



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
<http://ageconsearch.umn.edu>
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

Documentos CEDE

ISSN 1657-7191 Edición electrónica.

Derretimiento y Retroceso Glaciar: Entendiendo
la Percepción de los Hogares Agrícolas que se
Enfrentan a los Desafíos del Cambio Climático

Adriana Bernal Escobar
Rafael Cuervo Sánchez
Gonzalo Pinzón Trujillo
Jorge Higinio Maldonado

16

FEBRERO DE 2013

Serie Documentos Cede, 2013-16
ISSN 1657-7191 Edición electrónica.

Febrero de 2013

© 2012, Universidad de los Andes–Facultad de Economía–CEDE
Calle 19A No. 1 – 37 Este, Bloque W.
Bogotá, D. C., Colombia
Teléfonos: 3394949- 3394999, extensiones 2400, 2049, 3233
infocede@uniandes.edu.co
<http://economia.uniandes.edu.co>

Ediciones Uniandes
Carrera 1ª Este No. 19 – 27, edificio Aulas 6, A. A. 4976
Bogotá, D. C., Colombia
Teléfonos: 3394949- 3394999, extensión 2133, Fax: extensión 2158
infeduni@uniandes.edu.co

Edición y prensa digital:
Cadena S.A. • Bogotá
Calle 17 A N° 68 - 92
Tel: 57(4) 405 02 00 Ext. 307
Bogotá, D. C., Colombia
www.cadena.com.co

Impreso en Colombia – *Printed in Colombia*

El contenido de la presente publicación se encuentra protegido por las normas internacionales y nacionales vigentes sobre propiedad intelectual, por tanto su utilización, reproducción, comunicación pública, transformación, distribución, alquiler, préstamo público e importación, total o parcial, en todo o en parte, en formato impreso, digital o en cualquier formato conocido o por conocer, se encuentran prohibidos, y sólo serán lícitos en la medida en que se cuente con la autorización previa y expresa por escrito del autor o titular. Las limitaciones y excepciones al Derecho de Autor, sólo serán aplicables en la medida en que se den dentro de los denominados Usos Honrados (Fair use), estén previa y expresamente establecidas, no causen un grave e injustificado perjuicio a los intereses legítimos del autor o titular, y no atenten contra la normal explotación de la obra.

Derretimiento y Retroceso Glaciar: Entendiendo la Percepción de los Hogares Agrícolas que se Enfrentan a los Desafíos del Cambio Climático*

Adriana Bernal Escobar[†], Rafael Cuervo Sánchez[‡], Gonzalo Pinzón Trujillo[§]
y Jorge Higinio Maldonado^{**}

Resumen

El derretimiento y retroceso de los glaciares colombianos reducen la oferta de agua, afectando al sector agrícola, responsable del 10-14% del PIB colombiano. Utilizando juegos económicos experimentales estudiamos las decisiones sobre el uso del agua y la respuesta a instituciones que facilitan la implementación de estrategias de adaptación al cambio climático, en agricultores colombianos que demandan agua proveniente de la alta montaña. Los resultados muestran que los agricultores aumentan el uso de agua del distrito de riego como respuesta a choques en el clima (menor precipitación). La inversión en estrategias de adaptación es frecuente pero no reduce el consumo de agua. A partir de estos resultados, surgen recomendaciones para enfrentar la escasez de agua en un escenario de cambio climático.

Palabras Clave: Uso de recurso hídrico, glaciares y páramos, juegos económicos experimentales de campo, cambio climático.

Código(s) JEL: C10, C23, C25, C72, C93, D03, D13, D71, O13, Q12, Q15, Q25

* Caso piloto desarrollado en el marco del proyecto: Fortalecimiento de la capacidad de Investigación en Economía Ambiental para la Adaptación al Cambio Climático, Programa de Investigación en Desarrollo, Economía y Ambiente, IDEA, CATIE - IDRC

[†] Asistente de investigación, Facultad de Economía, CEDE, Universidad de los Andes, ad-berna@uniandes.edu.co

[‡] Asistente de investigación, Facultad de Economía, CEDE, Universidad de los Andes, rs.cuervo97@uniandes.edu.co

[§] Asistente de investigación, Facultad de Economía, CEDE, Universidad de los Andes, ge.pinzon163@uniandes.edu.co

^{**} Profesor asociado, Facultad de Economía, CEDE, Universidad de los Andes, y Director del Programa Latinoamericano de Economía Ambiental, LACEEP, jmaldona@uniandes.edu.co

Glacier Melting and Retreat: Understanding the Perception of Agricultural Households That Face the Challenges of Climate Change^{††}

Adriana Bernal Escobar^{††}, Rafael Cuervo Sánchez^{§§}, Gonzalo Pinzón Trujillo^{***},
Jorge Higinio Maldonado^{†††}

Abstract

Colombian glacier melting and retreat lead to a change in the availability of water, which largely affects agriculture, which generates 10-14 percent of Colombian GDP. Using framed economic experimental games we study the decisions about water use and their response to institutions that facilitate adaptation to climate change, made by farmers that depend on high-mountain water. Results show that farmers react to reduction in water availability increasing the use of water from districts, ignoring that this source also depends on climatic conditions. When players face the possibility to adapt, they tend to invest in such strategies but water consumption is not reduced. From the results, policy recommendations emerge about strategies for facing water scarcity in a climate-change scenario.

Key Words: Water use, glaciers and paramos, framed economic experimental games, behavioral responses to scarcity.

JEL Codes: C10, C23, C25, C72, C93, D03, D13, D71, O13, Q12, Q15, Q25

^{††} Pilot case developed in the framework of the Project: The Strengthening of Capacities for Economic Research on Climate Change Adaptation. Development, Economics and Environment Research Program, IDEA. CATIE - IDRC

^{††} Research Assistant, Dep. of Economics, CEDE, Universidad de los Andes, ad-berna@uniandes.edu.co

^{§§} Research Assistant, Dep. of Economics, CEDE, Universidad de los Andes, rs.cuervo97@uniandes.edu.co

^{***} Research Assistant, Dep. of Economics, CEDE, Universidad de los Andes, ge.pinzon163@uniandes.edu.co

^{†††} Associate Professor, Dep. of Economics, CEDE, Universidad de los Andes, jmalдона@uniandes.edu.co

Derretimiento y Retroceso Glaciar: Entendiendo la Percepción de los Hogares Agrícolas que se Enfrentan a los Desafíos del Cambio Climático

1. Introducción

Los glaciares andinos juegan un papel muy importante en el manejo del recurso hídrico al mantener un caudal mínimo de agua potable, gracias a la fusión del hielo. Esto permite abastecer a los sistemas de riego de muchas regiones, al igual que a las plantas hidroeléctricas que suplen las necesidades de varios centros urbanos; Quito, La Paz y Lima, son un buen ejemplo de grandes ciudades que se abastecen de estas fuentes de agua. Los glaciares también son una fuente de recarga de muchos acuíferos, de los cuales dependen diversas poblaciones y ecosistemas (CAN-SG et al., 2007).

Sin embargo, dicho régimen hídrico solo es sostenible a largo plazo bajo condiciones climáticas adecuadas que permitan mantener un equilibrio entre los procesos de acumulación y ablación (fusión de nieve), lo cual se conoce como línea de equilibrio del glaciar (Braithwaite, 2008). En cuencas con alta cobertura glaciar, los escurrimientos causados por fusión son compensados por las precipitaciones de nieve, lo cual permite mantener el balance hídrico en la cuenca. A medida que el glaciar disminuye su cobertura glaciar, las precipitaciones de nieve se vuelven más escasas y no son suficientes para compensar la pérdida por fusión (Braithwaite, 2008; Rupper y Roe, 2008; Poveda y Pineda, 2009).

En América Latina se ha reportado una fuerte ablación de los glaciares tropicales de Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia. Particularmente para Colombia, durante la segunda mitad del siglo XX desaparecieron ocho glaciares, como consecuencia de una pérdida de 43.56 km² de hielo en las montañas (Morris et al., 2006). Hoy en día, en Colombia solo existen cuatro nevados sobre estructuras volcánicas: Nevado del Huila, Nevado del Ruiz, Nevado de Santa Isabel y Nevado del Tolima; y dos sierras nevadas, la Sierra Nevada del Cocuy y la Sierra Nevada de Santa Marta (IDEAM, 2001b).

El cuarto informe de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) para Latinoamérica identifica un retroceso glaciar promedio de 10 a 15 metros por año en Colombia, lo que pronostica una desaparición completa de los glaciares colombianos en menos de 100 años (Magrin et al., 2007). Sin embargo, Poveda y Pineda (2009), investigan el retroceso de los glaciares colombianos y concluyen que la pérdida de los glaciares colombianos ocurrirá mucho antes del plazo proyectado por el IPCC, estimando que con una tasa de retroceso de 3 km²/año, los glaciares colombianos sobrevivirán solo hasta el 2024.

Vuille et al. (2003) realizaron un análisis de las causas del retroceso glaciar, concluyendo que los aumentos en la temperatura juegan un fuerte papel en el derretimiento. Cuando un glaciar se encuentra en una zona con mayor temperatura, como ocurre cerca a la línea del ecuador, la línea de equilibrio glaciar se ubica a una mayor altura, disminuyendo la zona de acumulación permanente de nieve en el glaciar. En algunos casos, la línea de equilibrio puede ubicarse por encima de la altura del glaciar, de modo que éste se ve sometido únicamente a procesos de ablación, lo cual llevará en el mediano o largo plazo a su desaparición (Favier et al., 2004a).

En relación a este efecto, varios estudios han encontrado una fuerte correlación entre el aumento en la velocidad de retroceso de los glaciares, el cambio climático global y regional, y los fenómenos de El Niño Oscilación del Sur – ENOS. En los últimos 30 años se ha observado un aumento de aproximadamente 1°C en la temperatura promedio reportada en estaciones meteorológicas ubicadas a altitudes elevadas (Seidel y Free, 2003; Ceballos et al., 2006). Por otra parte, los eventos “El Niño” están asociados con un aumento de la temperatura promedio de entre 1°C y 2°C (Diaz y Graham, 2006; Bradley et al., 2009). Estos dos fenómenos unidos causan un incremento en la fusión de los glaciares (Francou y Pizarro, 1995), y si el cambio climático continúa o se acelera, el incremento en la fusión llevará a un empobrecimiento del recurso hídrico.

Otro fenómeno relacionado con el calentamiento global en la alta montaña es el cambio de precipitación de nieve por agua líquida, lo cual transforma la cuenca hacia un régimen hidrológico niveo-pluvial, que acelera los procesos de ablación del glaciar (Favier et al., 2004b). Finalmente, durante los ciclos secos y cálidos del ENOS, se observa una elevación de la altitud de la línea de equilibrio del glaciar, mientras que durante los ciclos húmedos y fríos (“La Niña”), la línea de equilibrio se mantiene a niveles más bajos, aliviando el derretimiento del glaciar (CAN-SG et al., 2007).

Como respuesta a estos fenómenos, desde finales del siglo XX se ha observado gran interés en estudiar, debatir y desarrollar nuevas políticas que permitan combatir los efectos del cambio climático sobre las actividades humanas. En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático de 1994, se identificaron dos estrategias principales para afrontar el cambio climático: mitigación y adaptación. Mitigación involucra encontrar mecanismos para disminuir, almacenar o re-absorber las emisiones de gases de efecto invernadero. Adaptación por otra parte, se refiere a hacer frente al cambio climático, tomando medidas que reduzcan sus efectos negativos y/o que exploten sus efectos positivos (UNFCCC, 2006b).

Hoy en día es claro que tanto mitigación como adaptación, son estrategias que deben llevarse a cabo en paralelo. La mitigación no es suficiente por sí misma, e incluso si hoy en día, los esfuerzos por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero tuvieran éxito, inevitablemente tendríamos que seguir implementando estrategias adaptativas, pues los efectos del cambio climático tienen lugar después de un largo periodo de rezago (UNFCCC, 2006a). Esto significa que el calentamiento global actual es consecuencia de las emisiones realizadas décadas atrás.

La primera comunicación del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, IDEAM, ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (IDEAM, 2001a), reveló que los cambios en la disponibilidad de recursos hídricos debido a la desaparición de los glaciares colombianos y a la transformación de los ecosistemas de montaña en el país, se sumarán a futuros cambios en la fertilidad de las tierras para uso agrícola, concluyendo que la agricultura será uno de los sectores más afectados por el efecto del cambio climático en las montañas. El sector agropecuario colombiano ha contribuido entre 10% y 14% al total del PIB durante los últimos 20 años, generando empleos en el último año para cerca de 4 millones de habitantes (DANE, 2011).

La contribución de la agricultura a las emisiones globales es pequeña en comparación con las emisiones producto de la quema de combustibles fósiles en otros sectores de la economía, por lo que las estrategias globales de mitigación están enfocadas en la utilización eficiente de la energía, y no en la reducción de emisiones en el sector agrícola (Mount, 1994). El informe Stern (2007) muestra que el sector agrícola puede ser responsable de cerca del 14% de las emisiones de gases de efecto invernadero (según datos para el año 2000). Controversialmente, el mismo informe discute que indirectamente puede tener un papel más relevante si se tienen en cuenta los procesos de deforestación, que en su mayoría, terminan sirviendo a la agricultura (Stern, 2007). Sin embargo, independientemente de la contribución del sector agrícola a las emisiones globales, la agricultura es hoy en día uno de los sectores más vulnerables a los efectos del cambio climático (Adams, 1989; Mendelsohn et al., 1994; Schlenker et al., 2005).

Diversos estudios han analizado los impactos más fuertes que ejercerá el cambio climático sobre el sector agrícola (Smit et al., 1996). En Colombia se espera que ocurran cambios en la duración del ciclo de crecimiento de los cultivos, lo cual podría hacerlos más vulnerables a los periodos de sequía y calor extremo (Ibáñez et al., 2010; Ramirez-Villegas et al., 2012). Por otro lado, el aumento en la temperatura también generará un aumento en la prevalencia de enfermedades y pestes en los cultivos, disminuyendo las cosechas y aumentando los costos de producción (Ramirez-Villegas et al., 2012); a su vez que desplazará los cultivos hacia mayores alturas, generando variaciones en sus rendimientos (Pabón, 2003).

