), mientras que muchos de los cereales consumidos por los humanos fijan el CO<sub>2</sub> por la vía de 4 carbonos (C4). Varios estudios muestran que las plantas C4 no se beneficiarían tanto por el aumento en CO<sub>2</sub> como las plantas C3 (Kimball *et al.*, 2002; Tubiello & Ewert, 2002; Derner *et al.*, 2003).

### 5.1. Revisión de estudios sobre soya

Los experimentos generalmente consisten en hacer crecer una gran cantidad de plantas de soya durante una temporada y dividirlos en grupos expuestos a diferentes niveles de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, los estudios más interesantes también investigan los efectos interactivos con diferentes temperaturas y diferentes restricciones de agua.

Por ejemplo, en un experimento de Ferris *et al.* (1999), soya fue sembrado en invernaderos con concentraciones de CO<sub>2</sub> de 360 y 700 ppm, respectivamente, y dejaron crecer las plantas por 52 días, antes de exponerlas a diferentes tipos de estrés ambiental durante el periodo clave de crecimiento de las semillas. Para un periodo de ocho días, algunos de las plantas fueron expuestas a temperaturas 15°C mayores que las plantas de control y otro grupo fue expuesto a una sequía con niveles de humedad en el suelo 60% más bajos que los de las plantas de control.

Al final de la temporada midieron la biomasa total y la biomasa de las semillas de los diferentes grupos y encontraron que, en promedio, la biomasa de las plantas expuestas a 700 ppm de CO<sub>2</sub> fue 41% mayores que la biomasa de las plantas expuestas a 360 ppm, y la biomasa de las semillas con altos niveles de CO<sub>2</sub> fue 32% mayores. También encontraron que mayores temperaturas y menor humedad redujeron la biomasa. Adicionalmente, niveles más altos de CO<sub>2</sub> ayudaron a reducir los efectos negativos de altas temperaturas y falta de agua, ya que plantas expuestas a altos niveles de CO<sub>2</sub>, altas temperaturas y poca agua, rindieron 50% más en biomasa de semillas que plantas expuestas a niveles normales de CO<sub>2</sub>, altas temperaturas y poca agua.

---

<sup>10</sup> Las estomas son los pequeños poros de las plantas localizadas en la superficie de sus hojas. Son los principales participantes en la fotosíntesis, ya que por ellos transcurre el intercambio gaseoso mecánico, es decir que en este lugar sale el oxígeno y entra el CO<sub>2</sub>. Sin embargo, su apertura también provoca la pérdida de agua de la planta en forma de vapor a través del proceso denominado transpiración. Por esto, la apertura o cierre de las estomas está muy finamente regulada en la planta por factores ambientales como la luz, la concentración de CO<sub>2</sub> y la disponibilidad de agua. Con mayores niveles de CO<sub>2</sub>, la planta no necesita abrir tanto sus estomas, por lo que se reduce la pérdida de agua por transpiración.



El estudio de Ziska & Bunce (2000) investigaron dos diferentes especies de soya, Ripley y Spencer, durante dos temporadas en cámaras con techo abierta, uno con nivel normal de CO<sub>2</sub> y el otro con niveles 300 ppm mayor que lo normal. Encontraron que Spencer, una variedad de tamaño estándar, respondió mejor a la fertilización de CO<sub>2</sub>, con un crecimiento en biomasa total de 132%, que la variedad más pequeña Ripley, que solamente tenía rendimientos 65% mayores bajo altos niveles de CO<sub>2</sub>. El efecto de fertilización de CO<sub>2</sub> sobre la biomasa de semillas fue 60% y 35%, respectivamente.

Estos resultados sugieren la importancia de la investigación en el desarrollo de semillas que responden favorablemente a la fertilización de CO<sub>2</sub>, ya que puede significar grandes diferencias en los rendimientos futuros.

Sin embargo, Long *et al* (2005) sugiere que los experimentos controlados en invernaderos exageran el efecto de fertilización de CO<sub>2</sub> en comparación con condiciones más realistas en aire libre con competencia fuerte entre cada planta, y Ainsworth y Long (2005) sugiere que las plantas podrían aclimatizarse a concentraciones de CO<sub>2</sub> gradualmente crecientes resultando en menores efectos que mostrados en los experimentos de aumentos grandes.

Travasso *et al* (2007) revisa las experiencias especialmente para la zona de expansión reciente de soya en Brasil, Argentina, Uruguay y Bolivia para calibrar un modelo de crecimiento diario de soya. El estudio encuentra que en el escenario A2, el rendimiento de soya podría aumentar con hasta 62,5% debido a que los efectos positivos de la fertilización de CO<sub>2</sub> y el aumento en precipitación durante primavera y verano más que compensan el efecto negativo de temperaturas más altas. De acuerdo con su modelo, el nivel doble de CO<sub>2</sub> aumentaría la eficiencia de fotosíntesis en la planta de soya en 40%.

### 5.2. Revisión de estudios sobre arroz

Arroz es una planta C<sub>4</sub>, y por eso se podría esperar menor aumentos en productividad que en el caso de soya. Sin embargo, varios estudios muestran aumentos muy grandes por la fertilización de CO<sub>2</sub> para ciertos tipos de arroz. Por ejemplo, Ziska, Manalo & Ordonez (1996) analizó la respuesta de 17 diferentes cultivares de arroz y encontró que unas pocas especies no mostraban aumentos en rendimiento al aumento de CO<sub>2</sub> desde 373 ppm hasta 664 ppm, mientras que el mayor efecto se encontró en un especie de arroz japonico de Brasil que mostró aumentos espectaculares de 265% en biomasa total y de 350% en la biomasa de los granos.

Igualmente, el estudio de De Costa *et al* (2007) estudió 16 diferentes cultivares de arroz en Sri Lanka y encontraron aumentos en productividad en el rango de -5% hasta +320%. Baker (2004) solamente investiga 3 diferentes especies de arroz cultivados en el sur de Estados Unidos y encuentran aumentos en el peso de los granos de 46%, 57% and 71% como respuesta a la duplicación de la concentración de CO<sub>2</sub>. Finalmente, Widodo *et al* (2003) encontraron que



mayores niveles de CO<sub>2</sub> también reducen los efectos negativos de estrés hídrico, como en el caso de soya.

### 5.3. Revisión de estudios sobre maíz

El maíz también es una planta C<sub>4</sub>, y es el cultivo que generalmente muestra menores beneficios del aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> (Parry *et al*, 2004). El estudio de Maroco, Edwards & Ku (1999) muestran aumentos en biomasa de solamente 20% cuando aumentarían la concentración de CO<sub>2</sub> de 350 ppm hasta 1100 ppm. Sin embargo, encontraron que la eficiencia en el uso de agua aumentó en 225% para los altos niveles de CO<sub>2</sub>, lo que significa que el maíz puede tener ventajas en áreas muy áridas como el Altiplano de Bolivia, donde las condiciones para cultivos C<sub>3</sub> no son óptimas.

### 5.4. Revisión de estudios sobre papa

El estudio de Olivo *et al* (2002) es de particular interés para Bolivia ya que compara los efectos de CO<sub>2</sub> sobre papas de tierras altas y de tierras bajas. En experimentos en cámaras abiertas con niveles de CO<sub>2</sub> de 350 ppm y 700 ppm respectivamente, encontraron aumentos en las tasas de fotosíntesis de 56% y 53% para papas de tierra alta y tierra baja, respectivamente. Al mismo tiempo la eficiencia en el uso de agua aumentó con 90% y 80%, respectivamente, y el peso seco de los tubérculos aumentó con 84% y 40%. Esto sugiere que las papas de tierras altas responden igual o mejor a la fertilización de CO<sub>2</sub> que las papas de tierras bajas, de los cuales existen mucho más estudios.

Otro estudio interesante es el de Sicher & Bunce (1999) que hace una investigación en cámaras abiertas durante tres temporadas seguidas. En promedio, la duplicación de CO<sub>2</sub> causó un aumento de las tasas de fotosíntesis de 49%, aunque también demostraron que había un efecto de aclimatización (indicado por una reducción de 21% en la actividad de la enzima RuBisCo), como sugerido por Long *et al* (2005). El efecto total en rendimientos era de 44% más tubérculos y 40% más peso seco de los tubérculos.

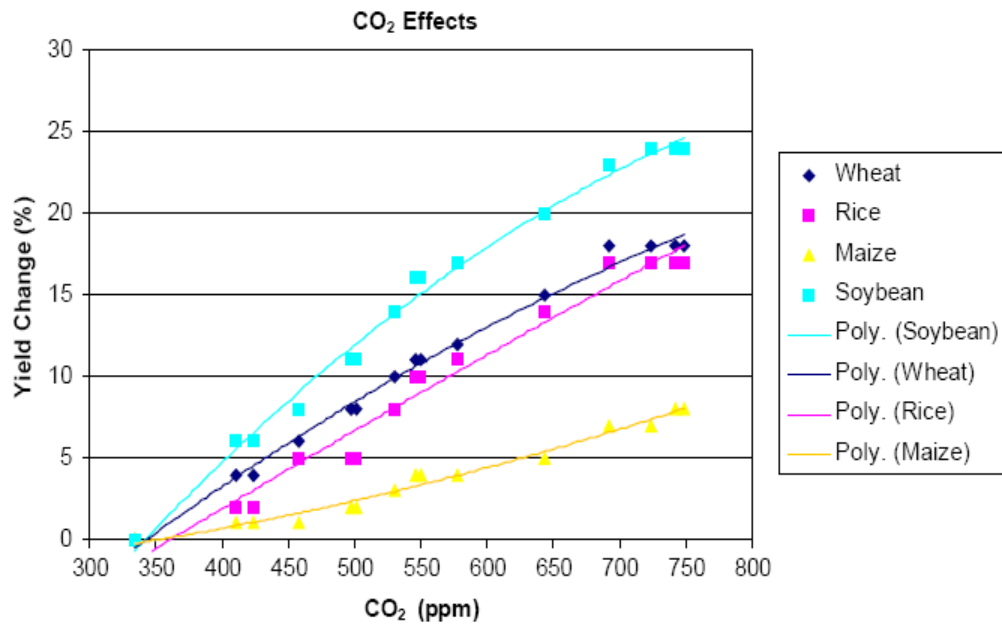
### 5.5. Resumen de los efectos de aumentos en CO<sub>2</sub> en el rendimiento de cultivos

Para un estudio de los efectos del cambio climático sobre la producción global de alimentos, Parry *et al* (2004) usan los aumentos en rendimientos por fertilización de CO<sub>2</sub> mostrados en el Gráfico No. 6. Con aumentos de 7-24% en respuesta a la duplicación de la concentración de CO<sub>2</sub>, estos valores son bastante conservadores a la comparación con los resultados experimentales citados anteriormente. Es porque toman en cuenta las críticas de Long *et al* (2005) y Ainsworth y Long (2005), que sugieren que los resultados de los experimentos en invernaderos no son realistas, ya que no existe el mismo nivel de competencia entre las plantas



como en condiciones de producción agrícola real. Para el presente estudio usamos estas mismas curvas.