También se han sugerido impactos positivos sobre la agricultura, debido a que el aumento en la concentración de dióxido de carbono atmosférico, podría estimular la producción de biomasa en las plantas, generando cosechas más grandes (Challinor y Wheeler 2008; Jarvis et al. 2010). Sin embargo, dicho aumento en la producción agrícola, está sujeto al alcance de unas condiciones ambientales adecuadas en términos de luz, agua y temperatura, entre otros (Jarvis et al. 2010). Helms et al. (1996) muestran que los efectos del cambio climático en la agricultura (incluso en los escenarios más pesimistas) pueden ser pequeños si se incluye la posibilidad de adaptación al cambio climático, a través del aprovechamiento de una mayor fijación de carbono y la utilización de cultivos resistentes al calor. La FAO (2007) afirma que un aumento de 2.5°C en la temperatura media global sin incluir adaptación, disminuiría en 0.8% el PIB de América Latina; al incluir la posibilidad de adaptarse, el efecto de la temperatura permitiría aumentar el PIB de la región en 0.6%.

Lo anterior significa que, de la misma forma en que la mitigación del cambio climático requiere un esfuerzo de las naciones para invertir en conservación y utilización eficiente de energía, se requerirá de grandes inversiones desde el sector agrícola para la conservación y utilización eficiente de los recursos naturales, principalmente hídricos, como estrategia de adaptación a los impactos del cambio climático (Hall et al., 2008).

La adaptación puede llevarse a cabo de múltiples formas, de acuerdo al propósito, duración, escala y mecanismo necesario. En particular, existen cuatro estrategias generales: adaptación reactiva, adaptación anticipada, adaptación planeada y adaptación autónoma (Schneider et al., 2000; Smit y Skinner, 2002; Bradshaw et al., 2004; Tol, 2005). La adaptación reactiva se refiere a las medidas que reaccionan a los fenómenos de cambio climático, procurando disminuir y controlar sus efectos. La adaptación anticipada corresponde a medidas que se toman con

anticipación al cambio climático, con el fin de minimizar sus efectos. La adaptación planeada consiste generalmente de políticas o estrategias de naturaleza multisectorial que buscan alterar la capacidad adaptativa de un sistema económico completo (como por ejemplo el sistema agrícola), o facilitar la adopción de estrategias de adaptación para todos los miembros del sistema. La adaptación autónoma finalmente, se refiere a todas las estrategias de adaptación que son implementadas de manera individual y cuyos beneficios son privados.

Por supuesto, la adaptabilidad de todo sector está atada al grado de vulnerabilidad del sistema al cambio climático. La agricultura colombiana se caracteriza por la existencia de una fuerte desigualdad, debido entre otras cosas, a una gran diversidad de sistemas de cultivo, diferentes tasas de ocupación y deforestación, y diferentes estrategias de manejo de los cultivos. Lo anterior genera una mayor vulnerabilidad dentro de todo el sistema socioeconómico colombiano, con impactos de diferentes magnitudes, repartidos a lo largo de todo el país. Esta característica dificulta la implementación del Plan Nacional de Adaptación (Pabón 2003; Motha 2007; Poveda et al., 2010).

Varias estrategias de adaptación se han implementado en distintas regiones del mundo, como cambios en las variedades cultivadas (Bedó et al. 2005; Challinor et al. 2007; Krishnan et al. 2007), cambios en las fechas de siembra y mejoras en los sistemas de irrigación (Byjesh et al. 2010; Srivastava et al. 2010). Todas ellas están asociadas a las limitantes físicas, económicas, políticas y ambientales, características de cada comunidad (Smit et al., 1996; Adger et al. 2009). Bradshaw et al. (2004) afirman que si bien la adaptación ha sido identificada como una respuesta a la variabilidad y al cambio climático en el sector agrícola, hoy en día se desconoce la forma en la cual cada agricultor decide adoptarlas. En términos generales, las ciencias naturales definen un rango de opciones de adaptación, pero es el comportamiento social el que determina cuáles opciones son adoptadas y cuáles no (Mount, 1994).

En este sentido, muchas investigaciones a nivel mundial están enfocadas en predecir cómo responderán las personas a los impactos del cambio climático, y cuáles instrumentos políticos y sociales son más eficientes para promover la implementación de estrategias de adaptación.

Algunos ejemplos de adaptación efectiva se observan en la literatura reciente. Thomas et al. (2007) realizan un análisis de los procesos de acción colectiva, como estrategias de adaptación al cambio climático en varias comunidades agrícolas de África, encontrando que los agricultores suavizan costos a través de la repartición del riesgo entre varios miembros de la comunidad, al sembrar en parcelas comunitarias. Por otra parte, Millner (2012) muestra a través de un modelo teórico que individuos con acceso a predicciones del clima de corto plazo tienen menores costos de ajuste que les permiten mejorar sus estrategias de adaptación. Finalmente, Milinski et al. (2006) y Milinski et al. (2008), usando juegos económicos experimentales, encuentran que estudiantes universitarios mejor informados sobre el cambio climático y sus efectos, realizan mayores contribuciones para la conservación del clima; en estos ejercicios experimentales en laboratorio, la reputación y el nivel de riesgo también juegan un papel importante en la cooperación, jugadores en tratamientos sin anonimato o con un mayor riesgo de pérdida, también realizan mayores inversiones.

Por otra parte, también es posible observar ejemplos no efectivos de adaptación al cambio climático. Bradshaw et al. (2004) analizan la diversificación de los cultivos como estrategia de adaptación al riesgo en las granjas canadienses, mostrando que si bien a nivel agregado los cultivos canadienses se han diversificado, a nivel de granja se observa una tendencia hacia la especialización, explicada por el costo que genera la diversificación debido a la dificultad de generar economías de escala. Esto refleja que si bien la diversificación de cultivos puede pensarse como buena estrategia adaptativa al cambio climático, no es viable para los productores, desde el punto de vista económico, asumir su adopción.

Respecto a la utilización del agua, Ward y Pulido-Velázquez (2008) encuentran que la inversión en sistemas más eficientes de irrigación no necesariamente lleva a una disminución en el consumo, pues el agricultor percibe que al utilizar menos agua por unidad de área con el nuevo sistema, se vulnera su derecho de utilizar agua, y en muchos casos, el agricultor decide aumentar el área cultivada con el fin de aprovechar la misma cantidad de agua que utilizaba en un principio.

Por su parte, la no adaptación puede observarse por contextos culturales que llevan a los agricultores de determinada zona a especializarse en cultivos muy específicos, impidiéndoles generar estrategias financieramente viables para utilizar otro producto con menores exigencias de agua, como es el caso del arroz en la región del Tolima en Colombia. (Sánchez et al., 2011)

Lo anterior es una muestra de que los mecanismos de organización social, los valores, las percepciones, el conocimiento y las relaciones entre individuos, son importantes para entender y predecir las reacciones de una comunidad hacia cambios en el clima. Por lo tanto, para poder evaluar el alcance de las diferentes estrategias de adaptación en el contexto colombiano, es necesaria una caracterización local y regional de los sistemas sociales agro-climáticos, con el fin de identificar los niveles de vulnerabilidad y adaptabilidad a los impactos del cambio climático, tanto a escala local como regional.

Algunos esfuerzos nacionales como el Proyecto Piloto Nacional de Adaptación al Cambio Climático, dirigido por el IDEAM y Conservación Internacional Colombia (2011), han sido una primera aproximación al análisis de la capacidad adaptativa de la alta montaña, a través del diseño e implementación de un programa de adaptación en el Macizo de Chingaza, que incluye la generación de información sobre el cambio climático, la reducción de los impactos adversos en la regulación hídrica, la utilización de modelos de planificación del uso de la tierra y la estimación de la vulnerabilidad de los agro-ecosistemas productivos de la región. Una de las principales conclusiones de este proyecto indica que con el fin de disminuir la vulnerabilidad de las comunidades asentadas en zonas de alta montaña a través de estrategias adaptativas, es necesario realizar trabajos directos con las comunidades mediante metodologías participativas de investigación-acción, con un mayor involucramiento de la academia y la ciencia en todo el proceso.

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, este estudio busca analizar el efecto del cambio climático sobre el comportamiento de las comunidades agrícolas en la explotación de los recursos hídricos provenientes de la alta montaña. Para hacerlo se propone el uso de juegos experimentales económicos en campo, a través de los cuales, bajo la simulación de eventos de

cambio climático en un ambiente controlado, se pueda analizar las decisiones de las personas y los diferentes arreglos de cooperación colectiva que facilitan la adaptación.

Este estudio busca responder dos preguntas principales: ¿cómo cambios en la disponibilidad de agua –como resultado del cambio climático- afectan las decisiones acerca de su uso como insumo productivo en comunidades agrícolas que dependen de glaciares y fuentes de agua de alta montaña para su provisión?, y ¿cómo diferentes instituciones o mecanismos de asignación para las decisiones de adaptación afectan el aprovechamiento y la gestión del agua en un escenario de cambio climático?

Para responder estas preguntas se analizará, por un lado, el comportamiento de las comunidades agrícolas con respecto al uso de agua en un ambiente de escasez generado por el efecto del cambio climático y, por otro lado, el efecto de diferentes arreglos institucionales sobre la toma de decisiones con respecto a la adopción de estrategias de adaptación y el uso del agua.

El resto del documento está organizado de la siguiente forma: la sección 2 presenta el modelo teórico y el diseño experimental que comprenden la metodología, junto con los detalles del juego. La sección 3 describe los resultados principales, incluyendo un análisis de los datos y de los resultados econométricos. La última sección presenta las conclusiones y expone algunas ideas sobre recomendaciones y posibles pasos futuros que se pueden dar en esta línea de investigación.

2. Metodología

2.1 Marco teórico

El agua es un compuesto necesario para la vida. Prácticamente, todas las especies, incluyendo la humana, dependen del suministro de una oferta mínima del recurso hídrico. Sin embargo, el crecimiento de las poblaciones urbanas, la agricultura de irrigación extensiva y el rápido desarrollo industrial han generado una fuerte presión sobre este recurso vital. Lo anterior, sumado a los efectos actuales del cambio climático, hace que el agua sea un recurso cada vez más valioso pero a la vez sujeto a sobreexplotación. Una forma de analizar esta situación desde el punto de vista económico es tratar al agua como un recurso de uso común; esto significa que es un bien rival al no poder ser utilizado por más de un agente a la vez, y un bien no excluyente, debido a que no se puede impedir que un agente extraiga el bien para su consumo. La extracción agregada de este tipo de bienes puede generar un fenómeno conocido como la tragedia de los comunes, donde cada individuo, al considerar únicamente su beneficio privado, consume una cantidad mayor que la socialmente deseable, lo cual no es óptimo pues lleva a que el recurso se sobre utilice (Hardin, 1968).

Diversos experimentos económicos examinan el comportamiento humano bajo dilemas sociales relacionados con la extracción de recursos de uso común (Ostrom et al., 1992; Ostrom et al., 1994; Casari y Plott, 2003; Cárdenas y Ostrom, 2004; Cárdenas et al., 2004; Vélez et al., 2005; Alpízar et al., 2007; Moreno-Sanchez y Maldonado, 2010; Blanco et al., por publicar). Estos modelos se basan en una función de pagos para la cual la extracción individual del

recurso aumenta las ganancias individuales, algunas veces a una tasa decreciente, mientras la extracción grupal reduce las ganancias individuales, representando el dilema típico de la extracción de un recurso de uso común.

Nuestro modelo es una extensión de dichos modelos de extracción de recursos de uso común, representado por la siguiente función de pagos:

$$\pi_i = f(x_i) + g\left(S, \sum_i x_i\right) = \alpha x_i - \frac{\beta x_i^2}{2} + \gamma\left(S - \sum_{i=1}^n x_i\right)$$

donde el primer término de la ecuación corresponde a los ingresos individuales por la extracción directa del recurso, con α como el precio por unidad extraída de recurso, x_i . El segundo término corresponde a los costos de extracción, que son positivos y marginalmente crecientes con respecto a la cantidad extraída del recurso, en este caso agua, x_i , y β es un parámetro técnico asociado con el costo. Estos dos términos componen la función de pagos individuales directos, $f(x_i)$. Finalmente, el tercer término $g(\cdot)$, representa la externalidad generada sobre los beneficios individuales como consecuencia de la extracción grupal del recurso, es una medida de dicho grado de afectación. Nuestro modelo extendido presenta una modificación en el tercer término, de modo que la cantidad de recurso disponible después de la extracción de todo el grupo, se encuentra limitada por el estado o nivel de disponibilidad del recurso (S), y no por la cantidad máxima individualmente extraíble del recurso; esto se asemeja más a la realidad para el recurso hídrico que se puede almacenar, ya que permite generar una mayor externalidad a medida que disminuye el stock natural del recurso.

A partir de este modelo teórico, se simulan las decisiones estratégicas de un grupo de n usuarios que pueden utilizar un recurso de uso común limitado por una cantidad S . En el experimento, el recurso de uso común corresponde a una reserva de agua con destino agrícola, administrada por un distrito de riego.

Debido a que se trata de un recurso de uso común, las cantidades óptimas a extraer desde el punto de vista social son diferentes de aquellas desde el punto de vista privado, por lo que varios equilibrios pueden surgir. Privadamente, para hallar el equilibrio de Nash, se maximizan los beneficios obtenidos por cada persona de manera individual. Para el jugador i :

$$\max_{x_i} \pi_i = f(x_i, S) + g\left(\sum_i x_i\right) = \alpha x_i - \beta \frac{x_i^2}{2} + \gamma\left(S - \sum_{j=1}^n x_j - x_i\right), j \neq i$$

Cuya solución viene dada al resolver:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial x_i} = \alpha - \beta x_i - \gamma = 0$$

Si se asume simetría de todos los agentes, se obtiene que al calcular las condiciones de primer orden con respecto a la variable de decisión, es posible obtener el equilibrio de Nash del juego:

$$x_i^{nash} = \left(\frac{\alpha - \gamma}{\beta} \right)$$

El óptimo social se obtiene al maximizar los beneficios agregados de todos los participantes.

$$\max_{x_i} \sum_{i=1}^n \pi_i = \sum_{i=1}^n \left[\alpha x_i - \beta \frac{x_i^2}{2} + \gamma \left(S - \sum_{i=1}^n x_i \right) \right]$$

La condición de primer orden con respecto a la extracción individual del recurso implica que:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial x_i} = \alpha - \beta x_i - n\gamma = 0$$

$$x_i^{soc} = \left(\frac{\alpha - n\gamma}{\beta} \right)$$

De modo que la extracción socialmente óptima es menor a aquella obtenida en el equilibrio de Nash. Cabe anotar que el estado o disponibilidad del recurso S no tiene un efecto sobre la estructura de incentivos de los individuos, ya que los niveles de extracción en el equilibrio de Nash y en el óptimo social, no dependen de la abundancia o escasez del recurso.

Sin embargo, nuestro diseño experimental sí incluye un componente estocástico que representa las fluctuaciones en el clima y afecta el estado natural del recurso; dichas fluctuaciones son exógenas al modelo debido a la incertidumbre asociada a ellas. A través de un proceso estocástico, la variabilidad natural del clima, en particular de las lluvias, puede llevar a que la cantidad de agua disponible en un periodo sea normal (S_n), mientras que en otro periodo puede ser baja (S_b). Cuando el cambio climático es introducido, los eventos extremos hacen que la cantidad disponible de agua sea aún más baja, generando periodos de sequía (S_s). En cualquier caso, la cantidad disponible de la reserva de agua va a estar definida por S_p , siendo $S_n > S_b > S_s$.

Por lo tanto, si bien los equilibrios privados y sociales no se modifican al incluir las fluctuaciones en el clima, los beneficios de cada jugador en el equilibrio de Nash y en el óptimo social sí están sujetos al estado natural del recurso de la siguiente forma:

$$\pi_{i,t}^{nash} = \alpha x_{i,t}^{nash} - \beta \frac{x_{i,t}^{nash^2}}{2} + \gamma (S_t - n x_{i,t}^{nash})$$

$$\pi_{i,t}^{soc} = \alpha x_{i,t}^{soc} - \beta \frac{x_{i,t}^{soc^2}}{2} + \gamma (S_t - n x_{i,t}^{soc})$$

Con esta información, se diseña el juego en tres etapas o fases. Durante la primera fase del juego, los dos posibles estados de la naturaleza son normal (n) y bajo (b), de modo que la cantidad de recurso disponible en cada ronda puede ser S_n ó S_b , respectivamente. Como consecuencia de la variabilidad natural del clima, el estado b ocurre con probabilidad p , y el estado n ocurre con probabilidad $1-p$. De esta manera, los individuos al jugar su estrategia de Nash tendrían los siguientes beneficios esperados:

$$E(\pi_{i,t}^{nash}) = p[\pi_{i,b}^{nash}] + (1-p)[\pi_{i,n}^{nash}]$$

En la segunda fase del juego se introduce el cambio climático, de modo que la variación en el clima se hace más severa, afectando tanto la magnitud de los cambios en el clima como la frecuencia en la que ocurren. Ahora, con probabilidad de ocurrencia q (con $q > p$) el nivel del recurso disponible será S_s , y con probabilidad $1-q$ será S_n . De esta manera, los individuos al jugar su estrategia de Nash tendrían los siguientes beneficios esperados:

$$E(\pi_{i,t}^{nash}) = q[\pi_{i,s}^{nash}] + (1-q)[\pi_{i,n}^{nash}]$$

En la tercera y última fase del juego existe la posibilidad de adaptarse con anticipación al cambio climático, de modo que aunque ocurra un evento extremo, las acciones preventivas permitirían que la disponibilidad del recurso se mantenga dentro del nivel generado por la variación climática natural. Esta adaptación tiene un costo de inversión C y un efecto prolongado por K ciclos de cultivo o rondas, es decir que adaptarse disminuye el efecto que tiene el cambio climático en el recurso durante las siguientes K rondas después de haber realizado la inversión. La adaptación permite tener acceso a un nivel de recurso S_b cuando podría haber sido S_s de no llevarse a cabo.

Para determinar si adaptarse es una buena estrategia, se debe resolver el juego por inducción hacia atrás. El jugador asume que sin importar el nivel del recurso, el resultado será que todos los jugadores, incluido él, jugarán el equilibrio de Nash determinado por su estrategia individual. Si los individuos deciden adaptarse, esto hará que el recurso, dada la probabilidad q , disminuya hasta el valor de S_b y no hasta S_s . Si los individuos no se adaptan, y son afectados por el evento extremo, el recurso disminuye hasta un valor de S_s , siendo $S_b > S_s$.

El pago esperado del jugador durante las siguientes K rondas en caso de adaptarse sería:

$$A = \sum_{k=1}^K E(\pi_{i,t,k}^{nash}) = K\{q[\pi_{i,b}^{nash}] + (1-q)[\pi_{i,n}^{nash}]\} - c$$

Si el grupo no toma la decisión de adaptarse, el pago individual esperado sería:

$$B = \sum_{k=1}^K E(\pi_{i,t,k}^{nash}) = K\{q[\pi_{i,s}^{nash}] + (1-q)[\pi_{i,n}^{nash}]\}$$

Asumiendo que los individuos son simétricos y neutrales al riesgo, preferirán adaptarse y pagar un costo c , siempre y cuando se cumpla que $A > B$.

Para el caso particular en el que el individuo es indiferente entre adaptarse y no hacerlo tendríamos que:

$$\begin{aligned}
 K\{q[\pi_{i,b}^{nash}] + (1 - q)[\pi_{i,n}^{nash}]\} - c &= K\{q[\pi_{i,s}^{nash}] + (1 - q)[\pi_{i,n}^{nash}]\} \\
 K\{q[\pi_{i,b}^{nash}]\} - c &= K\{q[\pi_{i,s}^{nash}]\} \\
 c &= qK\{[\pi_{i,b}^{nash}] - [\pi_{i,s}^{nash}]\}
 \end{aligned}$$

De modo que si el costo individual por adaptarse es igual a este valor C , el individuo será indiferente entre adaptarse y no hacerlo. Ante un costo mayor, el individuo preferiría tomar el riesgo de enfrentar la sequía, mientras que con un costo menor, el individuo pagaría siempre por la adaptación.

2. Parametrización del modelo

Definiendo los diferentes estados del recurso hídrico de acuerdo al nivel de variación climática, como $S_n=80$, $S_b=60$ y $S_s=40$ unidades de agua, y utilizando los valores de los parámetros de Moreno-Sanchez y Maldonado (2010), $\alpha=100$, $\beta=10$ y $\gamma=20$, se calculan los beneficios y extracciones en el equilibrio de Nash y en el óptimo social. Bajo estas condiciones, el óptimo social generado implica no extraer el recurso. Sin embargo, Cárdenas (2004) afirma que es conveniente eliminar de los experimentos una extracción de cero, pues dicho nivel de extracción es asociado a políticas prohibitorias sobre el uso de los recursos, lo cual puede generar conflicto entre los participantes, que suelen tener un alto grado de aversión hacia ese tipo de políticas. Por lo tanto, el mínimo valor posible de extracción en cada ronda del juego será de una unidad.

En el Cuadro 1 se observa que si todos los jugadores (5) extraen una unidad, los beneficios para cada uno serán 1,595 puntos en estado normal, 1,195 en estado bajo y 795 puntos en estado de sequía. Por otra parte se observa que el nivel de extracción óptimo desde el punto de vista privado es de ocho (8) unidades. Si todos los individuos extraen el óptimo privado (equilibrio de Nash), sus ganancias por ronda o ciclo de cultivo serán de 1,280 puntos en estado normal, 880 en estado bajo y 480 en estado de sequía.

Cuadro 1 Beneficios y extracciones en el equilibrio de Nash y en el óptimo social

Estado	S_t	$x_{i,n}^{nash}$	$x_{i,n}^{soc}$	$\pi_{i,n}^{nash}$	$\pi_{i,n}^{soc} (x_i=1)$
Normal	80	8	0	1,280	1,595
Bajo	60	8	0	880	1,195
Sequía	40	8	0	480	795

En algunos juegos experimentales se ha discutido que cuando el óptimo privado es una solución de esquina, las decisiones de los participantes pueden estar sesgadas. Para evitar este sesgo y evaluar la posibilidad de un comportamiento en el cual los individuos puedan extraer cantidades mayores al equilibrio de Nash, en este juego se permite extraer hasta nueve unidades. De hacerlo, los individuos estarán siendo ineficientes no solo desde el punto de vista social sino también privadamente, ya que obtendrían mayores beneficios extrayendo ocho unidades que extrayendo nueve. En este caso se dice que se exagera la tragedia de los comunes (Maldonado y Moreno-Sánchez, 2009).

En resumen, los jugadores participan en grupos de cinco personas, y en cada ronda deben decidir su nivel de extracción o uso de agua para su cultivo, con los niveles permitidos entre 1 y 9 unidades.

2.3 Estructura del juego

Trabajando con grupos de cinco jugadores dirigidos por un monitor, en una sesión de 21 rondas, cada uno de los miembros de un grupo tiene que decidir, a lo largo de tres fases, el nivel de extracción entre una y nueve unidades de agua, dado un estado o nivel de disponibilidad del recurso hídrico. En todos los casos, los jugadores fueron ubicados en círculo mirando hacia afuera, para garantizar la privacidad en las decisiones. La primera fase y la segunda fase corresponden cada una a un total de seis rondas, mientras que la tercera fase incluye un total de nueve rondas.

Cada ronda es equivalente a un ciclo de producción agrícola durante el primer semestre del año, que va desde el periodo de siembra hasta la cosecha. En cada ronda, el monitor anuncia el estado del clima que caracterizará dicho ciclo de producción, a través de sacar una bola de una bolsa negra que puede tener bolas verdes (estado normal), amarillas (estado bajo) o rojas (estado sequía), en combinaciones que varían de acuerdo a las condiciones de la fase en la que se esté jugando. Posteriormente, el monitor recoge las decisiones de extracción de cada uno de los cinco jugadores del grupo, diligenciadas en un formato privado y confidencial. Las decisiones son almacenadas en un computador, donde se calcula el nivel de extracción total del grupo a partir de la suma de las extracciones individuales. El monitor anuncia al grupo el total de extracción para dicha ronda, de modo que cada jugador pueda calcular sus ganancias individuales de acuerdo a una tabla de pagos específica para cada estado del recurso. Al final de las 21 rondas, se suman las ganancias individuales de cada ronda, y se entrega en privado a cada jugador sus ganancias totales en efectivo. Cada unidad ganada durante el juego corresponde a un peso colombiano (COP), y en promedio, cada jugador recibe cerca de un total de 1.5 salarios mínimos legales diarios vigentes, del año 2012, que corresponden aproximadamente a COP\$26,000, que es equivalente a un poco más de 14 USD.

Los detalles del juego se encuentran en el protocolo del experimento que se encuentra disponible por solicitud a los autores. Dadas las características de este juego, se clasifica como un experimento en campo enmarcado (*framed field experiment*) (Harrison y List, 2004).

2.4 Fases del experimento

Como ya se ha dicho, el juego consta de tres fases. Las características de cada una de ellas se presentan a continuación.

2.4.1 Fase I. Variación natural del clima

Durante la primera fase del experimento todos los grupos juegan el mismo esquema. En esta fase, los jugadores pueden enfrentar condiciones normales de lluvia o condiciones de baja lluvia. La probabilidad de que ocurra una variación natural negativa (baja lluvia) en el clima se define como $p = 1/4$. Por lo tanto, en la primera etapa del juego, la probabilidad de jugar con el estado de recurso normal es de $3/4$ y en estado bajo es de $1/4$. Lo anterior se representa usando una bolsa negra con tres bolas verdes (estado normal) y una bola amarilla (estado bajo). En cada ronda se extrae al azar una de las cuatro bolas para definir el estado del recurso. En esta fase se juegan seis rondas similares.

El pago esperado por jugador por ronda, si todos los jugadores juegan su estrategia dominante de Nash ($x_i^{nash} = 8$), corresponde a 1,180 unidades:

$$E(\pi_{i,t}) = \frac{1}{4}[880] + \frac{3}{4}[1,280] = 1,180$$

Con esta fase se busca que los jugadores recreen eventos normales y eventos de disminución de las lluvias no severos, simulando un escenario antes del cambio climático.

2.4.2 Fase II. Cambio climático

Durante la segunda fase del experimento, todos los grupos juegan bajo las mismas reglas. En esta fase, los jugadores ahora enfrentan condiciones normales y condiciones de sequía extrema. La probabilidad de que ocurra una variación extremadamente negativa en el clima, que conduce a sequía, como consecuencia del cambio climático, es de $q = 2/5$. Por lo tanto, en la segunda etapa del juego, la probabilidad de jugar con el estado de recurso normal es de $3/5$, y la probabilidad de jugar bajo condiciones de sequía es de $2/5$. Lo anterior se representa en cada ronda con una bolsa con tres bolas verdes (estado normal) y dos bolas rojas (estado sequía). En esta fase también se juegan seis rondas.

El pago esperado por jugador por ronda, cuando juegan la estrategia dominante de equilibrio de Nash, corresponde a 960 unidades:

$$E(\pi_{i,t}) = \frac{2}{5}[480] + \frac{3}{5}[1,280] = 960$$

Con esta fase se busca recrear la llegada de un cambio climático que hace que las temporadas de sequía sean más severas y además, más frecuentes. Estos eventos extremos reducen significativamente las ganancias a cualquier nivel de extracción.

2.4.3 Fase III. Posibilidad de adaptación anticipada al cambio climático

Durante la tercera y última fase del juego, los grupos son expuestos a diferentes tratamientos y algunos tienen la posibilidad de adaptarse anticipadamente al cambio climático. En el juego, adaptarse anticipadamente implica la construcción de un reservorio colectivo que permite almacenar una cantidad de agua adicional a la provista por el distrito de riego, de modo que en los periodos con estado de recurso en sequía, se puede disponer de una cantidad total de agua equivalente a la que está naturalmente disponible cuando el estado del recurso es bajo. Si se adopta la estrategia de adaptación, esto se representa a través del remplazo de las dos bolas rojas de la fase II, por dos bolas amarillas, de modo que la probabilidad de jugar con el estado de recurso normal siga siendo de $\frac{3}{5}$, y la probabilidad de jugar bajo condiciones de recurso bajo corresponda ahora a $\frac{2}{5}$. La decisión de adaptarse tiene vigencia por un periodo de 3 rondas ($K=3$), de modo que cada grupo puede tomar la decisión de adaptarse y percibir sus beneficios durante tres periodos consecutivos en la tercera fase; es decir, la vida útil del reservorio es de 3 rondas o ciclos productivos. Esta fase consta de nueve rondas, de forma que los grupos tienen la posibilidad de adaptarse en tres oportunidades diferentes.

Sin embargo, la adaptación tiene un costo que deben asumir los participantes del grupo si deciden invertir en la estrategia. Para estimar este costo, se calcula la diferencia esperada entre lo que se ganaría con estado bajo y con estado de sequía, bajo el supuesto de neutralidad al riesgo. El costo de adaptación que hace al individuo indiferente entre tomar la decisión de adaptarse o no adaptarse es de 480 unidades:

$$c = \left(\frac{2}{5}\right) (3) \{ [880] - [480] \} = 480$$

Si se asume que los individuos son neutrales al riesgo, este es el valor que debe tener el costo de adaptación para cada persona, y deberá ser el aporte individual requerido para realizar la obra de infraestructura que reduce el efecto del evento extremo. Con el fin de facilitar los cálculos durante el experimento, se establece un costo de adaptación de 500 unidades por individuo, ligeramente mayor a aquel que fue determinado con el supuesto de neutralidad al riesgo.