**Gráfico No. 19: Impacto del cambio climático en el escenario A2 sobre consumo rural, por municipio (en porcentaje)**

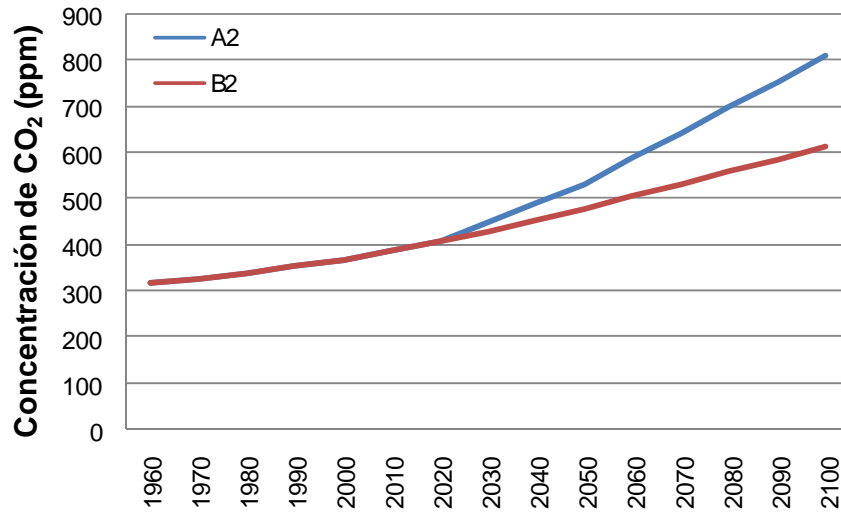


**Fuente:** Parry *et al* (2004).

Las curvas del Gráfico No. 19 se pueden transformar a curvas en el tiempo, usando los aumentos esperados en CO<sub>2</sub> en el transcurso del siglo en los escenarios A2 y B2 (ver el Gráfico No. 20).



**Gráfico No. 20: Concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, escenarios A2 y B2**

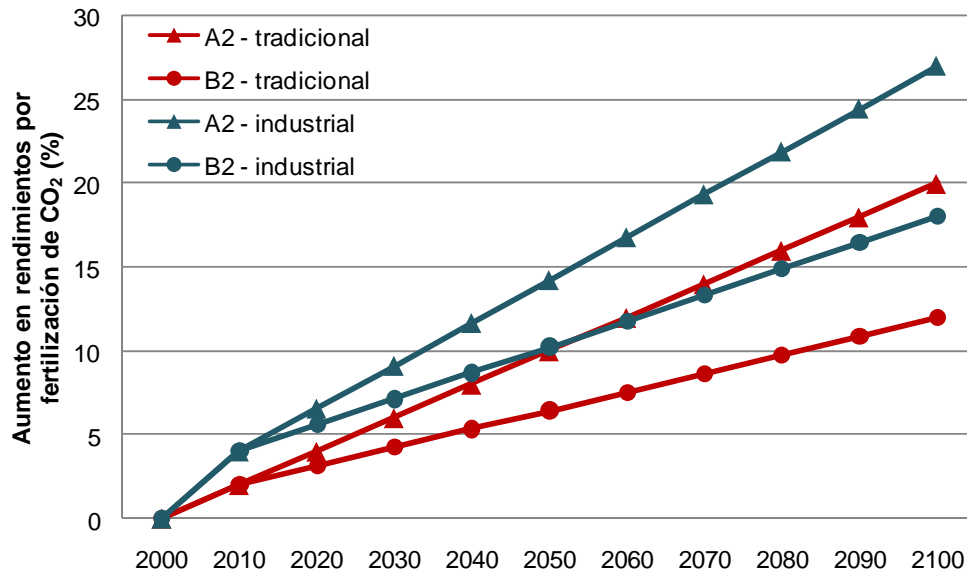


**Fuente:** Escenarios SRES.

Suponemos que la curva de soja es representativa para el sector agropecuario industrial mientras que la curva de arroz es representativa para el sector agropecuario tradicional. Esto nos da las curvas en el Gráfico No. 21 para aumentos de rendimientos en los dos sectores agropecuarios en los dos escenarios, los cuales usamos para la estimación de impactos en la siguiente sección.



**Gráfico No. 21: Aumento en rendimientos agropecuarios por fertilización de CO<sub>2</sub>, escenarios A2 y B2, sectores tradicional y industrial**



Fuente: Elaboración propia.

## 6. El efecto del aumento en eventos climáticos extremos

Arenas (2009) calcula los efectos de los cambios climáticos estimados por el modelo climático PRECIS sobre la ocurrencia de eventos extremos en Bolivia, tomando como referencia los efectos del Niño y la Niña sobre el PIB y sobre el sector agropecuario.

Según las estimaciones de Arenas (2009) los efectos más importantes sobre la ocurrencia de eventos extremos son consecuencia de niveles de precipitación mayores a los promedios observados. Considerando los efectos de estos mayores niveles de precipitación y sus costos en los eventos de la Niña y el Niño para los años 2006 y 2007, calcula el efecto de las variaciones de los niveles de precipitación diaria en el escenario A2 y B2 durante los últimos 30 años de este siglo.

Pudiendo estimar los efectos de las variaciones de precipitación sobre la ocurrencia de eventos extremos y monetizarlos para poder calcular el efecto económico de estos sobre el sector agropecuario, donde obtiene los siguientes resultados:





**Cuadro No. 6: Estimación de daños agropecuario en Bolivia causado por eventos extremos en 2071-2100 (Escenario A2)**

<b>Departamento</b>	<b>% del PIB departamental</b>
Beni	11,09
Chuquisaca	0,91
Cochabamba	0,38
La Paz	0,25
Oruro	0,42
Pando	0,00
Potosí	0,77
Santa Cruz	4,05
Tarja	0,09
Bolivia	1,21

**Fuente:** Arenas (2009)

Como se puede observar en el cuadro anterior, el mayor efecto de los eventos extremos sobre el sector agropecuario esta focalizado en los departamentos de Santa Cruz y Beni, siendo este último el más afectado, con una perdida del 11 % del PIB departamental.

## 7. Simulación de los impactos totales del cambio climático sobre el sector agropecuario

En las anteriores secciones se ha desarrollado todos los componentes que se necesita para hacer un análisis de los impactos del cambio climático sobre el sector agropecuario. En esta sección se junta los componentes para estimar las sendas de costos en los escenarios A2 y B2.

Primero se corrige los impactos sobre el consumo rural a nivel municipal presentado en el Cuadro No. 5, tomando en cuenta que solamente la mitad de los ingresos rurales provienen de actividades agropecuarias, y por ende, solamente la mitad del consumo se afectará por el efecto de fertilización de CO<sub>2</sub>. Suponemos que todos los municipios con niveles de precipitación mayor a 100 cm/año aprovechan la humedad para cultivar plantas C3 (como la soya) y por eso tienen un aumento en rendimientos de 27% en 2100, mientras que los municipios con menos precipitación tienen que usar plantas C4 (como maíz) y solamente tienen un aumento en rendimientos de 20% en 2100.



**Cuadro No. 7: Impactos del cambio climático del Escenario A2 el año 2100 sobre el nivel de consumo rural, por departamento**

Departamento	Efecto bruto de cambios en temperatura y precipitación (% consumo per cápita)	Efecto neto considerando la posibilidad de adaptación (% consumo per cápita)	Efecto neto considerando también el efecto de fertilización de CO <sub>2</sub> (% consumo per cápita)	Efecto neto considerando también el efecto de desastres naturales (% consumo per cápita)
Beni	-26	-20	-7	-18
Chuquisaca	-28	-13	-3	-4
Cochabamba	-26	-10	+1	+1
La Paz	-8	+2	+12	+12
Oruro	-7	10	+19	+18
Pando	-20	-18	-5	-5
Potosí	-34	-7	+3	+3
Santa Cruz	-18	-7	+5	+1
Tarija	-20	-8	+2	+2
Bolivia	-20	-5	+6	+5

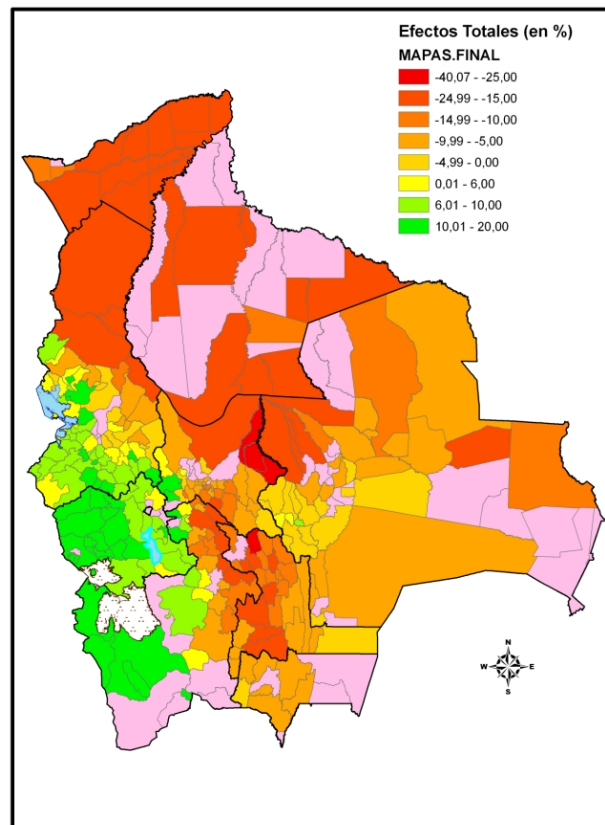
**Fuente:** Estimación propia.

**Nota:** Promedios ponderados por la población municipal de 2001. Solamente municipios 50%-100% rurales incluidos.

El Cuadro No. 7 muestra los impactos sobre el consumo rural. La primera columna muestra los efectos brutos de cambios en temperatura y precipitación, sin tomar en cuenta la posibilidad de adaptación. Este efecto es negativa en todos los departamentos. Sin embargo, en la segunda columna se considera los efectos de adaptación, lo que reduce las pérdidas. En la tercera columna también se toma en cuenta el efecto beneficioso de fertilización de CO<sub>2</sub> y en la última columna también se incluyen los efectos adversos consecuencia de eventos climáticos extremos sobre la producción agropecuaria. A nivel nacional, el impacto final es positivo (+4,7%), sugiriendo que el cambio climático es beneficioso para el sector agropecuario en su conjunto. Es particularmente ventajoso para los departamentos de Oruro y La Paz, que se benefician por aumentos en las temperaturas en zonas muy frías, por el aumento en la precipitación en zonas secas, y por la fertilización de CO<sub>2</sub>. Para el departamento de Potosí no se ve los mismos efectos positivos, ya que la reducción esperada en la precipitación anula los efectos positivos del aumento en temperaturas y fertilización de CO<sub>2</sub>.