De acuerdo con lo anterior, el costo total del tanque o reservorio sería de 2,500 unidades:

$$cn = (500)(5) = 2,500$$

Con este valor como base, se diseñan los tres tratamientos o modalidades para la adaptación.

2.5 Tratamientos experimentales a ser evaluados

Como se ha mencionado, el experimento incluyó cuatro tratamientos, cada uno de ellos implementado durante las últimas 9 rondas del experimento, que corresponden a la tercera fase. Algunos grupos mantienen durante la fase III un juego similar al de la fase II, donde no hay posibilidades de adaptación; estos son los grupos de control o de línea base, que son los que se usan para estimar el efecto de los otros tres tratamientos.

Los grupos expuestos a los tres tratamientos restantes enfrentaron la posibilidad de invertir en la construcción de un reservorio que les permitiría adaptarse al cambio climático por las siguientes tres rondas de juego. La decisión de adaptarse anticipadamente era tomada por primera vez antes de comenzar la primera ronda de la tercera fase, ronda 13 en el juego, y podía ser tomada nuevamente en dos ocasiones adicionales, antes de la ronda 16 y antes de la ronda 19.

Cada tratamiento propone una estrategia colectiva diferente para tomar la decisión de invertir o no en la construcción del reservorio. Los tratamientos son:

- Aportes voluntarios
- Votación por mayoría simple
- Comunicación

2.5.1 Aportes voluntarios

Algunos grupos fueron tratados con la estrategia de aportes voluntarios, bajo la cual, cada individuo de manera privada y confidencial, decide cuánto aportar para la construcción del reservorio, con la opción de no aportar. Posteriormente, el monitor recoge los aportes voluntarios, los almacena en el computador y obtiene un valor total de los aportes del grupo, dado por la suma de los aportes propuestos por cada uno de los cinco jugadores; si los aportes alcanzan o superan el costo de la inversión (2,500 puntos), el monitor anuncia al grupo que se construye el reservorio, y cada jugador debe pagar los puntos que se comprometió a invertir; por el contrario, si los aportes no alcanzan el costo de la inversión, el monitor anuncia al grupo que no se logró construir el reservorio, y nadie debe aportar nada.

De construirse el reservorio, se cambian las bolas rojas por bolas amarillas, es decir en caso de eventos extremos, los participantes enfrentan condiciones de estado bajo y no de estado de sequía. El efecto es válido por tres rondas. Después de pasadas las tres rondas, los jugadores deben decidir de nuevo sobre sus aportes, se calcula de nuevo el valor agregado y se decide si se construye o no el reservorio de acuerdo al resultado.

2.5.2 Votación por mayoría simple

Otros grupos fueron tratados con una estrategia de votación por mayoría simple, bajo la cual, cada individuo de manera privada y confidencial, decide si vota a favor o en contra de la construcción del reservorio, con un aporte individual de 500 puntos. Posteriormente el monitor recoge los votos, los almacena en el computador y obtiene un resultado final de la votación; si por lo menos tres personas votan a favor de la construcción del reservorio, el monitor anuncia al grupo que se construye el reservorio, y cada jugador debe pagar un quinto del total del costo de la inversión (500 puntos), independientemente de si votaron a favor o en contra; por el contrario, si por lo menos tres personas votan en contra de la construcción del reservorio, el monitor anuncia al grupo que no se logró construir el reservorio, y nadie aporta nada.

De nuevo, la decisión es válida por tres rondas, después de las cuales, se procede de nuevo con el proceso de votación y de decisión de construcción del reservorio.

2.5.3 Comunicación

Finalmente, otros grupos fueron tratados con una estrategia de comunicación, bajo la cual, cada individuo puede votar a favor o en contra de la construcción del reservorio con las mismas reglas aplicadas bajo votación por mayoría simple. Sin embargo, cada uno de estos grupos tiene la oportunidad de comunicarse cara a cara con los cinco miembros del grupo durante cinco minutos antes de realizar su voto. Una vez pasados los cinco minutos, los jugadores deben ubicarse nuevamente de espaldas para realizar sus votos y poder seguir tomando sus decisiones de manera privada y confidencial. Vale la pena recordar que ningún otro grupo tiene la posibilidad de comunicarse durante el juego y que las decisiones siempre son individuales, confidenciales y anónimas.

En el Cuadro 2 se presenta un esquema resumen de la organización del juego de acuerdo a las fases, el número de rondas y los tratamientos.

Cuadro 2 Resumen de los tratamientos, rondas y fases

	CONTROL	TRATAMIENTO I	TRATAMIENTO II	TRATAMIENTO III
Rondas 1 – 6	Variación Natural	Variación Natural	Variación Natural	Variación Natural
Rondas 6– 12	Cambio climático	Cambio climático	Cambio Climático	Cambio climático
Rondas 13 - 21	Cambio climático	Adaptación por votación por mayoría simple	Adaptación por votación por mayoría simple con comunicación	Adaptación por aportes voluntarios

2.6 Zonas de estudio

Los experimentos se realizaron en el departamento de Boyacá, en los municipios de Chíquiza y Samacá, y en la región del Alto Chicamocha, en el municipio de Duitama (Ver mapa en la Figura 1). A continuación se presenta una breve descripción de cada una de estas zonas.

2.6.1 Chíquiza

El municipio de Chíquiza es un municipio situado en la zona centro occidental del departamento de Boyacá, a 30 km de la ciudad de Tunja y 170 km de la ciudad de Bogotá. Chíquiza tiene una extensión de 71 km² y cuenta con una población de 5,916 habitantes (Censo de 2005, DANE), se encuentra ubicada a 2,480 m.s.n.m. y tiene una temperatura promedio de 15 °C. El clima predominante en el territorio es seco y semidesértico.

El territorio de Chíquiza hace parte de las cuencas hidrográficas de los ríos Iguaque y Arcabuco, a los cuales afluyen varias quebradas alimentadas por lagunas que nacen en la zona de un área protegida de carácter nacional, conocida como el Santuario de Fauna y Flora de San Pedro de Iguaque. Un total de 135 predios pertenecientes a 6 veredas del municipio con un total de 3,014 Has, se encuentran dentro del área del santuario, lo que corresponde al 43.30% del área total (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2006).

El área del Santuario de Fauna y Flora de San Pedro de Iguaque contiene una representación de la vegetación andina de tipo xerofítico (adaptada al medio seco), un sistema de lagunas alto andinas, un área de páramo y subpáramo entre condiciones húmedas a secas, robledales y bosques andinos y alto andinos. Su estructura hidrológica es primordial para el suministro de aguas hacia la región circunvecina, en especial hacia las zonas secas subsidiarias. Varios de los nacimientos generados dentro del santuario surten los acueductos de las diferentes veredas de Chíquiza.

La base de la economía de Chíquiza se encuentra en la comercialización de productos agrícolas y lácteos. Se observan actividades de pastoreo de animales como ovejas, cerdos, bovinos y cabras, destinados para el consumo local. Los principales cultivos agrícolas son el maíz, la papa, la arveja, el trigo, los nabos, las íbias, las rubas y la cebolla.

El municipio de Chíquiza está conformado por dos comunidades principales, una de ellas corresponde a la zona central del municipio de Chíquiza, ubicada alrededor de un pequeño caserío que aunque es oficialmente el casco urbano del municipio, dadas sus difíciles condiciones de acceso, se ha relegado a un papel secundario en la zona. La otra es la comunidad de San Pedro de Iguaque, la cual no es oficialmente la zona urbana del municipio pero es sede de la alcaldía, y tiene un desarrollo relativamente mayor debido entre otras cosas a sus mejores condiciones de acceso.

Ambas comunidades se caracterizan por su alta dependencia en la actividad agrícola y por niveles marcados de pobreza y escaso acceso a educación y salud entre su población. Los juegos económicos experimentales fueron realizados en ambas comunidades por aparte.

Figura 1 Ubicación geográfica de los lugares donde se realizaron los juegos económicos experimentales



2.6.2 Samacá

El municipio de Samacá es un municipio situado en la zona centro del departamento de Boyacá, a 32 km de la ciudad de Tunja y 159 km de la ciudad de Bogotá. Samacá tiene una extensión de 160 km² y cuenta con una población de 18,800 habitantes (DANE, 2005), se encuentra ubicada a 2,660 m.s.n.m. y tiene una temperatura media entre 12 y 16 °C.

Samacá cuenta con gran riqueza de páramos y cuencas hidrográficas, como resultado de su ubicación. El río principal es el río Teatinos, que nace en el páramo del Rabanal, el cual cubre 17,800 hectáreas que se encuentran a una altitud entre los 2,690 y los 3,500 m.s.n.m. El páramo del Rabanal abastece de agua a cerca de 300,000 personas y nutre 92 acueductos locales; además genera el recurso para la central hidroeléctrica de Chivor, que es la principal productora de energía eléctrica del país.

Gracias a su riqueza hídrica el municipio cuenta con uno de los distritos de riego más antiguos del país. La Asociación de Usuarios de Samacá – ASUSA, cuenta con sistemas de suministro de agua construidos desde hace 70 años. El distrito de riego tiene una zona de influencia 3,044 hectáreas, y se abastece de las represas de Gachaneca I y Gachaneca II. La represa Gachaneca I tiene una capacidad de embalse de 4´720,000 m³ y la represa Gachaneca II tiene una capacidad de almacenamiento de 1´495,000 m³.

Las principales actividades económicas del municipio son la agricultura, la minería y la ganadería. Las condiciones del suelo, el clima y el agua ubican a Samacá entre los principales productores agrícolas, con productos como la papa, la arveja, el maíz y la remolacha. Con respecto a la minería, la explotación del carbón y la producción de coque son eje fundamental de la economía del municipio. Sin embargo, se observa rivalidad entre las dos actividades ya que la actividad minera usualmente se asocia a contaminación de aguas subterráneas, lo que afecta la calidad del agua para la actividad agrícola.

La comunidad de Samacá se encuentra mucho más integrada al mercado y aunque se compone principalmente por pequeños productores, sus condiciones socioeconómicas no son tan precarias como las de las comunidades de Chíquiza, lo que se explica en parte por el hecho que la disponibilidad de agua es mayor que en las dos comunidades de Chíquiza.

2.6.3 Alto Chicamocha

El Alto Chicamocha corresponde a la región que reúne la parte alta del río Chicamocha, y está conformada por los municipios de Cóbbita, Oicatá, Tuta, Sotaquirá, Tibasosa, Nobsa, Firavitoba e Iza, y las ciudades de Tunja, Duitama y Sogamoso. La Asociación de Usuarios del Distrito de Riego y Drenaje de Gran Escala del Alto Chicamocha y Firavitoba – USOCHICAMOCHA, es la encargada de administrar los recursos hídricos de los usuarios de la región. El distrito de riego es abastecido por la represa de La Copa en Tota.

La cuenca del Alto Chicamocha tiene una superficie aproximada de 1,536 km², con una elevación media de 2,950 m.s.n.m. y una pendiente media de 1.10%. A lo largo de la cuenca se observa la influencia de doce páramos, entre los cuales resaltan el páramo de Siachoque, el páramo de las Tronaderas, el páramo de Cortaderal, el páramo de Pesca, y el páramo de Bijagual, que hacen parte de las áreas de páramo que rodean al embalse de La Copa. En general, estos páramos presentan un nivel de conservación entre medio y bajo (Corpoboyacá, 2005).

Las principales actividades económicas de la región son la ganadería, la agricultura y la minería.

El ejercicio se desarrolló con comunidades de Duitama, Sogamoso, Nobsa y Tibasosa, quienes se reunieron en la sede de USOCHICAMOCHA, donde se realizaron los ejercicios experimentales. Estas comunidades se encuentran plenamente integradas al mercado y también se componen principalmente por pequeños productores, aunque es posible encontrar con mayor frecuencia productores medios y grandes.

3. Resultados

Durante el año 2012, en el mes de septiembre, se realizaron varios talleres para llevar a cabo los juegos económicos experimentales en las cuatro comunidades agrícolas del departamento de Boyacá, Colombia, mencionadas anteriormente. Un total de 120 individuos participaron en los talleres.

La reunión en el municipio de Chíquiza contó con la participación de 30 personas (6 grupos de 5 personas) y se llevó a cabo el día 14 de septiembre. La reunión en el corregimiento de San Pedro de Iguaque contó con un total de 30 personas (6 grupos de 5 personas), y fue realizada el día 15 de septiembre. Los días 16 y 17 de septiembre se realizaron juegos en el municipio de Samacá, con la participación de 25 personas (5 grupos). Por último, los días 18 y 19 de septiembre se realizaron juegos en la ciudad de Duitama, con un total de 35 participantes (7 grupos). En total, se realizaron 5 réplicas de la *línea base*, 7 réplicas del tratamiento de *aportes voluntarios*, 6 réplicas del tratamiento de *votación simple* y 6 réplicas del tratamiento de *comunicación* (ver Cuadro 3).

Cuadro 3 Número total de participantes en los juegos económicos experimentales por cada población y cada tratamiento

Localidad	Tratamientos				Total
	Línea Base	Aportes Voluntarios	Votación Simple	Comunicación	
Chíquiza	10	5	5	10	30
San Pedro de Iguaque	5	10	10	5	30
Samacá	5	10	5	5	25
Duitama	5	10	10	10	35
Total	25	35	30	30	120

En todos los casos, los jugadores fueron ubicados en círculo mirando hacia afuera, para garantizar la privacidad en las decisiones. Durante las primeras 12 rondas (fase I y fase II), todos los grupos fueron tratados bajo las mismas reglas explicadas en plenaria. Una vez terminada la fase II, cada monitor anunciaba el comienzo de la tercera fase, y realizaba una explicación para su grupo de las nuevas reglas. Ningún grupo tenía conocimiento previo de las reglas que recibirían durante la última fase.

Los resultados del experimento se centran en dos variables principales: las decisiones de extracción de agua bajo los diferentes estados del recurso, y las decisiones de adaptación al cambio climático.

3.1 Decisiones de uso de agua

3.1.1 Efecto de diferentes estados de disponibilidad

Como se explica en la metodología, el juego se divide en tres fases; en la primera fase (seis rondas), los jugadores tienen la posibilidad de enfrentar estados de reducción moderada en las lluvias, con una probabilidad de 25%. En la práctica, esta reducción ocurre en 24.3% de las rondas en todos los lugares. De esta primera fase se observa que cuando el estado de las lluvias es normal, la extracción promedio es de 5.6 unidades, mientras que cuando se

presentan períodos de reducción de las lluvias (estado bajo), la extracción de agua se aumenta a 6.4 (Cuadro 4). Este aumento en 0.8 unidades es estadísticamente significativo ($t=4.45$) e implica que los jugadores perciben que deben compensar la reducción en el patrón de lluvias con mayor extracción de agua del distrito, desconociendo que el mantenimiento de las reservas de agua para el distrito también depende de las lluvias.

Cuadro 4 Niveles promedio de extracción en cada fase, de acuerdo al estado del recurso

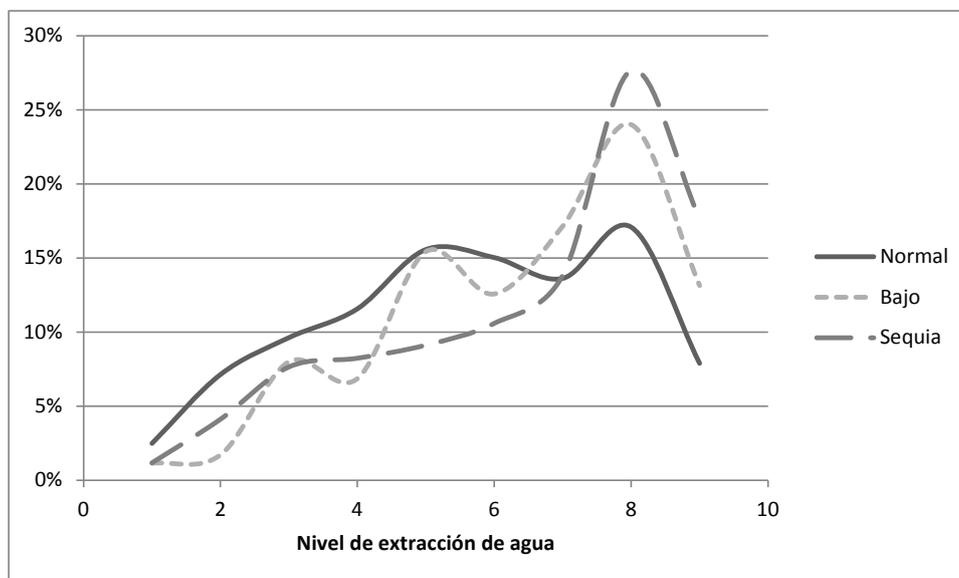
Fases del juego	Estado del clima			Total
	Normal	Bajo	Sequía	
Fase I – ciclos normales	5.57	6.39	.	5.77
Fase II – cambio climático	5.72	.	6.51	6.09
Fase III – posibilidad de adaptación	5.69	6.31	6.35	5.92
Total	5.65	6.34	6.46	5.93

En la segunda fase del juego se incluye el efecto del cambio climático, el cual no solo aumenta la severidad de los eventos climáticos sino que también los hace más frecuentes. El juego se diseñó para que ahora los eventos climáticos se observaran con una probabilidad del 40%. En la práctica, dichos eventos se presentaron en un 47% de las rondas, un valor superior al esperado. En esta segunda fase, la extracción de agua bajo condiciones normales fue de 5.7 unidades, que no es estadísticamente diferente al promedio extraído durante la primera fase en condiciones normales ($t=1.02$). Cuando los jugadores enfrentaron estado de sequía la extracción de agua se aumentó a 6.5 unidades en promedio. Este aumento de 0.8 unidades es significativo estadísticamente ($t=4.96$). Sin embargo, si se compara la extracción bajo reducciones moderadas de lluvia en la primera fase (estado bajo) con la extracción bajo reducciones extremas en la segunda fase (estado de sequía), estos promedios no son estadísticamente diferentes; es decir, el cambio en el patrón de consumo parece similar cuando se enfrentan a reducciones moderadas que cuando se enfrentan a reducciones extremas. Este resultado parece contra intuitivo; para dilucidar un poco sus alcances, se analiza la frecuencia con que cada nivel de extracción es decidido a lo largo del juego. En la Figura 2 se observa que en cualquier estado, el equilibrio de Nash (8 unidades) fue el nivel de extracción más frecuente. Sin embargo, en condiciones climáticas normales se observa una mayor proporción de niveles de extracción menores a 8 unidades, siendo los valores de 5 y 6 unidades también frecuentes. En estado bajo de lluvias aumenta la proporción de casos en que se extraen 8 y 9 unidades; sin embargo, también aumenta la frecuencia en que se extraen cinco unidades, convirtiéndose en una distribución que pareciera ser bimodal. Por su parte, cuando el nivel de lluvias se reduce hasta el nivel de sequía se alcanza la mayor proporción de casos de extracción de 8 unidades (también la de 9 unidades), y se reducen los otros niveles menores de extracción. Es decir, aunque en promedio se observan valores similares de extracción tanto en condiciones de baja disponibilidad y de sequía, este primer momento no captura que en realidad los jugadores sí están cambiando sus decisiones aumentando el nivel de extracción del recurso cuando las condiciones climáticas son más severas.

En la fase III, algunos grupos tienen la posibilidad de adaptarse al cambio climático. Sin importar si hay adaptación o no, la probabilidad de enfrentar cambios en los patrones normales del clima se mantiene en 40%; en la práctica, los eventos normales se presentaron en un 63% de las rondas. A su vez, en cerca de 21% de las rondas, los jugadores adoptaron estrategias de adaptación y pudieron asumir condiciones del recurso bajo, y en 16% de las rondas no hubo adaptación y los jugadores enfrentaron condiciones de sequía. Más adelante se analiza con detalle esta fase, donde existe la posibilidad de adaptación.

Aunque los resultados reportados hasta el momento se dan en promedios agregados por fase, el análisis también se puede observar a lo largo de las rondas de juego. En la Figura 3 se observa la evolución de la extracción individual promedio de agua durante las 21 rondas para cada una de las comunidades donde se realizaron los experimentos. Con respecto a las diferencias entre poblaciones, se observa que los niveles más altos de extracción promedio ocurren predominantemente en el municipio de Chíquiza, mientras que los niveles de extracción promedio más bajos corresponden a los municipios de Samacá y Duitama (Cuadro 5). En general, los niveles de extracción promedio son más bajos durante las primeras seis rondas, y tienden a aumentar de la séptima ronda en adelante; la ciudad de Duitama es la única población en la cual las extracciones promedio disminuyen pasadas las primeras seis rondas del juego.

Figura 2 Frecuencia relativa de uso de agua a cada nivel posible de extracción durante las fases I y II

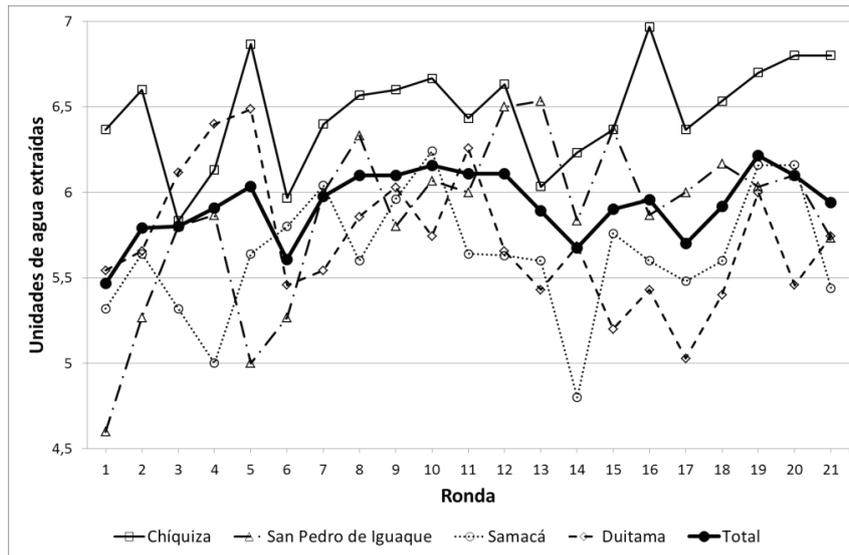


Cuadro 5 Comparaciones de niveles promedio de extracción entre localidades

Localidad	Extracción promedio	Chíquiza	San Pedro de Iguaque	Samacá
Chíquiza	6.47			
San Pedro de Iguaque	5.86	-0.61 ***		
Samacá	5.64	-0.83 ***	-0.22 *	
Duitama	5.72	-0.75 ***	-0.14 ns	-0.08 ns

*** significativo al 99% ** significativo al 95% * significativo al 90% ns no significativo

Figura 3 Trayectoria del promedio de decisiones de extracción de agua, a lo largo de las 21 rondas de juego para cada localidad analizada

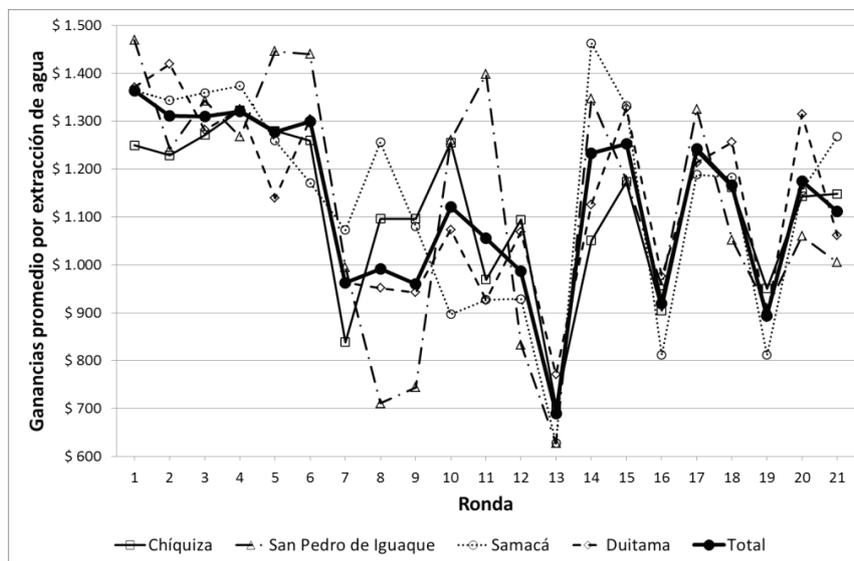


En la Figura 4 se observan las ganancias correspondientes a dichos niveles de extracción. De igual forma, las ganancias promedio tienden a ser más altas en las primeras rondas del juego (fase I), disminuyen fuertemente a partir de la ronda 6, cuando enfrentan cambio climático (fase II), y después de la ronda 13 aumentan levemente, probablemente como resultado de la adaptación al cambio climático (fase III). Durante la primera fase, cuando los jugadores enfrentan estado normal de lluvias, las ganancias promedio por ronda son de 1,422 puntos, mientras que cuando la condición del recurso pasa a bajo, las ganancias se reducen a 977 puntos (ver Cuadro 6); es decir, aunque los jugadores hacen el esfuerzo de aumentar el nivel de uso de agua para compensar el cambio en las condiciones del clima, las ganancias se reducen en cerca de 445 puntos y la diferencia es significativa ($t=49.3$).

Durante la segunda fase, cuando los jugadores enfrentan cambio climático, las ganancias pasan de 1,414 puntos en estado normal a 565 en estado de sequía, una fuerte reducción en ganancias de cerca de 849 puntos que es altamente significativa ($t=110$). Ahora, cuando se

compara el nivel de ganancias en estado bajo de la fase I con el de ganancias en estado de sequía de la fase II, la diferencia de más de 400 puntos es significativa estadísticamente ($t=46$). En la tercera fase, aquellos grupos que logran adaptarse al cambio climático y enfrentan estado bajo, suben sus ganancias de 576 a 805 puntos –después de pagar por la adaptación-, es decir cerca de 230 puntos más y esa diferencia es significativa ($t=10.3$); esto significa que quienes se adaptaron al cambio climático percibieron en promedio mayores beneficios.

Figura 4 Trayectoria del promedio de ganancias por ronda, a lo largo de las 21 rondas de juego para cada localidad analizada



Cuadro 6 Niveles promedio de ganancias en cada fase, de acuerdo al estado del recurso

Fases del juego	Estado del clima			Total
	Normal	Bajo	Sequía	
Fase I – ciclos normales	1,422	977	.	1,313
Fase II – cambio climático	1,414	.	565	1,013
Fase III – posibilidad de adaptación				
Antes de pagar por la adaptación	1,412	982	576	1,187
Después de pagar por la adaptación	1,294	805	576	1,076
Total	1,366	880	568	1,126

Como se mencionó anteriormente, la tendencia creciente de los niveles de extracción promedio parece estar relacionada con la ocurrencia de eventos negativos en el clima (tablas de disponibilidad baja de agua y de sequía). Para ello se realizó un análisis de la extracción promedio por comunidad, para cada uno de los estados del recurso, normal, bajo y sequía

(ver Cuadro 7), encontrando que en la mayoría de los casos existen diferencias significativas entre los promedios de extracción con una alta disponibilidad del recurso hídrico respecto a la extracción promedio con baja disponibilidad del recurso hídrico, y respecto a la extracción promedio con eventos de sequía.

Cuadro 7 Análisis estadístico de diferencias en el promedio de decisiones de extracción de agua, bajo cada uno de los tres estados del recurso: normal, bajo y sequía, para las poblaciones consultadas

Chíquiza			
Estado del Recurso	Extracción Promedio	Normal	Bajo
Normal	6.44		
Bajo	6.23	0.22 ns	
Sequía	6.83	-0.39*	-0.60**
San Pedro de Iguaque			
Estado del Recurso	Extracción Promedio	Normal	Bajo
Normal	5.63		
Bajo	6.53	-0.90 ***	
Sequía	6.18	-0.55 **	0.35 ns
Samacá			
Estado del Recurso	Extracción Promedio	Normal	Bajo
Normal	5.11		
Bajo	6.31	-1.20 ***	
Sequía	6.73	-1.62 ***	-0.42 **
Duitama			
Estado del Recurso	Extracción Promedio	Normal	Bajo
Normal	5.37		
Bajo	6.37	-1.00 ***	
Sequía	6.30	-0.94 ***	0.07 ns

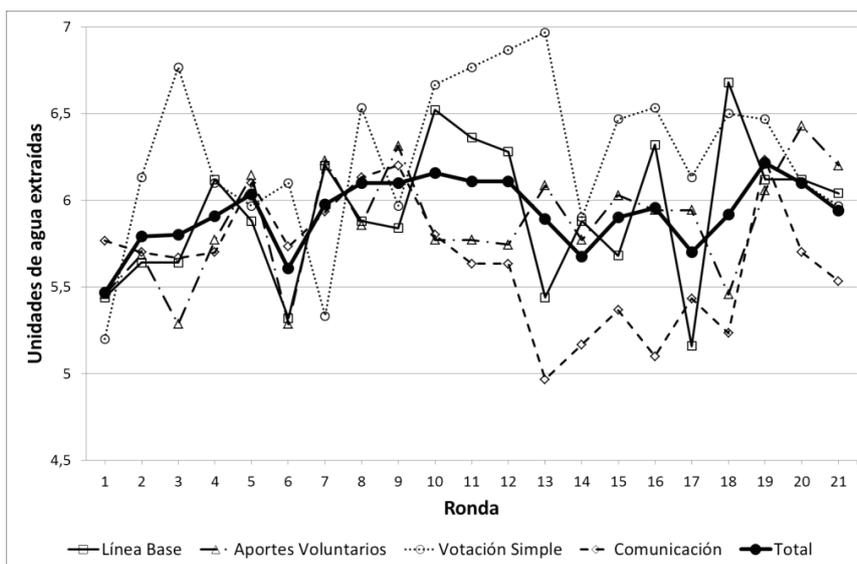
*** significativo al 99% ** significativo al 95% * significativo al 90% ns no significativo

Estos resultados muestran que la extracción promedio de agua a nivel de comunidad, también es mayor cuando hay menos agua disponible. De igual forma, en algunos casos, no se observan diferencias significativas entre las extracciones promedio con estado de recurso bajo y estado de sequía, indicando nuevamente que el efecto en el consumo de agua de una menor cantidad de agua disponible puede ser igual bajo condiciones naturales de poca lluvia como en condiciones de eventos extremos de sequía relacionados con el cambio climático.