**Gráfico No. 22: Efectos totales del CC sobre los municipios rurales como porcentaje del consumo per cápita**



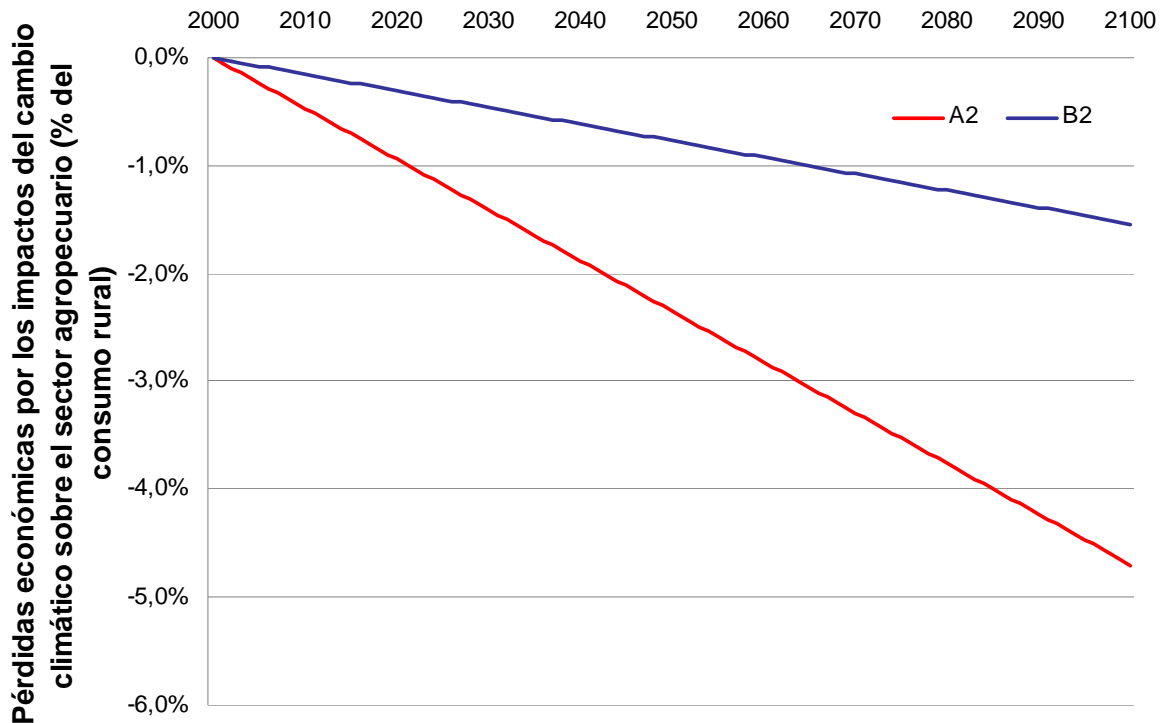
**Fuente:** Elaboración propia.

En Beni y Pando, las simulaciones indican que el efecto negativo del aumento en las ya altos niveles de temperaturas dominan. Además, en Beni el efecto de los desastres naturales es muy fuerte, la simulación indica una pérdida en el orden de 5% para Pando y 18% para Beni. Chuquisaca también experimentaría pérdidas del 4%, por reducciones en precipitación y también como consecuencia de desastres naturales. Finalmente, en el departamento de Santa Cruz, las simulaciones sugieren un efecto neto positivo, que resulta de un efecto negativo del aumento en temperaturas, un efecto positivo por aumentos en precipitación, un efecto positivo por el efecto de fertilización de CO<sub>2</sub> y un efecto negativo consecuencia de más desastres naturales.

Suponiendo que el impacto aumenta linealmente durante el siglo de 0% en 2000 hasta 4,7% del consumo rural en 2100, se puede calcular la senda de costos del cambio climático como se puede observar en el Gráfico No. 23.



**Gráfico No. 23: Costos del cambio climático sobre el sector agropecuario, escenarios A2 y B2 (% del consumo rural)**



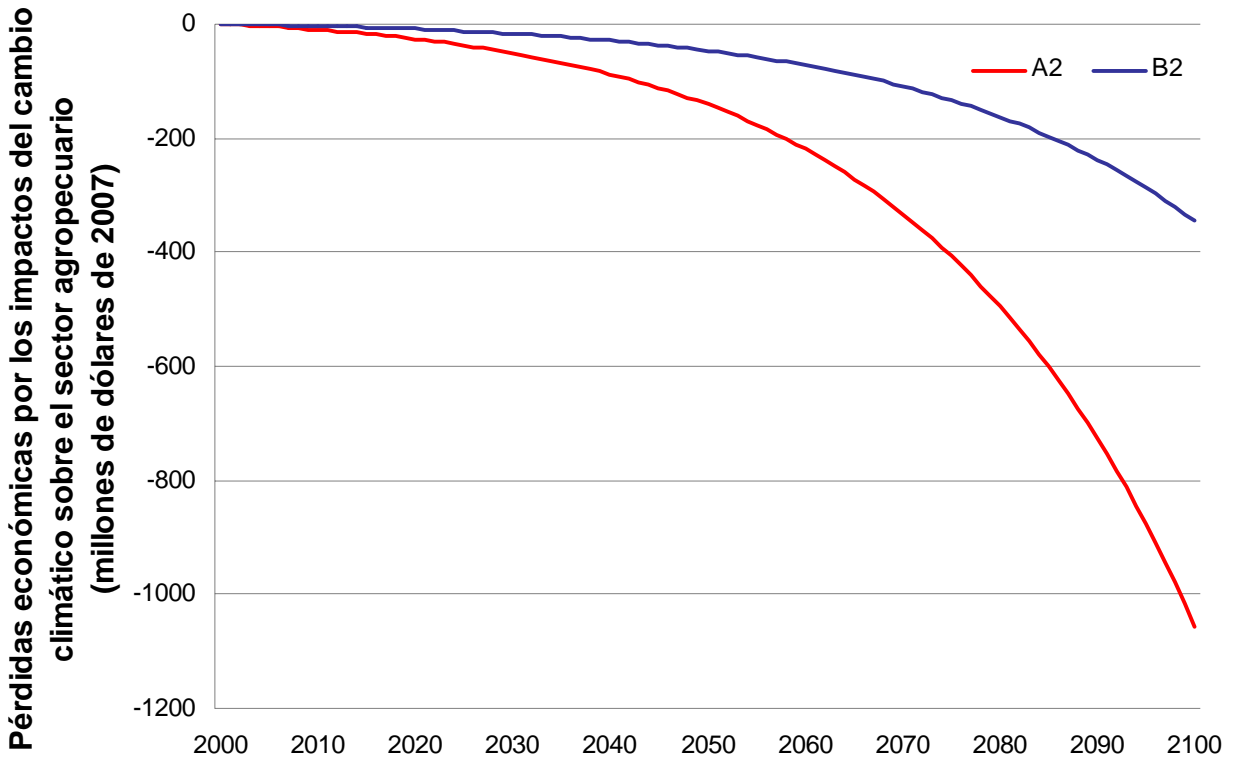
**Fuente:** Elaboración propia.

En el Gráfico No. 24 se observan los beneficios de los efectos del cambio climático sobre el sector agropecuario en los escenarios A2 y B2. Se estima que para el año 2100 los beneficios ascenderían a 1055 millones de US\$ del 2007 en el escenario A2 y 346 millones de US\$ de 2007 en el escenario B2.

Por otro lado, el Gráfico No. 25 presenta los costos negativos del cambio climático sobre el sector agropecuario en porcentaje del PIB para el hasta el año 2100. El PIB para el año 2100 es estimado mediante el modelo de equilibrio general BOLIXXI y los efectos del cambio climático sobre el sector agropecuario serían positivos en un 0,51 % del PIB en el escenario A2 y 0,15 % del PIB en el escenario B2.



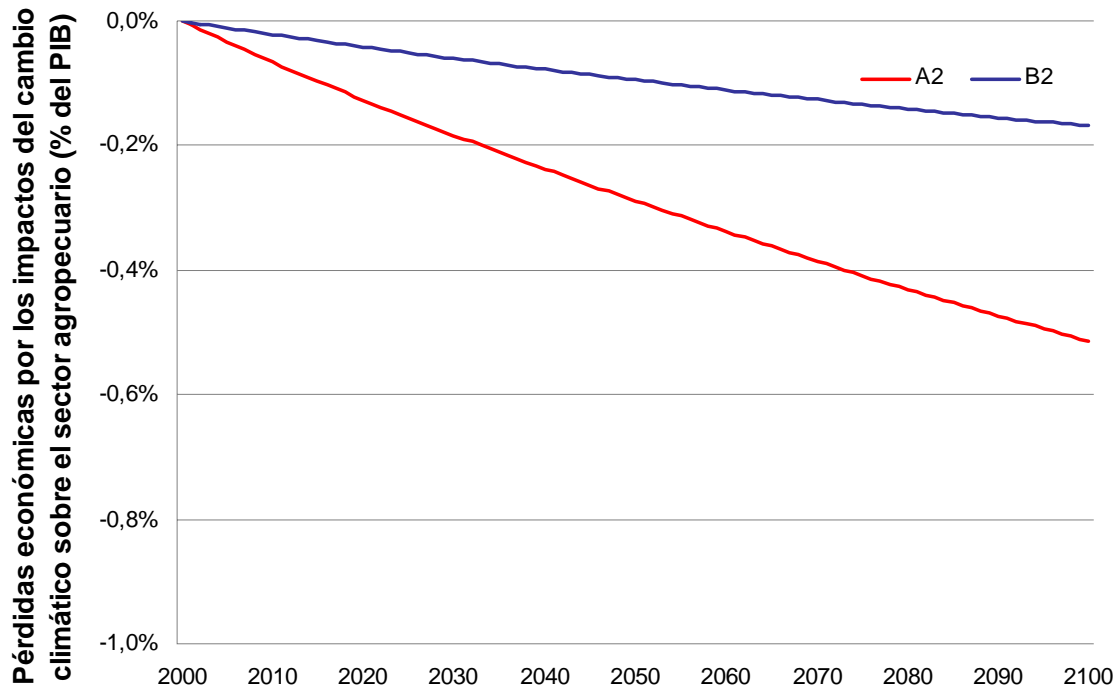
**Gráfico No. 24: Costos del cambio climático sobre el sector agropecuario, escenarios A2 y B2 (millones de dólares de 2007)**



Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico No. 25: Costos del cambio climático sobre el sector agropecuario, escenarios A2 y B2 (% del PIB)**



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 8: Valor neto presente de las pérdidas económicas que Bolivia podría sufrir por los efectos directos de los cambios climáticos previstos en los escenarios A2 y B2 sobre el sector agropecuario, para diferentes tasas de descuento (millones de dólares de 2007)**

Escenario climático	0.5%	2%	4%	6%	12%
A2	-17780	-5858	-1624	-580	-88
B2	-5826	-1919	-532	-190	-29

Fuente: Estimación propia.