3.1.2 Efecto de los tratamientos

Con respecto a las diferencias entre tratamientos, la Figura 5 muestra que, en general, durante las primeras seis rondas (Fase I), la extracción es similar entre los grupos, solamente hay una ronda en la que los grupos tienden a separarse, pero las diferencias no son significativas. En la segunda fase, cuando los participantes enfrentan cambio climático, el comportamiento se hace más errático, presentando una mayor variabilidad, donde los jugadores bajo el tratamiento de aportes voluntarios tienden a extraer más que los demás; las diferencias, sin embargo no son significativas con el resto de los grupos (excepto cuando se compara con el grupo de votación simple).

Figura 5 Trayectoria del promedio de decisiones de extracción de agua a lo largo de las 21 rondas de juego para los diferentes tratamientos



Cuando los jugadores llegan a la fase III donde se hace efectiva la posibilidad de adaptación, se observa en promedio que los participantes en grupos donde se juega la regla de votación simple tienden a extraer más (6.34 unidades por ronda) que los de los otros grupos, y las diferencias con ellos son estadísticamente significativos (Cuadro 8). Les siguen los grupos con la regla de aportes voluntarios (6 unidades por ronda) y los de línea base (5.9 unidades), que extraen –estadísticamente- la misma cantidad en promedio. Los grupos expuestos a la regla de comunicación son los únicos que extraen por debajo de la línea base, reduciendo la extracción de agua hasta 5.4 unidades en promedio. Esta reducción en extracción es estadísticamente menor que el promedio de los otros tres tratamientos.

En la Figura 6 se observa que las ganancias son afectadas de forma diferenciada por los tratamientos. De una parte, se observa que en las rondas 13, 16 y 19, cuando había la posibilidad de adaptarse, la inversión necesaria para lograr la adaptación hace reducir las ganancias promedio, excepto en los grupos expuestos a línea base, donde no hay dicha posibilidad. También se observa que las ganancias en los diferentes grupos tienden a ser similares. Para

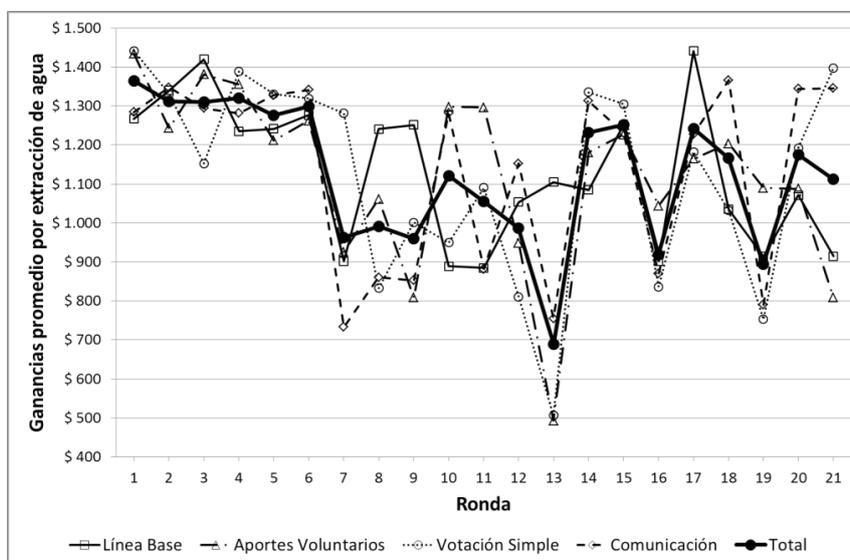
evaluar la posibilidad de diferencias estadísticamente significativas se comparan todos los resultados de los tratamientos en pares, como se observa en el Cuadro 9.

Cuadro 8 Comparaciones de niveles promedio de extracción entre tratamientos en Fase III

Tratamiento	Extracción promedio	Línea base	Aportes Voluntarios	Votación simple
Línea Base	5.94			
Aportes voluntarios	5.99	0.05 ns		
Votación simple	6.34	0.40 **	0.35 *	
Comunicación	5.41	-0.52 **	-0.58 ***	-0.92 ***

*** significativo al 99% ** significativo al 95% * significativo al 90% ns no significativo

Figura 6 Trayectoria del promedio de ganancias correspondientes a la extracción, a lo largo de las 21 rondas de juego para los diferentes tratamientos



El Cuadro 9 muestra que las diferencias en ganancias entre los jugadores expuestos a línea base, y aquellos expuestos a los tratamientos de aportes voluntarios y de votación simple, no son estadísticamente significativas. El único tratamiento que genera ganancias estadísticamente diferentes, y mayores, es el de comunicación, resultado coherente con otros juegos experimentales donde se permite la interacción entre jugadores para la toma de decisiones (Alpizar et al., 2011; Cardenas et al., 2004; Hackett et al., 1994; Ledyard, 1995; Sally, 1995).

Cuadro 9 Comparaciones de niveles promedio de ganancias entre tratamientos en Fase III

Tratamiento	Ganancias promedio	Línea base	Aportes Voluntarios	Votación simple
Línea Base	1,079			
Aportes voluntarios	1,033	-46 ns		
Votación simple	1,060	-19 ns	27 ns	
Comunicación	1,138	58 *	104 ***	78 **

*** significativo al 99% ** significativo al 95% * significativo al 90% ns no significativo

3.1.3 Estimación paramétrica

Una forma de evaluar el efecto de las diferentes condiciones del recurso y de los tratamientos, controlando por otras características, es a través de un modelo econométrico que explique las decisiones de extracción en cada ronda. Dado que cada individuo toma decisiones a lo largo de las 21 rondas del juego, los datos se tratan como un panel donde se consideran los efectos intra-jugador e inter-jugadores de forma separada. Para hacerlo se usan dos modelos econométricos: uno de ellos es un modelo de efectos aleatorios por mínimos cuadrados generalizados para datos de panel; el otro, es un modelo de Poisson ajustado para datos de panel. Este segundo modelo se usa bajo la condición de que la variable explicada, la extracción, toma valores discretos entre 1 y 9, y por tanto tiene una distribución de Poisson, con media igual a la varianza; teniendo en cuenta que los datos para extracción presentan una media de 5.93 y una varianza de 4.81, no se sugieren sesgos por efecto de sobre dispersión.

Ambos modelos se reportan en el Cuadro 10, y las variables explicativas incluyen:

- Estado del clima: variables categóricas dummy para el estado del clima, que puede ser bajo o sequía.
- Tratamientos: variables categóricas dummy para cada uno de los cuatro tratamientos incluidos: línea base, aportes voluntarios, votación simple y comunicación.
- Adopción de estrategias de adaptación: variables categóricas dummy para indicar cuando el individuo se encontraba en una ronda y en un grupo donde se había tomado la decisión de adaptación, discriminado por tratamientos.
- Lugares: variables categóricas dummy para cada una de las cuatro comunidades (la omitida es Samacá).
- Percepción sobre el cambio climático: en la encuesta posterior a los juegos se les preguntaba a los participantes si ellos percibían que los períodos de sequía eran más cortos, más largos

o no habían cambiado con respecto a 10 años atrás. Igualmente, se les preguntaba por su percepción sobre la temperatura ambiental: si pensaban que había aumentado, disminuido o no había cambiado. Se usan variables categóricas para cada una de estas respuestas.

- Actividad agrícola: para controlar por características propias de la actividad agrícola de cada jugador se incluyen dos variables: el número de parcelas que sembró durante el primer semestre de 2012, y el área agregada de la superficie dedicada a cultivos en ese semestre.
- Características individuales: se evaluó la pertinencia de incluir variables que consideren el género, la edad, la educación y el ingreso de los participantes. Una de las variables que captura mucho del efecto individual es el nivel de educación, variable incluida en este modelo.

El análisis econométrico confirma que efectivamente la presencia de los estados bajo o de sequía incentivan a los jugadores a extraer una mayor cantidad de agua; en promedio, los participantes extraen 12-13% más, lo que equivale a 0.7-0.8 unidades; sin embargo, el aumento en la cantidad de agua que se extrae bajo los dos escenarios de reducción de lluvias no difiere estadísticamente. A su vez, el tratamiento de votación simple es el único que indujo a un aumento significativo en el consumo de agua. Adicionalmente, los grupos bajo el tratamiento de comunicación, logran reducir su extracción de forma significativa durante los periodos con adaptación, a diferencia de los demás tratamientos donde no se observan efectos significativos.

En cuanto a los lugares donde se realiza el ejercicio, en la comunidad de Chíquiza es donde más se extrae el recurso, y la diferencia es significativa comparada con los resultados en otros lugares. Por otra parte, las percepciones tienen efectos significativos sobre la forma en que las personas toman sus decisiones de extracción, aunque algunas veces asociadas a efectos positivos y otras veces asociadas a efectos negativos.

La actividad agrícola propia también afecta las decisiones de los jugadores; en general, tener mayor cantidad de parcelas y mayor área sembrada induce a los jugadores a reducir el nivel de extracción. Finalmente, la educación tiene un efecto positivo sobre la extracción: personas más educadas tienden a extraer un poco más.

Este análisis econométrico confirma los resultados no paramétricos: el estado del recurso afecta los niveles de extracción, aunque no hay diferencias estadísticas entre el estado bajo y el de sequía, en términos del aumento en el uso del agua; y la comunicación le permite al grupo llegar a enfrentar el cambio climático reduciendo la extracción, mientras que otras estrategias no lo logran.

Cuadro 10 Análisis econométrico de las decisiones de extracción

Variable	Unidades	Coefficiente Poisson	Coefficiente GLS	Valor medio
<i>Estado del clima</i>				
Estado bajo	1 sí, 0 no	0.121 ***	0.723 ***	0.160
Estado de sequía	1 sí, 0 no	0.137 ***	0.826 ***	0.203
<i>Tratamientos</i>				
Aportes voluntarios	1 sí, 0 no	0.030 ns	0.212 ns	0.280
Votación simple	1 sí, 0 no	0.107 **	0.699 **	0.254
Comunicación	1 sí, 0 no	0.005 ns	0.069 ns	0.254
<i>Adopción de estrategias de adaptación</i>				
Adaptación en AV	1 sí, 0 no	0.040 ns	0.225 ns	0.065
Adaptación en VS	1 sí, 0 no	0.031 ns	0.182 ns	0.091
Adaptación en CO	1 sí, 0 no	-0.094 ***	-0.507 ns	0.097
<i>Lugares</i>				
Chíquiza	1 sí, 0 no	0.174 ***	1.053 ***	0.254
San Pedro	1 sí, 0 no	0.054 ns	0.331 ns	0.254
Duitama	1 sí, 0 no	-0.012 ns	-0.065 ns	0.280
<i>Percepción sobre el cambio climático</i>				
Sequías más cortas	1 sí, 0 no	-0.256 ***	-1.374 ***	0.093
Sequías más largas	1 sí, 0 no	-0.012 ns	-0.055 ns	0.703
Menor temperatura	1 sí, 0 no	0.113 *	0.739 **	0.119
Mayor temperatura	1 sí, 0 no	0.102 **	0.589 **	0.729
<i>Actividad agrícola</i>				
Parcelas	Número	-0.005 ns	-0.027 ***	1.847
Area cultivos	Hectáreas	-0.010 ns	-0.058 **	1.582
<i>Características individuales</i>				
Educación	Años	0.007 **	0.043 *	7.449
Constante		1.546 ***	4.526 ***	
Número de observaciones	=		2478	
Número de grupos	=		118	
Wald chi2(18)	=		122.56	
Prob > chi2	=		0.000	

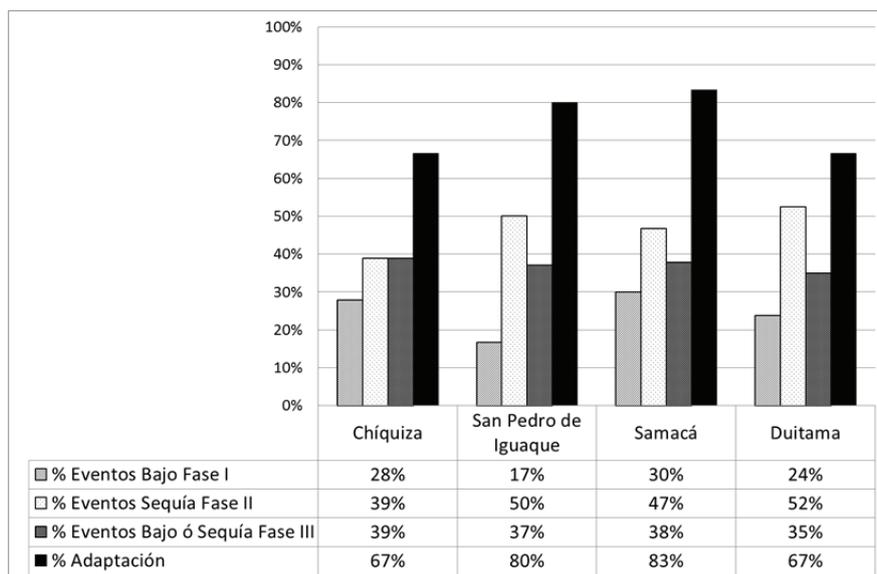
*** significativo al 99% ** significativo al 95% * significativo al 90% ns no significativo

3.2 Adaptación al cambio climático

Durante las últimas nueve rondas del juego, que corresponden a la tercera fase, los jugadores tienen la posibilidad de adaptarse. Esta adaptación puede ser explicada, entre otras, por la presencia de eventos climáticos durante el juego. En la Figura 7 se observa el porcentaje de ocurrencia de eventos para cada una de las fases en cada una de las comunidades analizadas, así como el porcentaje de adopción de la estrategia de adaptación en cada una de ellas. Las tasas de adaptación para los tratamientos con posibilidad de adaptarse fluctúan entre 67 y 83%, con un promedio de 74%. Dicho nivel de adaptación ocurre bajo un promedio de 36% de eventos negativos en la disponibilidad del recurso, tanto disponibilidades bajas como sequías, a lo largo de las 21 rondas que componen el juego.