Por último en el Cuadro N° 8 se presenta el valor neto presente de las pérdidas económicas acumuladas hasta 2100 de los efectos del cambio climático sobre el sector agropecuario en millones de dólares a diferentes tasas de descuento. Con una tasa de descuento de 0,5% las ganancias serían de 17780 millones de US\$ en el escenario A2 y 5825 millones de dólares en el escenario B2. Por otro lado, con una tasa de descuento del 4% las ganancias del cambio climático serían de 1624 millones de US\$ en el escenario A2 y 532 millones de dólares en el escenario B2. Por último con una tasa de descuento del 12% las ganancias consecuencia del



cambio climático serían de 88 millones de US\$ para el escenario A2 y 29 millones de US\$ para el escenario B2.

## **8. Impactos del cambio climático sobre la vulnerabilidad alimentaria**

En Bolivia el Programa Mundial de Alimentos (PMA) ha desarrollado un análisis de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria y encontró que el 48% de los municipios del país (148 del total) son vulnerables a la inseguridad alimentaria. Considerando estos datos, sin duda la inseguridad alimentaria es un hecho importante y es necesario realizar un análisis acerca de las consecuencias del cambio climático sobre la seguridad alimentaria.

Se considera a la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria como la probabilidad de una disminución aguda en el consumo de alimentos por debajo de ciertos valores críticos. La vulnerabilidad representa “indefensa, inseguridad y exposición a los riesgos, impactos, tensiones y dificultad para enfrentarlos”. De esta manera, la vulnerabilidad no sólo sería el resultado de la exposición a factores de riesgo (sean de origen climático, de política macroeconómica u otros) sino también de procesos socioeconómicos que determinan la incapacidad de la población para enfrentar estos riesgos (PMA, 2002).

Por lo tanto, para poder analizar este hecho se utiliza un modelo logit multinomial para datos ordenados para estimar el efecto sobre la vulnerabilidad alimentaria, donde las variables dependientes son discretas, es decir, asumen un valor que corresponde a una categoría o un estado.

Una vez realizada la regresión se tiene los siguientes resultados:



**Cuadro N° 9: Efectos marginales Análisis Vulnerabilidad Alimentaria Municipal**

Variables Independientes	Modelo VAM						
	Coeficientes	Efectos Marginales					
		1	2	3	4	5	
Tasa de Urbanización 2003	-5.7199 (0.8293262)	*	0.00009	0.11739	1.26142	-1.31332	-0.06557
Educación 2003	-1.5312 (0.1611089)	*	0.00002	0.03142	0.33768	-0.35157	-0.01755
Dummy_4 potencial agrícola	0.6751 (0.304556)	**	-0.00001	-0.01247	-0.15207	0.15564	0.00891
Temperatura media	-0.8730 (0.1414084)	*	0.00001	0.01792	0.19253	-0.20045	-0.01001
Temperatura media 2	0.0315 (0.004583)	*	0.00000	-0.00065	-0.00694	0.00722	0.00036
Des. Estándar Temp. 1961_1990	-2.6843 (0.6900638)	*	0.00004	0.05509	0.59197	-0.61633	-0.03077
Precipitación media CI (cm/año)	(-0.0180182) (0.0042066)	*	0.00000	0.00037	0.00397	-0.00414	-0.00021
Número de Observaciones	327						

Nota: Entre paréntesis la Desviación Estándar.  
 \* Significativo al 1%, \*\* Significativo al 5%, \*\*\* Significativo al 10%

Fuente: Molina et. al (2009).

En el modelo VAM, si la tasa de urbanización aumenta, provoca un incremento de la probabilidad de seguir perteneciendo a los niveles de menor vulnerabilidad y una disminución en la probabilidad de seguir perteneciendo a los niveles más vulnerables.

Un año más de escolaridad, aumenta la probabilidad de seguir perteneciendo a los niveles de menor vulnerabilidad y disminuye la probabilidad de seguir perteneciendo a los niveles de mayor vulnerabilidad.

Contrario a lo esperado, el incremento del potencial agrícola, disminuye la probabilidad de pertenecer a los niveles de menor vulnerabilidad y aumenta la probabilidad de pertenecer a los niveles de mayor vulnerabilidad.

Un incremento en la temperatura media provoca un incremento de la probabilidad de seguir perteneciendo a los niveles de menor vulnerabilidad y una disminución de la probabilidad de seguir perteneciendo a los últimos dos niveles de mayor vulnerabilidad.

Si la temperatura media al cuadrado aumenta, la probabilidad de pertenecer al nivel de menor vulnerabilidad aumenta, sin embargo, para el nivel 2 y 3, ésta probabilidad disminuye y vuelve a aumentar para seguir perteneciendo en los niveles de mayor vulnerabilidad.



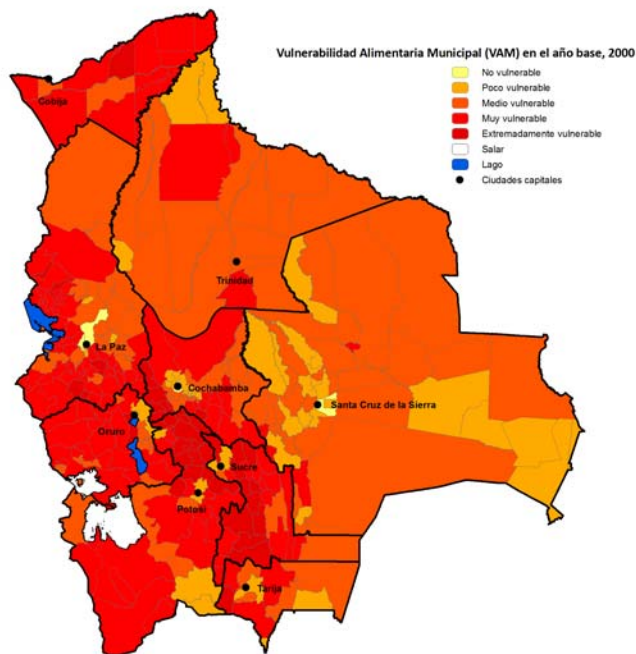


Si aumenta la precipitación media al año, la probabilidad de seguir perteneciendo en los niveles de menor vulnerabilidad aumenta y en los niveles de mayor vulnerabilidad 4 y 5, la probabilidad de seguir perteneciendo en estos niveles disminuye.

### 8.1. Estimaciones

En el año base, en general en todo el país, existe un nivel muy alto de vulnerabilidad alimentaria siendo los municipios con mayor urbanización los menos afectados. Gran parte del oriente tiene una vulnerabilidad media considerablemente menor a la que existe en el occidente.

**Gráfico No. 26: Vulnerabilidad alimentaria municipal (en el año base, 2000)**

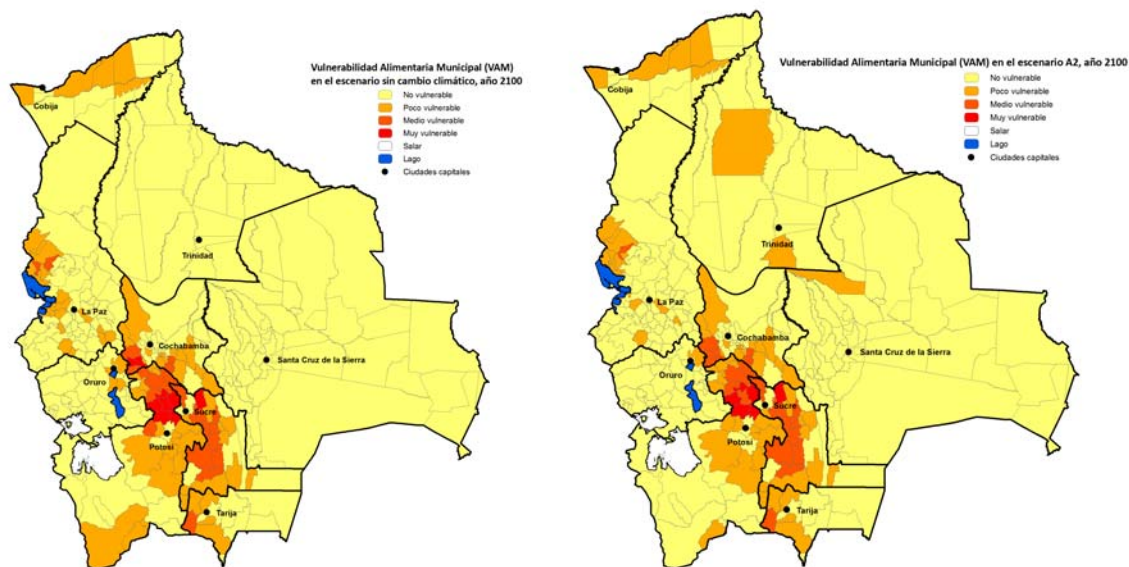


**Fuente:** Elaboración propia.

Para el año 2100 según las estimaciones realizadas por Molina *et al* (2009) se espera que la vulnerabilidad alimentaria disminuya considerablemente, como consecuencia de variables no climáticas (especialmente urbanización y educación promedio). Los departamentos más afectadas son los departamentos de Potosí, Chiquisaca y Cochabamba, mientras que la presencia de municipios con poca vulnerabilidad en La Paz, Oruro, Tarija y Pando será escasa y los municipios de Santa Cruz y Beni ya no sería vulnerables el año 2100.



**Gráfico No. 26: Vulnerabilidad alimentaria municipal para el año 2100 sin y con cambio climático**



**Fuente:** Elaboración propia.

Sin embargo, ante la presencia del cambio climático estimado en el modelo PRECIS para el año 2100, se estima que la vulnerabilidad alimentaria si bien siga siendo baja a nivel nacional, esté presente en todos los departamentos. Los resultados nos indican que el cambio climático no tendría grandes efectos sobre la vulnerabilidad alimentaria, aunque produciría cambios y algunos municipios no afectados se verían afectados, mientras que municipios que estarían afectados ya no se verían afectados como consecuencia de los efectos del cambio climático.

Esta conclusión está en concordancia con el análisis en las anteriores secciones, que mostró que en la gran mayoría de municipios el efecto total del cambio climático sería beneficioso para la producción agropecuaria.