El Cuadro 11 presenta un resumen de los porcentajes promedio de inversión en adaptación y de eventos negativos en el recurso hídrico, por población y tratamiento. El municipio con el mayor porcentaje de eventos negativos fue Samacá, con un 38%; a la vez que fue el lugar donde la tasa de adaptación fue mayor, con 83%. Por su parte, el corregimiento de San Pedro de Iguaque presentó el menor porcentaje de eventos negativos (35%), pero obtuvo a su vez el segundo mayor porcentaje de adaptación (80%). Las localidades de Chíquiza y Duitama presentaron el mismo porcentaje promedio de adaptación (67%), con un porcentaje promedio de eventos negativos también muy similar (36-37%).

Figura 7 Porcentaje promedio de ocurrencia de eventos con estado del recurso bajo o en sequía para la fase I (6 rondas), fase II (6 rondas) y fase III (9 rondas), seguido por el porcentaje promedio de inversiones en adaptación durante la tercera fase (9 rondas), para cada una de las poblaciones consultadas



Cuadro 11 Porcentaje promedio de ocurrencia de eventos con estado del recurso bajo o en sequía en el total de rondas jugadas (21 rondas), y porcentaje promedio de inversiones en adaptación durante la tercera fase (9 rondas). Los resultados se presentan por población y por tratamiento

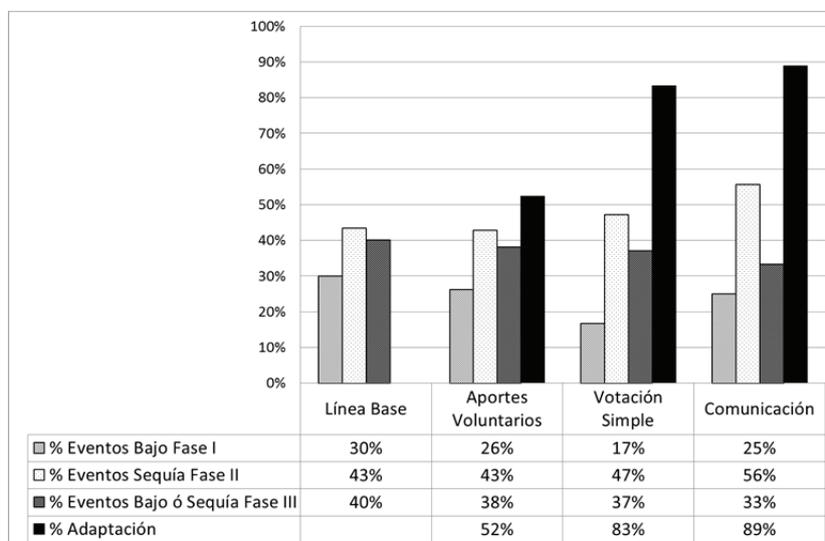
Localidad	Tratamientos							Total	
	Línea Base	Aportes Voluntarios		Votación Simple		Comunicación			
	Evento	Evento	Adaptación	Evento	Adaptación	Evento	Adaptación	Evento	Adaptación
Chíquiza	29%	43%	100%	38%	33%	38%	67%	36%	67%
San Pedro	38%	33%	50%	38%	100%	29%	100%	35%	80%
Samacá	38%	33%	67%	43%	100%	43%	100%	38%	83%
Duitama	57%	38%	17%	24%	83%	38%	100%	37%	67%
Total	38%	36%	52%	34%	83%	37%	89%	36%	74%

Con respecto a los tratamientos, el mecanismo de aportes voluntarios genera la tasa más baja de adaptación con solo el 52% en general y apenas el 17% en Duitama. El segundo tratamiento más efectivo en lograr la adaptación es el mecanismo de votación simple, con una tasa de adaptación del 83%, aunque en Chíquiza solo fue exitoso en el 33% de los casos. Finalmente, el mecanismo de comunicación previa a la votación genera las tasas de adaptación más altas con el 89% de éxitos reportados. La comparación entre votación simple y comunicación muestra que el efecto de comunicación, conocido como “cheap talk,” (Ostrom et al., 1994), incrementa las tasas de adaptación en todas las localidades, incluso cuando el porcentaje de eventos es menor. En la Figura 8 se observa la ocurrencia de eventos a lo largo del juego, diferenciando por fases. Se observa cierta correlación entre la ocurrencia de eventos extremos en la Fase II y la adopción de estrategias de adaptación en la fase III.

Estos resultados muestran la importancia de las estrategias de adaptación y cómo ellas pueden variar de lugar a lugar, probablemente debido a características propias tales como la inserción en el mercado, los arreglos institucionales existentes, la heterogeneidad y el capital social de los grupos, entre otras. Por ejemplo, Chíquiza, donde el mecanismo más efectivo fue el de aportes voluntarios, se caracteriza por ser una comunidad aislada del mercado, pequeña, con dificultades de acceso, donde no existe un distrito de riego y donde las obras comunes (como arreglos al acueducto) dependen de la participación de toda la comunidad. Allí se puede inferir un alto capital social –y presumiblemente mayor control social- que lleva a los participantes a ser menos propensos a ser polizones (*free riders*) de los aportes de los demás. En el otro extremo se encuentra Duitama, una comunidad ubicada en una ciudad intermedia, completamente integrada a los mercados, con actores muy heterogéneos, mayores niveles de ingreso y de educación, con un distrito de riego funcional y organizado. Allí, los intereses individuales son mucho más fuertes y el capital social –junto con el control social- puede ser menor, lo que presumiblemente incentivó más a los participantes a aportar valores bajos y esperar que los demás hicieran el aporte suficiente para lograr la adaptación.

Una forma de revisar estos efectos es a través de un ejercicio paramétrico que permita relacionar la decisión de adaptación con características del juego, de la localización y de los individuos.

Figura 8 Porcentaje promedio de ocurrencia de eventos con estado del recurso bajo o en sequía para las tres fases, seguido por el porcentaje promedio de inversiones en adaptación durante la tercera fase (9 rondas), para cada tratamiento



3.2.1 Estimación econométrica

La decisión de adaptación al cambio climático es una variable de interés en este documento. Como se ha visto, esta decisión depende de varias características que pueden actuar simultáneamente. Para entender un poco mejor este proceso, se analiza la adaptación en un modelo econométrico. En este modelo se busca explicar qué motiva a los jugadores a querer adoptar una estrategia de adaptación para su comunidad (grupo). Sin embargo, esta decisión se manifiesta de formas diferentes dependiendo del tratamiento al que se encuentra expuesto el jugador. En los grupos de votación simple y comunicación, la disponibilidad a adoptar la estrategia se manifiesta a través de un voto de aprobación o desaprobación. En los grupos de aportes voluntarios, esta disponibilidad se manifiesta a través de un valor en términos de puntos para la construcción del reservorio.

Para hacer el análisis, se construye una variable llamada Intención, la cual expresa las decisiones en términos de los valores monetarios equivalentes que los jugadores estarían dispuestos a aportar para la construcción del reservorio, como mecanismo de adaptación. Para el caso del tratamiento de aportes voluntarios, este valor ya se ha expresado en puntos o pesos. Para los casos de los tratamientos de votación simple y comunicación, la conversión es la siguiente: cuando el individuo vota a favor, se asume que su disponibilidad a pagar es de 500 puntos, que es el aporte obligatorio en el caso de que exista consenso sobre la construcción del reservorio. Otra transformación que se hace es que dado que la inversión de adaptación es útil por tres rondas, estos valores se dividen entre tres y cada tercio se le asigna a cada una de las rondas respectivas. Esta corresponde a la variable dependiente del modelo.

Entre las variables independientes se incluyen variables relacionadas con los tratamientos utilizados y con los lugares o comunidades incluidas. Con respecto al juego mismo, se controla

por la ronda de juego en la tercera fase, así como por el número de rondas durante las fases I y II en las que el individuo se enfrentó tanto a estado bajo como a estado de sequía. Adicionalmente, se incluyen tres variables asociadas a los individuos:

- Una variable categórica que captura si el individuo ha percibido cambios en las condiciones climáticas en los últimos 10 años.
- Una variable categórica que captura si el individuo ha emprendido acciones relacionadas con cambio en el uso del suelo como respuesta a cambios en las condiciones climáticas.
- Una variable que permita aproximar el nivel de ingresos de la persona.

El modelo econométrico está basado en el formato de panel de la base de datos, usando la información de la última fase del juego y estima por mínimos cuadrados generalizados con efectos aleatorios el impacto de estas variables sobre la decisión de aportar a la construcción del reservorio como medida de adaptación. Los resultados se presentan en el Cuadro 12.

En el modelo econométrico se observa que efectivamente los tratamientos inducen a los jugadores a aportar para la adaptación y que el esquema de aportes voluntarios es el que mayores incentivos genera, aunque la diferencia entre los tratamientos no es significativa. Las rondas generan un efecto negativo, lo que implica que los jugadores van reduciendo su disponibilidad a pagar conforme pasa el juego en la fase III. Sin embargo, los resultados durante las fases I y II no parecen generar un efecto definitivo sobre la disponibilidad a contribuir para adaptarse.

Las tres variables individuales muestran efecto sobre la disponibilidad a contribuir: individuos que piensan que el clima ha cambiado en los últimos años, que han hecho actividades para enfrentar los cambios del clima y que tienen mayores ingresos, son más propensos a aportar para incurrir en inversiones que permitan enfrentar el cambio climático.

4. Discusión

El objetivo central de este estudio es analizar el efecto del cambio climático sobre el comportamiento de las comunidades agrícolas en la explotación de los recursos hídricos provenientes de la alta montaña. Este objetivo se alcanza a través de responder dos preguntas de investigación: ¿cómo cambios en la disponibilidad de agua –resultado del cambio climático– afectan las decisiones acerca de su uso como insumo productivo en comunidades agrícolas que dependen de glaciares y fuentes de agua de alta montaña para su provisión?, y ¿cómo diferentes instituciones o mecanismos de asignación para las decisiones de adaptación afectan el aprovechamiento y la gestión del agua en un escenario de cambio climático?

Cuadro 12 Estimación econométrica de la decisión de adoptar la estrategia de adaptación

VARIABLES	UNIDADES	COEFICIENTE	
<i>Tratamientos</i>			
Votación simple	1 sí, 0 no	154.92	***
<i>Comunicación</i>			
Aportes voluntarios	1 sí, 0 no	166.96	***
<i>Lugares</i>			
Chíquiza	1 sí, 0 no	-8.880	Ns
San Pedro	1 sí, 0 no	-0.395	Ns
Duitama	1 sí, 0 no	-36.880	Ns
<i>Juego</i>			
Ronda	1 a 9 en fase III	-5.459	***
Rondas previas Bajo	Número de rondas	8.762	Ns
Rondas previas Sequía	Número de rondas	-7.218	Ns
<i>Individuales</i>			
Cambios en uso del suelo	1 sí, 0 no	77.891	**
Ingresos	SMMLV ^a	10.292	*
Percepción de cambio en la temperatura	1 sí, 0 no	68.361	**
Constante		-3.453	Ns
Observaciones		1,053	
Individuos		117	
Wald chi2(12)		135.58	
Prob > chi2		0.000	

^a salarios mínimos mensuales legales vigentes

*** significativo al 99% ** significativo al 95% * significativo al 90% ns no significativo

El primer resultado que llama la atención del juego experimental diseñado para responder estas dos preguntas es que cuando aparecen eventos climáticos que reducen la disponibilidad de agua de lluvia, los individuos reaccionan aumentando el uso de agua –superficial en este caso- disponible a través de los distritos de riego o reservorios, a pesar de que esto aumenta la presión sobre el agua disponible. Es decir, los jugadores utilizan la fuente de agua superficial como sustituto del agua de lluvia, aunque con ello parecen ignorar el hecho de que la disponibilidad de agua superficial también depende de las condiciones climáticas. Por ser considerado un recurso de uso común, esta decisión compensa marginalmente la disminución en las ganancias, pero la sobreutilización grupal las reduce y finalmente no es posible recuperar el nivel de ganancias con el esfuerzo adicional. En general, los individuos no reconocen que reducir la extracción de agua podría generar un beneficio mayor.

También se observa que esta presión adicional sobre las fuentes de agua parece ser similar en los dos escenarios de escasez: cuando el recurso se reduce moderadamente (estado bajo) a cuando se reduce drásticamente (estado de sequía). Este resultado parece contra intuitivo; sin embargo, una vez se exploran los datos con mayor detalle se encuentra la explicación. Aunque los valores promedio del uso de agua son similares en los dos escenarios de escasez, la distribución de los mismos varía significativamente en cada caso: cuando se presentan condiciones moderadas de reducción de agua (estado bajo) se observa una distribución bimodal; algunos jugadores concentran la extracción en 5 unidades, mientras otro grupo aumenta la extracción al nivel de 8 unidades, causando que el promedio aumente en comparación con el estado normal. Cuando las condiciones se tornan severas (sequía), la distribución se concentra en torno al nivel de ocho unidades, pero la frecuencia de extracción de otros niveles hace permanecer el valor medio a un nivel similar. En general, los resultados son consistentes con las observaciones de Blanco et al. (In Press) en la cuenca de Coello (Tolima, Colombia), donde encuentran que el stock disponible del recurso hídrico afecta las decisiones de extracción, dependiendo de la magnitud del cambio en la disponibilidad del recurso; cuando el recurso se vuelve escaso pero todavía es sostenible, se observa una distribución bimodal en las extracciones, pero cuando el recurso entra en peligro de extinción, se observa una intensificación en las estrategias no-cooperativas, agotando el recurso. Sin embargo, los autores no pueden distinguir si dicho comportamiento es el efecto del riesgo de agotamiento del recurso o de la diferencia de pagos entre el estado alto y bajo. En nuestro experimento, teniendo en cuenta que las ganancias de extracciones por encima del equilibrio de Nash son menores respecto al Nash, podríamos afirmar que es la disponibilidad del recurso lo que genera su sobreexplotación.