## 9. Conclusiones y recomendaciones

Según las estimaciones desarrolladas en este documento, los impactos del cambio climático serán muy heterogéneos, brindando beneficios a unos y perjudicando a otros. Los impactos de los cambios dependerán del punto de partida, ya que los lugares actualmente fríos (el Altiplano) se beneficiarían por mayores temperaturas, mientras que áreas actualmente calientes (las tierras bajas) se verían perjudicadas por temperaturas aún más altas. La fertilización de CO<sub>2</sub> beneficiará a todo el país, mientras que las inundaciones por precipitaciones fuertes sobre todo afectarán a Santa Cruz y Beni. Los impactos por cambios en precipitación son extremadamente mixtos, pero también muy inciertas.



Los efectos brutos del cambio climático sobre el sector agropecuario serían fuertemente negativas (reduciendo la productividad agropecuaria media en 20%), pero esto no es realista ya que no toma en cuenta la posibilidad de adaptación (cambiar la composición de cultivos) y tampoco toma en cuenta el efecto beneficioso de la fertilización de CO<sub>2</sub>. Cuando se toma en cuenta todos los efectos positivos y negativos y la gran heterogeneidad del país, se encuentran efectos mucho más modestos e incluso positivos a nivel nacional.

Este resultado no alarmista no significa que debemos despreocuparnos por el sector agropecuario. Hay mucho que se puede hacer para mejorar las condiciones para el sector, aprovechando los cambios climáticos positivos y reduciendo los impactos negativos. También sería importante tratar de reducir los enormes impactos ambientales que se prevé con el avance de la frontera agropecuario durante el resto de este siglo. Específicamente, el presente análisis conduce a los siguientes recomendaciones:

- Para aprovechar el aumento inevitable en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, se recomienda un programa de investigación sistemática para identificar cuales especies de cultivos reaccionan mejor a esta fertilización bajo las diferentes condiciones relevantes para Bolivia.
- Para aliviar la falta de lluvia en ciertos lugares que ya sufren sequías frecuentemente, y que probablemente sufrirán más en el futuro, sería necesario aumentar la cobertura de sistemas de riego.
- Para reducir las pérdidas por las inundaciones, que probablemente aumentarán en frecuencia y severidad por los cambios climáticos, es importante mejorar el sistema de planificación territorial y reducir la deforestación ilegal. Se recomienda aprovechar las grandes oportunidades que el mecanismo REDD (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques) pueda brindar a Bolivia para diseñar, financiar e implementar políticas de desarrollo rural que mejoran las condiciones para la población local al mismo tiempo que protegen los bosques, la biodiversidad y los servicios ambientales brindados por ellos.



## 10. Referencias

- Ainsworth, E. A. & S. P. Long (2005) "What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>" *New Phytologist*, **165**: 351-371.
- Andersen, L. E. (2009) "Cambio Climático en Bolivia: Impactos sobre Bosque y Biodiversidad." Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. 11/2009. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Diciembre.
- Andrade, M. (2009) "Cambio Climático en Bolivia: Análisis del clima futuro utilizando el Modelo Regional PRECIS." Documento de Trabajo, UMSA, Laboratorio de Física de la Atmósfera, La Paz, Diciembre.
- Arenas, J. (2009). "El Impacto de los Cambios Climáticos sobre Infraestructura y Transporte en Bolivia" Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. 15/2009. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Diciembre.
- Baker, J.T. (2004) "Yield responses of southern US rice cultivars to CO<sub>2</sub> and temperature." *Agricultural and Forest Meteorology* 122: 129-137.
- Bolivia (2005) Bolivia: Atlas estadístico de Municipios 2005. INE/PNUD, La Paz, Bolivia.
- Cline, W. (2007) "Global warming and agriculture: Impacts estimates by country" Center for global development. PETERSON INSTITUTE FOR FOR INTERNATIONAL ECONOMICS
- De Costa, W.A.J.M., Weerakoon, W.M.W., Chinthaka, K.G.R., Herath, H.M.L.K. and Abeywardena, R.M.I. (2007) "Genotypic variation in the response of rice (*Oryza sativa* L.) to increased atmospheric carbon dioxide and its physiological basis." *Journal of Agronomy & Crop Science* 193: 117-130.
- Derner, J.D., H. B. Johnson, B. A. Kimball, P. J. Pinter Jr, H. W. Polley, C. R. Tischler, T. W. Boutton, R. L. LaMorte, G. W. Wall, N. R. Adam, S. W. Leavitt, M. J. Ottman, A. D. Matthias, T. J. Brooks (2003) "Above- and below-ground responses of C3-C4 species mixtures to elevated CO<sub>2</sub> and soil water availability." *Global Change Biology* 9: 452-460.
- Ferris, R., Wheeler, T.R., Ellis, R.H. and Hadley, P. (1999) "Seed yield after environmental stress in soybean grown under elevated CO<sub>2</sub>." *Crop Science* 39: 710-718.
- INE (2008) Bolivia: Anuario Estadístico 2008. Instituto Nacional de Estadísticas, La Paz, Bolivia. CD-ROM.
- INE, UDAPE con Asistencia del Banco Mundial (2006)." Pobreza y desigualdad en municipios de Bolivia: Estimación del gasto de consumo combinado el censo 2001 y las encuestas de hogares" Segunda edición.
- Jemio, L. C & L. E. Andersen (2009) "La Economía Boliviana en el Siglo XXI: Un escenario base elaborado con la ayuda de un Modelo de Equilibrio General Computable (BOLIXXI)." Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. 10/2009. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Diciembre.
- Kimball, B.A., K. Kobayashi, M. Bindi (2002) "Responses of agricultural crops to free-air CO<sub>2</sub> enrichment." *Advances in Agronomy* 77: 293-368.



- Kurukulasuriya P. & Mendelsohn R. (2008) "Crop switching as a strategy for adapting to climate change": AfJARE Vol 2 No 1
- Long, S. P., E. A. Ainsworth, A. D. B. Leakey & P. B. Morgan (2005) "Global food insecurity: Treatment of major food crops with elevated carbon dioxide or ozone under large-scale fully open-air conditions suggests recent models may have over-estimated future yields," *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 360(1463): 2011-2020.
- Maroco, J.P., Edwards, G.E. and Ku, M.S.B. (1999) "Photosynthetic acclimation of maize to growth under elevated levels of carbon dioxide." *Planta* 210: 115-125.
- Mearns L., C. Rosenzweig & R. Goldberg (1997) "Mean and variance change in climate scenarios: Methods, agricultural applications, and measures of uncertainty." *Climatic Change* 35: 367-396.
- Mendelsohn, R. (2000) "Efficient adaptation to climate change." *Climatic Change* 45: 583-600.
- Mendelsohn, R., W. Norrison, M. Schlesinger & N. Andronova (2000) "Country specific market impacts of climate change." *Climatic Change* 45: 553-569.
- Mendelsohn R., Basit A., Kurukulasuriya P. & Dinar A. (2007) "Climate and rural income". *Climatic Change* 81: 101-118
- Molina O., Almanza A. & De Ferrari P. (2009). "El Impacto de los Cambios Climáticos sobre la Salud en Bolivia: Estimación de Costos y Beneficios hasta 2100" Documento de Trabajo sobre el Desarrollo No. 14/2009. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, La Paz, Bolivia, Diciembre.
- Morales R., Galoppo E., Jemio L., Choque M. & Morales N. (2000) "Bolivia: Geografía y Desarrollo Económico". Inter-American Development Bank. Research Network Working paper #R-387
- Olivo, N., C. A. Martinez, & M. A. Oliva (2002) "The photosynthetic response to elevated CO<sub>2</sub> in high altitude potato species (*Solanum curtilobum*)." *Photosynthetica* 40: 309-313.
- Parry, M.L., C. Rosenzweig, A. Iglesias, M. Livermore & G. Fischer (2004) "Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios." *Global Environmental Change*, 14: 53-67, doi:10.1016/j.gloenvcha.2003.10.008.
- Programa Mundial de Alimentos-PMA (2002) "Análisis y cartografía de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria en Bolivia.
- Seo, N. & R. Mendelsohn (2008) "An analysis of crop choice: Adapting to climate change in South American farms" . *Ecological Economics* 67: 109-116.
- Seo, N. & R. Mendelsohn (2007) "A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on Latin American Farms, World Bank, Working Paper 4163.
- Seo, N. & R. Mendelsohn (2008) A Structural Ricardian Analysis of Climate Change Impacts and Adaptations in African Agriculture World Bank, Working Paper 4603.
- Sicher, R.C. & J. A. Bunce (1999) "Photosynthetic enhancement and conductance to water vapor of field-grown *Solanum tuberosum* (L.) in response to CO<sub>2</sub> enrichment." *Photosynthesis Research* 62: 155-163.
- Travasso, M. I., G. O. Magrin, W. E. Baethgen, J. P. Castaño, G. R. Rodriguez, J. L. Pirez, A. Gimenez, G. Cunha & M. Fernandez (2007) "Maize and soybean cultivation in southeastern South America: Adapting to Climate Change." Capítulo 19 en: N. Leary, J.



- Adejuwon, V. Barros, I. Burton, J. Kulkarni & R. Lasco (2007) *Climate Change and Adaptation*. Earthscan Publications.
- Tubiello, F. N. & F. Ewert (2002) "Simulating the effects of elevated CO<sub>2</sub> on crops: approaches and applications for climate change." *European journal of agronomy*, 18(1): 57-74.
- UDAPE (2004) "Sector Agropecuario Bolivia: 1980-2004"
- UDAPE Dossier de Estadísticas en [www.udape.gov.bo](http://www.udape.gov.bo)
- Van Damme P. (2001) "Disponibilidad, uso y calidad de los recursos hídricos en Bolivia". Comisión para la Gestión Integral de Agua en Bolivia & CONIAG.
- Widodo, W., Vu, J.C.V., Boote, K.J., Baker, J.T. and Allen Jr., L.H. (2003) "Elevated growth CO<sub>2</sub> delays drought stress and accelerates recovery of rice leaf photosynthesis." *Environmental and Experimental Botany* 49: 259-272.
- Ziska, L.W. and Bunce, J.A. (2000) "Sensitivity of field-grown soybean to future atmospheric CO<sub>2</sub>: selection for improved productivity in the 21st century." *Australian Journal of Plant Physiology* 27: 979-984.
- Ziska, L.H., Manalo, P.A. and Ordóñez, R.A. (1996) "Intraspecific variation in the response of rice (*Oryza sativa* L.) to increased CO<sub>2</sub> and temperature: growth and yield response of 17 cultivars." *Journal of Experimental Botany* 47: 1353-1359.



## Anexo

En este anexo consideraremos el desarrollo del modelo de elección de cultivo en base a la ECH 2003-2004. Considerando que dentro de los estudios destinados a comprender el efecto del cambio climático (CC) sobre el sector agropecuario, quizás una de las partes más importantes es el análisis de los efectos del CC sobre la decisión de producción por parte de los productores agropecuarios.

También hay que considerar que este sector es uno de los sectores más dependientes y vulnerables a los efectos del CC es el sector agropecuario, por la dependencia de la producción ante las variables climatológicas.

Cambios en la temperatura y las precipitaciones, como así también en la variabilidad y intensidad de los mismos tendrán efectos directos en la producción agrícola. Así también los incrementos y variaciones en la temperatura producirán modificaciones en otros parámetros meteorológicos. Lo que expone a los cultivos a diferentes condiciones ambientales, las cuales también modificarían el entorno biológico (Villalobos & Retana, 1999), modificando la forma de vida y producción de los productores agrícolas.

### 1.1. Teoría

El logit multinomial constituye un modelo de elección discreta que ha encontrado diversas aplicaciones en aquellos contextos en los que la variable dependiente representa una elección, como, por ejemplo, la elección de carrera profesional, el voto electoral o la elección de medios de transporte. En el contexto particular de elección de cultivos este modelo se ha utilizado en muchos estudios entre los que destacan: Mendelsohn et al, 2000; Seo & Mendelsohn, 2007; Seo & Mendelsohn, 2008; Kurukulasuriya & Mendelsohn, 2008; Seo et al, 2008

Se toma como el cultivo más importante ( en tierra utilizada) como dado y se supone que los productores son maximizadores de su función de ingreso, este supuesto nos dice que la producción es eficiente. Entonces se puede categorizar a los productores en n diferentes categorías

La probabilidad de elegir un tipo de cultivo depende de rendimiento  $V(Z_{ji})$ ,d el cultivo  $j$  ( $j=1,2,\dots,J$ ):

$$\Sigma_{ji} = V(Z_{ji}) + \Sigma_{ji}$$

Donde  $Z$  es un vector de las variables independientes que incluye muchas variables, entre las que destacan las variables climáticas, como temperatura y precipitación. La ecuación anterior depende de dos componentes, un componente observable  $V$  y un componente no observable de



error. Este último es desconocido para el investigador, pero quizás sea conocido para el productor agropecuario.

El productor elige la combinación de cultivos que mayores ganancias le genere, el productor elige el cultivo  $j$  sobre los demás si :

$$\pi^*(Z_{ji}) > \pi^*(Z_{ki}) \text{ para todo } k \neq j$$

La probabilidad  $P_{ij}$  para elegir el cultivo  $j$ :

$$P_{ij} = \Pr [ \varepsilon_k - \varepsilon_j < V_j - V_k ] \text{ para todo } k \neq j \text{ donde } V_j = V(Z_{ji})$$

Si se asume que  $\varepsilon$  esta independientemente distribuido y con una distribución Gumble igual, la probabilidad de que un productor agropecuario elija el cultivo  $j$  es.

$$P_{ji} = \frac{\exp( Z_{ji} \gamma_j )}{\sum_{k=1}^J \exp( Z_{ki} \gamma_k )}$$

## 1.2. Descripción de los Datos

La base de datos utilizada en este estudio es la Encuesta Continua de Hogares 2003-2004 construida por el Instituto Nacional de Estadística (INE), el INE realiza encuestas de hogares desde 1989 en las ciudades principales y desde 1996 a nivel nacional. Sin embargo, la encuesta 2003-2004 tiene una característica especial, ya que es la única realizada de manera continua, por lo cual se considera este tipo de encuestas más representativas especialmente a nivel rural, teniendo en cuenta la estacionalidad de la producción agropecuaria.

Adicionalmente se incluyo variables climatológicas a nivel municipal, con datos acerca de la temperatura promedio, precipitación promedio desviación estándar de la temperatura y precipitación. Así también se incluyen variables que tienen que ver con características municipales como ser potencial agrícola, forestal, altura, tasa de mortalidad entre otras.

En la encuesta de hogares 2003-2004, se cuenta con 1677 hogares con producción agropecuaria, de los cuales se tiene información acerca de las características de su producción agropecuaria para el año anterior (12 meses). Sin embargo después de corregir los datos y limpiar de las observaciones con datos erróneos o incompletos, se pudo obtener 1638 hogares.

De estos hogares se puede observar en la tabla 1 que en promedio los productores agropecuarios a nivel hogares en Bolivia tienen 4 cultivos donde la observación mínima es obviamente 1 cultivo y la máxima es 13 cultivos, por último la mediana es de 3 cultivos por unidad de producción. También se observa que en promedio los productores tienen 2 hectáreas cultivadas, donde la observación mínima es de 2 metros cuadrados, la observación máxima es de 100 Has. y la mediana es de aproximadamente 1 Ha. Por otro lado en promedio las familias productoras





agropecuarias tiene 4,5 miembros por familia, la observación máxima es de 17 miembros en una familia y la mediana es de 4 miembros por familia.

**Cuadro Nº 1. Datos estadísticos productores agropecuarios**

Variable	Media	Mínima	Máxima	Mediana
<b>Número de cultivos</b>	3,58	1,00	13,00	3,00
<b>Hectáreas Cultivadas</b>	2,00	0,00	100,00	0,97
<b>Número de miembros en la familia</b>	4,56	1,00	17,00	4,00

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ECH 03-04.

Sin embargo, es importante realizar un análisis diferenciado considerando la variabilidad de las características físicas, climáticas y culturales entre las regiones en Bolivia. Por lo cual se realiza un análisis parecido al anterior, pero considerando las 3 regiones en Bolivia<sup>11</sup> en la siguiente tabla.

**Cuadro Nº 2. Datos estadísticos productores agropecuarios por regiones**

	Media	Mínima	Máxima	Mediana
<b>Altiplano</b>				
<b>Número de cultivos</b>	3,31	1,00	11,00	3,00
<b>Hectáreas Cultivadas</b>	0,81	0,00	11,50	0,29
<b>Número de miembros en la familia</b>	4,05	1,00	14,00	4,00
<b>Valle</b>				
<b>Número de cultivos</b>	3,86	1,00	13,00	3,00
<b>Hectárea Cultivadas</b>	1,55	0,00	40,00	0,89
<b>Número de miembros en la familia</b>	4,53	1,00	12,00	4,00
<b>Llano</b>				
<b>Número de cultivos</b>	3,57	1,00	12,00	3,00
<b>Hectáreas Cultivadas</b>	4,37	0,00	100,00	2,10
<b>Número de miembros en la familia</b>	5,32	1,00	17,00	5,00

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ECH 03-04.

Como se observa en la tabla 2 la diversificación de cultivos es general entre las tres regiones, se esperaba que sea los valles y llanos especialmente, las regiones con menores grados de diversificación gracias a las características propias de esas regiones, sin embargo se encontró que en general las 3 regiones diversifican den igual medida, tanto en la media como en la mediana las variaciones no son muy significativas y en promedio se tiene 3 cultivos por familia.

<sup>11</sup> La diferenciación de Regiones, esta realizada aunque no correctamente por Departamentos, donde se considera altiplano a La Paz, Oruro, Potosí, valle a Cochabamba, Chuquisaca y Tarija y llano a Santa Cruz, Beni y Pando



Así también las diferencias entre el número de miembros por región son muy pequeñas, por ejemplo en el altiplano en promedio se tiene 4 miembros por hogar, en el valle 4,5 y en los llanos 5, la mediana muestra la misma tendencia.

Por último, las diferencias en cuanto a tenencia de tierra si son grandes y observables, por ejemplo en promedio en el altiplano se tiene 0.81 Has. por familia, en el valle se tiene 1.53 Has. por familia y en los llanos se tiene 4.37 has. por familia, es decir en los llanos se tiene 5 veces más tierra que en el altiplano y 2,8 veces más que en los valles. Si uno observa la mediana antes que la media los datos de tenencia son parecidos, en el altiplano la mediana es 0.29 Has. por familia, en los valles 0.89 y en los llanos 2.10, lo que nos da una relación de tenencia de tierra entre los llanos y el altiplano de 7.3 veces y entre los llanos y los valles de 2.3 veces.

Para realizar el análisis logit multinomial, se procedió a calcular el tipo de cultivo a nivel agregado más cultivado (en uso de tierra) por la familia, considerando al cultivo más importante como el cultivo que representa una mayor parte de la superficie cosechada, teniendo en cuenta que los hogares maximizan su producción y que realizan la distribución de su tierra entre los diferentes cultivos, considerando los costos e ingreso, beneficios y limitaciones de esa distribución, por lo cual considerar que los productores maximizan su producción no es un supuesto irracional. Es también importante mencionar que para el estudio multinomial logit se omitieron a los hogares donde la superficie utilizada para la producción total de cultivos no supere los 100 metros cuadrados.

Con lo que se obtiene los siguientes datos acerca de los principales cultivos para las familias agro productoras, como se menciono antes la agregación de cultivos se hace a nivel agregado tomando en cuenta la gran cantidad de cultivos existentes.

**Cuadro Nº 3. Producción por tipo de cultivos**

Cultivo	Región				
	Altiplano	Valle	Llano	Total	%
<b>CEREALES</b>	151	335	274	760	47,95
<b>CEREALES &amp; FORRAJES</b>	1	9	0	10	0,63
<b>CEREALES &amp; FRUTAS</b>	0	2	6	8	0,50
<b>CEREALES &amp; HORTALIZAS</b>	1	3	6	10	0,63
<b>CEREALES &amp; INDUSTRIAL</b>	0	2	1	3	0,19
<b>CEREALES &amp; TUBERCULOS</b>	25	22	15	62	3,91
<b>ESTIMULANTES</b>	28	3	0	31	1,96
<b>FLORES</b>	0	1	0	1	0,06
<b>FLORES &amp; TUBERCULOS</b>	0	1	0	1	0,06
<b>FORRAJES</b>	14	13	0	27	1,70
<b>FORRAJES &amp; TUBERCULOS</b>	8	0	0	8	0,50
<b>FRUTAS</b>	12	33	33	78	4,92
<b>FRUTAS &amp; TUBERCULOS</b>	0	0	6	6	0,38
<b>HORTALIZAS</b>	43	39	30	112	7,07



<b>HORTALIZAS &amp; TUBERCUL</b>	9	6	0	15	0,95
<b>INDUSTRIALES</b>	0	9	21	30	1,89
<b>MAS DE 3 CULTIVOS</b>	3	5	6	14	0,88
<b>TUBERCULOS</b>	272	119	18	409	25,80
<b>TOTAL</b>	<b>567</b>	<b>602</b>	<b>416</b>	<b>1585</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ECH 03-04.

Como se puede observar en la tabla anterior, la mayoría de los productores se dedica especialmente a producir cereales (48%), seguido de tubérculos (26%) y hortalizas (7%), como los cultivos más importantes, las demás agregaciones de cultivos tienen muy poca participación. En un análisis a nivel regional, cabe destacar que en el altiplano los cultivos de tubérculos son los más cultivados, seguidos de cereales y hortalizas, en el valle los cultivos más importantes son cereales, seguido por tubérculos y hortalizas, mientras que en los valles los cultivos más importantes son cereales, frutas y hortalizas.

Los hogares que tienen más de un cultivo como cultivos importantes tienen poca relevancia dentro de las familias productoras. Solamente 141 familias dentro de las 1638 se dedican a producir en la misma cantidad de terreno 2 o más grupos de cultivos. Por lo cual para el análisis multinomial logit se realizara para los siguientes grandes agregados de cultivos:

**Cuadro Nº 4. Cultivos más importantes**

<b>Cultivo más importante</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Cereales</b>	760	56,6
<b>Otros</b>	61	4,5
<b>Hortalizas</b>	112	8,3
<b>Tubérculos</b>	409	30,5
<b>Total</b>	<b>1342</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ECH 03-04.

Después de toda la depuración como se observa en el cuadro anterior se obtuvieron 1384 hogares, divididos en Cereales, Hortalizas, Tubérculos y otros, que comprende a Estimulantes, Frutas e Industriales. De estos se puede obtener los siguientes datos con los que se puede ver la forma y distribución de las producción agrícola entre las distintas temperaturas y precipitaciones



**Cuadro N° 5. Cultivos por temperatura y precipitación promedio**  
**TEMPERATURA MEDIA**

	Menor de 8,7 °C		Entre 8,7 °C y 15,6 °C		Entre 15,6 °C y 24,4 °C		Mayor a 24,3 °C	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
<b>Cereales</b>	87	<b>24,17</b>	148	<b>53,43</b>	313	<b>66,74</b>	212	<b>89,83</b>
<b>Otros</b>	2	<b>0,56</b>	2	<b>0,72</b>	45	<b>9,59</b>	12	<b>5,08</b>
<b>Hortalizas</b>	28	<b>7,78</b>	27	<b>9,75</b>	51	<b>10,87</b>	6	<b>2,54</b>
<b>Tubérculos</b>	243	<b>67,50</b>	100	<b>36,10</b>	60	<b>12,79</b>	6	<b>2,54</b>
<b>TOTAL</b>	360	<b>100,00</b>	277	<b>100,00</b>	469	<b>100,00</b>	236	<b>100,00</b>

**PRECIPITACION MEDIA**

	Menor de 57,3 cm./año		Entre 57,3 y 62,6 cm./año		Entre 68,6 y 103,3 cm./año		Mayor 103,3 cm./año	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
<b>Cereales</b>	212	<b>41,41</b>	80	<b>62,99</b>	178	<b>52,20</b>	290	<b>80,11</b>
<b>Otros</b>	0	<b>0,00</b>	1	<b>0,79</b>	19	<b>5,57</b>	41	<b>11,33</b>
<b>Hortalizas</b>	57	<b>11,13</b>	17	<b>13,39</b>	29	<b>8,50</b>	9	<b>2,49</b>
<b>Tubérculos</b>	243	<b>47,46</b>	29	<b>22,83</b>	115	<b>33,72</b>	22	<b>6,08</b>
<b>TOTAL</b>	512	<b>100,00</b>	127	<b>100,00</b>	341	<b>100,00</b>	362	<b>100,56</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ECH 03-04.

Estos datos se obtuvieron sacando cuartiles de la distribución de la temperatura y precipitación, con los cuales se pudo observar que es en los lugares más fríos donde se cultiva especialmente tubérculos y cereales, en el segundo cuartil de temperatura se cosecha en orden de importancia cereales y tubérculos, en el tercer cuartil se cultiva especialmente cereales, seguido de tubérculos y hortalizas, mientras que en el último cuartil se cultiva sobretodo cereales seguido de otros.

Teniendo en cuenta la precipitación, en los lugares más secos, el primer cuartil, se cultiva tubérculos y cereales, en el segundo cuartil de precipitaciones se cultiva cereales, tubérculos y hortalizas, en el tercer cuartil se cultiva cereales y tubérculos por último en el último cuartil se cultiva cereales y otros.

Esta tabla muestra la distribución de los cultivos, aunque los datos no nos dan una pequeña muestra de la distribución de productos entre los diferentes temperaturas y niveles de precipitaciones se observa que la producción de cereales se encuentra presente entre todos los rangos de temperatura y precipitación, pero especialmente en los lugares con mayor temperatura y precipitación. Los tubérculos se encuentran presentes en las regiones más frías, pero se encuentra presente en todos los cuartiles de precipitación.

¿Que nos dice estos datos? Estos datos nos muestran algunas tendencias de producción de los diferentes tipos de cultivos, por ejemplo, la producción de tubérculos y hortalizas tienen características similares, los dos tienden a concentrarse especialmente en lugares fríos y secos.



Por otro lado los cereales tienden a cultivarse en lugares calidos y húmedos, aunque se encuentra producción de cereales en todas las temperaturas y precipitaciones. La producción de otros se encuentra especialmente en lugares calidos y húmedos.

### 1.3. Resultados del modelo

Como se observo en la sección anterior la producción de los diferentes tipos de cultivos se realiza en cierta forma dentro de una estructura especializada de temperatura y precipitación, aunque las observaciones estén presentes en todas las opciones de temperatura y precipitación.

**Cuadro N° 6. Cultivos más importantes**

Cultivo más importante	Frecuencia	Porcentaje
Cereales	760	56,6
Otros	61	4,5
Hortalizas	112	8,3
Tubérculos	409	30,5
<b>Total</b>	<b>1342</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ECH 03-04.

Como se observa en la cuadro 6 el cultivo con mayor presencia dentro de la muestra de la base de datos, es el cultivo de cereales, esto como consecuencia de su vulnerabilidad y de la variedad de cultivos dentro de este grupo y sus diferentes características, seguido por tubérculos, que tienden a estar presentes especialmente en los lugares fríos y secos, hortalizas con características similares y posteriormente otros que son característicos de lugares calidos y húmedos.

Dentro de las variables explicativas se encuentran temperatura, temperatura al cuadrado, precipitación, precipitación al cuadrado, la desviación estándar respecto de la media para la temperatura, desviación estándar respecto de la media para precipitación, potencial agrícola, pecuario, probabilidad de heladas, número de miembros dentro del hogar, número de miembros hombres dentro del hogar, educación máxima en el hogar y educación máxima al cuadrado, características de producción agrícola como es el número de personas que trabajan activamente en la producción, variables dummy de uso de asistencia técnica, fertilizantes, pesticidas, maquinaria y el número de hectáreas cultivadas.



**Cuadro N° 7. Resultados del modelo**

Variables	Otros	Hortalizas	Tubérculos
<i>Temp. media</i>	-0,57	-0,70 **	-0,46 **
<i>Temp. media</i> <sup>2</sup>	0,01	0,02 **	0,00
<i>Precipitación</i>	0,14	0,01	0,04 **
<i>Precipitación</i> <sup>2</sup>	0,00	0,00 *	0,00 **
<i>Sd Temperatura</i>	1,51	-1,68	2,75 ***
<i>Sd Precipitación</i>	0,61	-0,07	-0,22
<i>Potencial Agrícola</i>	0,64	0,05	0,37 **
<i>Potencial Forestal</i>	-0,05	-0,17	0,21
<i>Probabilidad de Heladas</i>	0,86 *	0,46 *	0,04
<i>Número de miembros en el hogar</i>	-0,37 ***	0,03	-0,04
<i>Número de miembros hombres en el hogar</i>	0,39 ***	-0,05	0,08
<i>Educación máxima en la familia</i>	0,16	0,14	0,09
<i>Educación máxima en la familia</i> <sup>2</sup>	0,00	-0,01	0,00
<i>Personas empleadas en producción agrícola</i>	0,02	0,00	-0,02
<i>Asistencia técnica</i>	1,15 *	0,33	-0,06
<i>Uso de Fertilizantes</i>	0,09	0,45	0,14
<i>Uso de pesticidas</i>	1,36	1,33 ***	0,62 **
<i>Uso de Maquinaria</i>	0,52	0,39	0,14
<i>Hectáreas Cultivadas</i>	-0,28	-0,38 ***	-0,36 ***
<i>Constante</i>	-12,69 **	2,66	-1,15

Nota. Categoría base: Cereales \*\*\*significativo al 1% \*\*significativo al 5% \*significativo al 10%  
Pseudo R2=0,30 Log likelihood=-1384,80  
Numero de Observaciones=1342

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos de la ECH 03-04.

Como se observa en el cuadro N° 7 nos muestra que las variables climáticas son importantes en la decisión de los hogares de que producir, todas las categorías consideran por lo menos a alguna variable climática como responsable significativamente de la decisión acerca de que producir.

Por ejemplo la variable temperatura afecta positivamente la producción de frutas y negativamente la producción de hortalizas y tubérculos, lo que quiere decir que ante mayores niveles de temperatura promedio la probabilidad de cultivar frutas sobre cereales aumenta, mientras la probabilidad de cultivar hortalizas y tubérculos en vez de cereales disminuye.

Así también la precipitación afecta positivamente la producción de hortalizas sobre cereales y negativamente la producción de frutas sobre cereales



La variación de la temperatura afecta positivamente la producción de tubérculos e industriales sobre cereales y negativamente la producción de estimulantes sobre cereales. La variación en la precipitación respecto de la media afecta positivamente la producción de industriales sobre cereales, y negativamente la producción de frutas, hortalizas, industriales y estimulantes.

Pero para poder estimar de mejor manera el efecto (elasticidad) de la variación en las variables climatológicas sobre la decisión de producción de los hogares, esta variable mide el efecto de las variables climáticas sobre la probabilidad de elección de alguna de ellas.

### Efectos marginales

Una vez obtenidos los datos pasamos analizar los efectos marginales que en las regresiones dicotómicas o politómicas son las variables importantes, pues nos reflejan el efecto de cierta variable sobre la elección de un cultivo.

**Cuadro Nº 8. Efectos Marginales**

	Cereales	Hortalizas	Tubérculos	Otros
<b>Variabes</b>				
Temp. media	0,103 ***	-0,027 *	-0,073 **	-0,003
Temp. media <sup>2</sup>	-0,001	0,001 **	0,000	0,000
Precipitación	-0,008 **	0,000	0,007 **	0,001 *
Precipitación <sup>2</sup>	0,000 **	0,000 **	0,000	0,000 *
Sd. Temperatura	-0,399 **	-0,109 **	0,501 ***	0,007
Sd. Precipitación	0,036	-0,001	-0,040	0,005

Nota. \*\*\*significativo al 1% \*\*significativo al 5% \*significativo al 10%

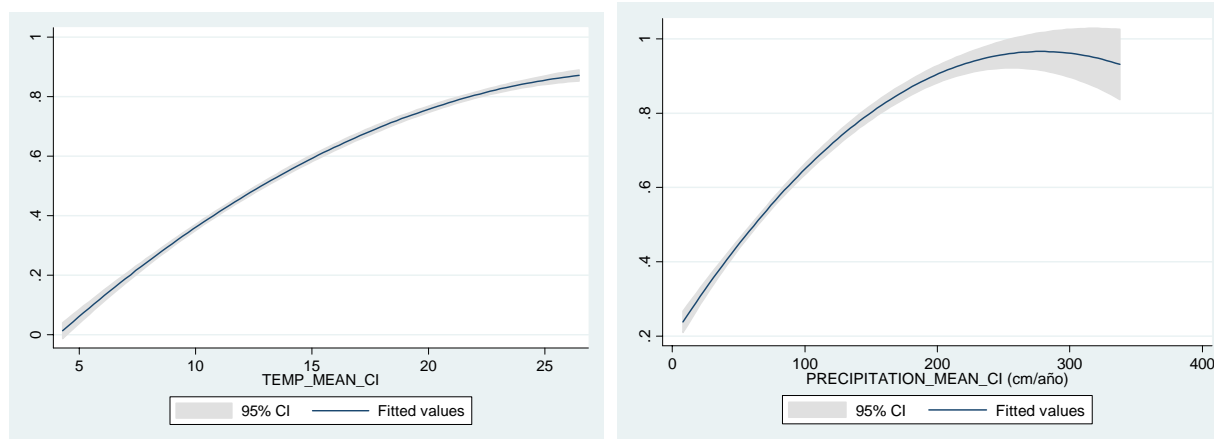
Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ECH 03-04.

Como se observa en el cuadro anterior se presenta el efecto (efectos marginales) de las variables climáticas sobre la probabilidad de elección de cereales, hortalizas, tubérculos y otros.

Los cereales son sensibles a la temperatura y a la variación de la media de la temperatura, pero no a la temperatura al cuadrado, el efecto es fuerte y muy significativo, así también los cereales son sensibles a la precipitación y precipitación al cuadrado, lo que nos muestra una relación cuadrática que se observa en los siguientes gráficos.



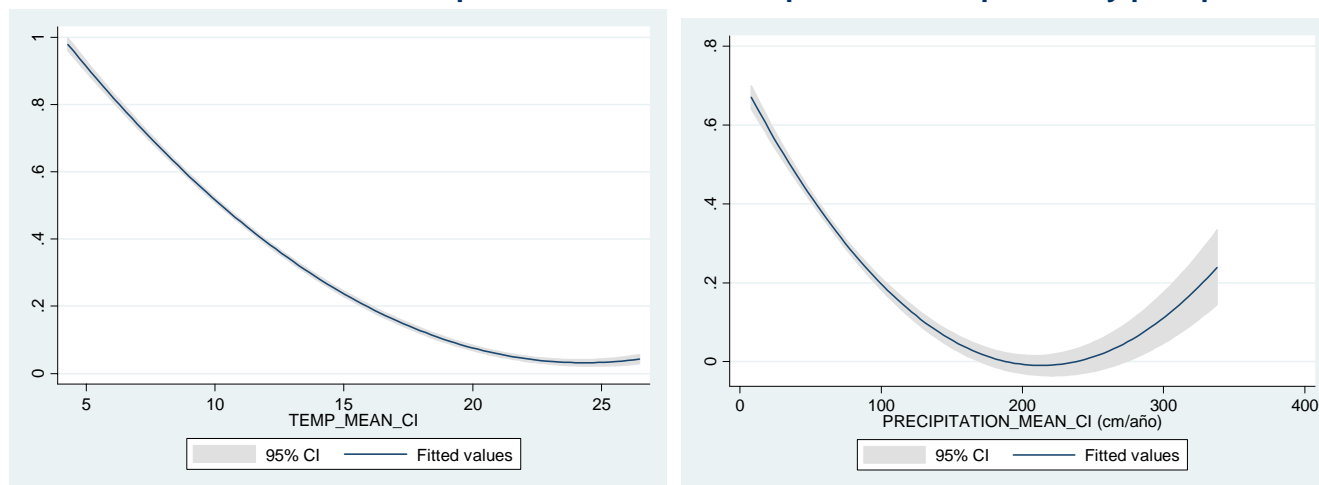
**Gráfico No. 1: Probabilidad de producir cereales respecto a la temperatura y precipitación**



**Fuente:** Elaboración propia.

Por otra parte los tubérculos son sensibles a la temperatura, a la variación en la temperatura y a la precipitación, pero presentan una relación lineal con la temperatura y la precipitación, la relación nos muestra que ante mayores niveles de temperatura la probabilidad de producción de tubérculos disminuye. Y la relación con la precipitación es similar, sin embargo los intervalos de confianza son mayores ante mayores niveles de precipitación.

**Gráfico No. 2: Probabilidad de producir tubérculos respecto a la temperatura y precipitación**



**Fuente:** Elaboración propia.

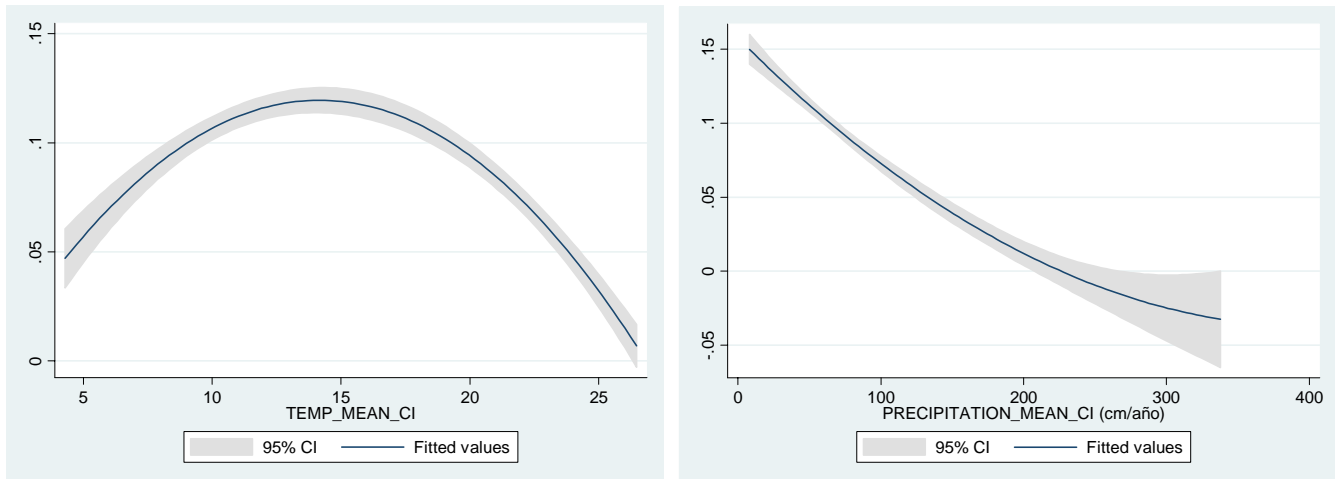
La elección de hortalizas es sensible a la temperatura, temperatura al cuadrado, la variación de la media de la temperatura y a la precipitación al cuadrado. La probabilidad de elección en si son bajas y nos muestran que la probabilidad de elección de hortalizas aumenta hasta los 15 °C y posteriormente disminuye. Para el caso del efecto de la precipitación sobre la probabilidad de





elección de hortalizas disminuye con el aumento de la precipitación, donde se observa también un aumento en los intervalos de confianza ante mayores niveles de precipitación.

**Gráfico No. 3: Probabilidad de producir hortalizas respecto a la temperatura y precipitación**

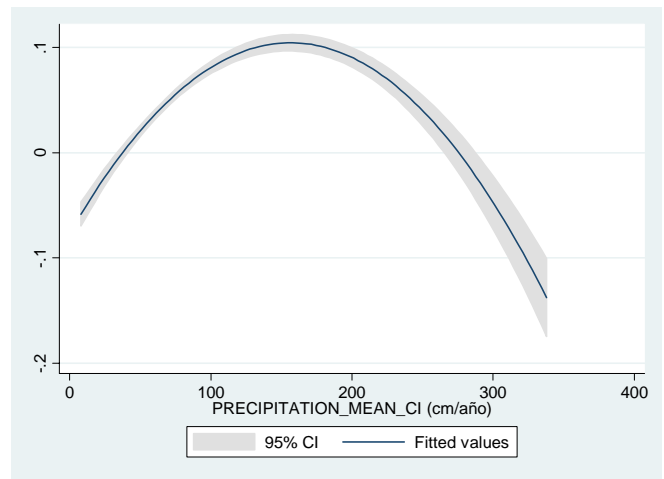
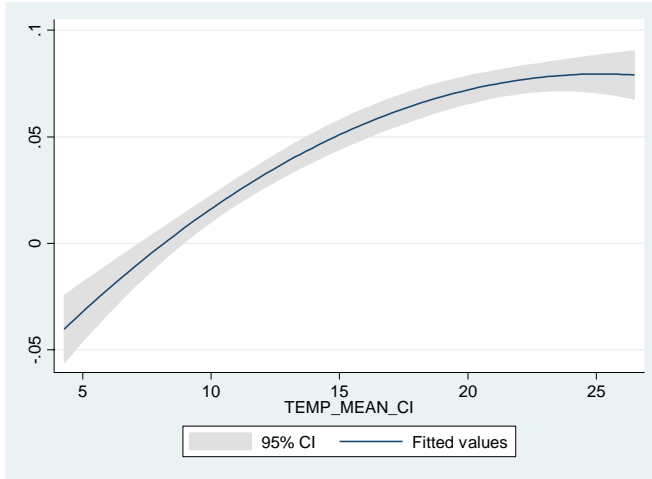


**Fuente:** Elaboración propia.

Por último la probabilidad de cultivo de otros es muy baja y es sensible a la precipitación y la precipitación al cuadrado, este hecho (la no significancia de otras variables climáticas) se puede explicar, por que este grupo es un compuesto de varios sub grupos, diferentes entre ellos mismo y con distintas cualidades, tolerancias y necesidades, aunque estos 3 grupos se caracterizan por ser propios de mayores niveles de temperatura. Las estimaciones nos muestran que la probabilidad de producción de otros aumenta con la temperatura (hecho que también se observo en la parte descriptiva) y que la probabilidad de cultivar “otros” aumenta hasta una precipitación de 150 cm/año y posteriormente disminuye.



Gráfico No. 4: Probabilidad de producir otros respecto a la temperatura y precipitación



Fuente: Elaboración propia.