Una lección a considerar de esta observación es la necesidad de no basarse únicamente en los valores promedios para el análisis de los resultados. De hecho, un ejercicio rápido de comparación de medianas basada en la prueba de Wilcoxon, muestra que estas distribuciones son estadísticamente diferentes con una significancia del 10%.

El segundo resultado de interés es que las estrategias de adaptación no generan una reducción significativa en los niveles de extracción de agua y, por el contrario, una vez adoptadas tienden a incentivar un aumento en el uso del líquido. La reacción es previsible si se entiende que los jugadores usan el mecanismo de adaptación como un seguro que les permite protegerse contra eventos extremos, y una vez hecha la adaptación, ellos buscan recuperar la inversión realizada en las obras propuestas (Riesgo Moral). Solamente en el caso de la estrategia de comunicación es posible observar una ligera reducción en el promedio de uso de agua, en cerca de media unidad. Cuando los jugadores tienen la posibilidad de comunicarse entre sí, pueden no solo consolidar la posibilidad de invertir en la estrategia de adaptación sino que también pueden discutir sobre la posibilidad de acercarse a los óptimos sociales de decisión, reduciendo el nivel individual de extracción. Bastante literatura ha analizado el efecto de la comunicación sobre las decisiones de uso de recursos de uso común o bienes públicos, y las razones van desde la mejora en el entendimiento del juego hasta efectos persuasivos por parte de líderes o la creación de identidad de grupo (Buchan et al., 2006; Bochet et al., 2006; Ostrom et al., 1994; Bochet y Putterman, 2008, Ostrom et al., 1994).

Un tercer resultado de interés se observa en el análisis del efecto de los tratamientos sobre la disponibilidad a pagar por la estrategia de adaptación (intención). Varios estudios en la literatura

han estudiado la provisión de bienes públicos con umbral, bajo esquemas de contribución binaria “todo o nada” (van de Kragt et al., 1983; Rapoport y Eshed-Levy, 1989; McBride, 2006), similares a los propuestos a través de los tratamientos con votación; bajo esquemas de contribución discreta (Suleiman y Rapoport, 1992; Menezes et al., 2001); y bajo esquemas de contribución continua, similares al propuesto a través del tratamiento de aportes voluntarios (Bagnoli y Lipman, 1989; Palfrey y Rosenthal, 1990; Bagnoli y McKee, 1991; Cadsby y Maynes, 1999; Fischbacher y Gaechter, 2008; Dannenberg et al., 2011).

Cadsby y Maynes (1999) encuentran que las contribuciones continuas respecto a las binarias, aumentan significativamente la contribución y facilitan la provisión. Los coeficientes que recogen el efecto sobre la intención para cada uno de los tratamientos en este experimento parecen concordar con dichos resultados, siendo aportes voluntarios el tratamiento que genera la mayor intención, seguido por la comunicación y por último votación simple, aunque dichas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Una posible explicación para tal insignificancia, se observa en el esquema bajo el cual fue construido el tratamiento de votación, donde el aporte de cada individuo está sujeto a una decisión democrática, mientras que en los experimentos más comunes con aportes binarios, la decisión de aportar es individual y voluntaria. De igual forma, el umbral de provisión del bien público está definido por lo general, por un número de jugadores que se encuentra por debajo del tamaño del grupo; en nuestro experimento el umbral se encuentra bajo unanimidad en los aportes.

Otra variable de gran influencia sobre la cooperación es la cooperación condicional, que se refiere a la percepción del individuo sobre la cooperación de los demás (Fischbacher et al., 2001). Sin embargo, Fischbacher y Gaechter (2008) concluyen que en experimentos sobre bienes públicos con umbral, los individuos en realidad se comportan como cooperadores condicionales imperfectos, lo cual lleva a la disolución de la cooperación en el tiempo, incluso en la ausencia de *free riders*. Este resultado se mantiene al realizar comparaciones entre países (Kocher et al., 2008), dentro de países (Herrmann y Thoni, 2009) y entre grupos sociales (Martinsson et al., 2009)

Por otra parte, Dannenberg et al. (2011) realizan un experimento económico de laboratorio para evaluar el efecto de la incertidumbre y la ambigüedad acerca del umbral de provisión, sobre la cooperación en la producción de un bien público con aportes continuos. En este experimento, de manera similar al nuestro, el bien público no representa una ganancia o beneficio para la sociedad sino la evasión de una pérdida, que en nuestro caso es un mecanismo de adaptación al cambio climático. Estos autores concluyen que bajo incertidumbre, la igualdad de los aportes iniciales es fundamental para mantener la cooperación durante las siguientes rondas del juego. Esto es consistente con nuestros resultados, donde en la mayoría de los casos la adaptación fue exitosa en la primera ronda de decisión; sin embargo, en algunos casos, los aportes se encontraban muy encima del umbral y con una alta varianza (datos no mostrados), de modo que para la siguiente ronda de decisión la cooperación disminuía y la adaptación ya no era exitosa.

En este sentido, es importante generar mecanismos institucionales que permitan mantener la cooperación en el tiempo. Se requieren por lo tanto no solo medidas de política pública que desincentiven el comportamiento de los *free riders*, sino medidas adicionales que permitan

mantener la confianza dentro de los cooperadores condicionales. Algunas de estas medidas incluyen mecanismos como la comunicación dentro del grupo, y la inclusión endógena de premios y castigos, impuestos generalmente a través de la votación (Tyran y Feld, 2006; Rauchdobler et al., 2009; Sutter et al., 2010).

Fischer y Nicklisch (2007) presentan un buen ejemplo de cooperación condicional, al estudiar el efecto de la votación *ex interim* sobre la cooperación en la provisión de un bien público con umbral, donde los individuos primero proponen sus aportes y luego deciden por votación, sujeto a los aportes alcanzados, si quieren proveer el bien público o no (con reembolso en caso de desistir de la provisión). Encuentran que únicamente la votación por unanimidad es un buen mecanismo para promover la cooperación, mientras que los aportes obtenidos bajo esquemas de votación por mayoría simple son iguales a los obtenidos bajo esquemas de votación pública sin efectos en la provisión del bien. En este sentido, la votación por mayoría simple podría no ser suficiente para generar y mantener la cooperación; en nuestro experimento la comunicación fue un buen mecanismo de apoyo para mantener la cooperación condicional, al incluir la comunicación en nuestro experimento no solo se aumentó el coeficiente de intención a adaptarse, sino que a su vez los resultados de adaptación fueron obtenidos en su mayoría por unanimidad.

Otras variables a tener en cuenta en la provisión de bienes públicos con umbral incluyen la devolución o no de los aportes (Menezes et al., 2001), la existencia de información imperfecta sobre las preferencias de los individuos (Palfrey y Rosenthal, 1984; Palfrey y Rosenthal, 1990), y el nivel de heterogeneidad u homogeneidad en el grupo (Bagnoli y McKee, 1991). En este sentido, también es de resaltar que los resultados varían entre las comunidades analizadas, por lo que es importante considerar aspectos relacionados con el nivel de ingresos y de pobreza de las comunidades, su integración al mercado, la existencia de distritos de riego y la eficacia en su manejo, así como la forma en que diferentes instituciones afectan las decisiones tomadas dentro de las comunidades. En general se observa que en las primeras dos fases, la comunidad de Chíquiza, caracterizada por ser una población de bajos ingresos, aislada del mercado y con características climáticas de mayor escasez de agua y sin un distrito de riego para la actividad agrícola, presenta los mayores niveles de uso de agua, siendo significativamente superior a las otras tres comunidades. A la vez, esta comunidad, donde las condiciones más precarias pueden implicar también un mayor nivel de capital social, tendió a ser más responsable con las decisiones comunales y por tanto, estrategias como las de aportes voluntarios resultaron ser efectivas. En el otro extremo, comunidades con mayores niveles de ingreso, mayor integración al mercado y –por tanto- menor dependencia en el capital social, tienden a tener actitudes más individualistas y la propensión a comportarse como polizones (*free riders*) es mayor. En esos casos, las estrategias de aportes voluntarios fueron menos efectivas, mientras que la votación pudo ser un mecanismo más efectivo para la adopción de las estrategias de adaptación. En la mayoría de los casos, sin embargo, la estrategia de comunicación incentiva la adopción de las estrategias de adaptación.

Varias lecciones surgen de este ejercicio, que pueden ser utilizadas para proponer futuras líneas de investigación, como se muestra a continuación.

Uno de los temas de mayor debate en los ejercicios de experimentos económicos es la representatividad de los asistentes. Así como se define una muestra aleatoria de una población

para una encuesta, los juegos deberían garantizar mecanismos donde se garantice aleatoriedad en alguno(s) de los atributos de la comunidad, por ejemplo, si se quiere que sean agricultores, pequeños o medianos, propietarios, etc., de forma que la muestra sea de alguna forma un reflejo de la comunidad analizada y de la población objetivo. En este sentido, los mecanismos de convocatoria deben prever incluir las diferentes sub-poblaciones e incluir adecuadamente a la población objetivo y debe buscarse que se haga a través de diferentes medios para evitar concentraciones de los invitados asociados a un solo sub-grupo. En el mismo sentido, la realización de visitas previas a las comunidades donde se van a realizar los juegos, y el establecimiento de contactos con diferentes agentes de la comunidad permite entender mejor la dinámica de la población, así como algunas condiciones propias de la comunidad que deban ser tenidas en cuenta al momento de la convocatoria y de la definición de la muestra.

Otro tema a analizar es la decisión de usar diferentes niveles de pago de los incentivos en las diferentes comunidades (Levitt y List, 2007). En comunidades muy pobres, un pago excesivamente alto puede sesgar las respuestas y conducir a los jugadores a tomar decisiones poco relacionadas con la realidad; adicionalmente, si la comunidad es pequeña se generaría una inflación temporal por el influjo abrupto de recursos en la comunidad. Por otro lado, una comunidad cuyo ingreso promedio es relativamente mayor puede percibir el pago como insuficiente para generar incentivos adecuados en la toma de decisiones, conduciendo a resultados espurios. Las visitas exploratorias a las zonas de trabajo para mejorar el conocimiento de las condiciones de las comunidades puede ayudar a resolver este y otros aspectos relacionados con los ajustes del modelo y del juego a las condiciones particulares. Las mismas visitas exploratorias serían de utilidad para conocer más sobre las condiciones productivas de la región: principales cultivos, métodos de producción, actividades alternativas, fuentes de agua para la actividad agrícola. Igualmente, es importante conocer sobre la presencia de distritos de riego, las capacidades de los mismos, problemas y oportunidades de las asociaciones a cargo de los distritos y las características específicas del funcionamiento de los distritos de riego, que servirán para contextualizar mejor los ejercicios experimentales.

Finalmente, en relación al diseño del experimento hay que tener en cuenta que algunas modificaciones en el diseño del juego pueden llegar a generar resultados diferentes, ya que traen implicaciones diferentes en el comportamiento de los agentes. Por ejemplo, hay discusión alrededor del óptimo privado o equilibrio de Nash, y si este debe ser un valor de esquina o debe ser un valor interior. Cuando es un valor interior, existe la posibilidad que los jugadores extraigan una cantidad mayor al óptimo privado, generando resultados ineficientes, no solo desde el punto de vista social, sino también desde el punto de vista privado. El estudio de tales decisiones abre una ventana nueva de investigación, que ya ha sido abordada preliminarmente en Maldonado y Moreno-Sanchez (2009) y que será objeto de análisis posterior a partir de los resultados de este experimento. Adicionalmente, en este juego en particular, para los diferentes niveles de escasez del recurso, el equilibrio de Nash se mantenía en el mismo valor (8 unidades); sin embargo, variantes que tengan diferentes equilibrios de Nash pueden ser propuestas para analizar su efecto sobre las decisiones de los individuos y la tasa de rondas donde se exacerba el uso del recurso.

Uno de los temas más relevantes a la hora de hacer juegos experimentales enmarcados, con usuarios reales de los recursos, es garantizar que ellos entiendan adecuadamente las reglas

del juego. Dado que usualmente los niveles de educación de los participantes son menores que el de estudiantes en laboratorio, el diseño del juego implica que las jornadas de trabajo deben incluir una parte de enseñanza del juego y de las reglas que se usan, de una forma didáctica y sencilla, así como ajustada a las condiciones de la audiencia. Sin embargo, los juegos de recursos de uso común implican el uso de tablas de pagos y de diferentes hojas y tarjetas, así como la realización de cuentas que, aunque simples, pueden llegar a ser intimidantes para los jugadores poco acostumbrados a manipular este tipo de material. Esta circunstancia se convierte en un reto adicional de los juegos experimentales, hasta el punto que algunas veces queda la duda si el comportamiento observado se puede explicar porque los jugadores no entendieron completamente el juego (Sally, 1995; Ostrom et al., 1994). Surge acá un reto adicional para los investigadores, de forma que se garantice un diseño que sea limpio, claro y sencillo y que use la menor cantidad posible de material y de cálculos, pero que a la vez transmita toda la información relevante a los jugadores para que tomen la mejor decisión posible dada la estructura del juego.

5. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la cooperación canadiense a través del Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (IDRC, por sus siglas en inglés), con el liderazgo del Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico (CEDE) de la Universidad de los Andes y el Programa Latinoamericano y del Caribe de Economía Ambiental (LACEEP por sus siglas en inglés), a través del proyecto “*The Strengthening of Capacities for Economic Research on Climate Change Adaptation*”. Esta iniciativa es un esfuerzo colaborativo de EfD-CA (*Environment for Development – Central America*) y LACEEP en el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza).

Este documento es el resultado del trabajo de varias personas. La primera versión de la propuesta metodológica fue discutida en un curso de economía experimental dictado por Juan Camilo Cardenas, donde el grupo conformado por Rafael Cuervo, Adriana Bernal, Ricardo Mariño y Gonzalo Pinzón presentaron el modelo. Posteriormente, la metodología fue presentada y discutida en el curso sobre “agua y cambio climático” organizado por LACEEP en Julio de 2012. Finalmente, llegamos a este documento conjunto de los autores que captura mucho de lo discutido y aprendido en todo ese proceso. Queremos dar un agradecimiento especial a Rocío Moreno, por su asesoría en la revisión y realización de comentarios y sugerencias, en las diferentes versiones de este documento.

Agradecemos a su vez a las siguientes entidades que contribuyeron al logro de esta publicación, por su apoyo durante diferentes etapas del proyecto:

A la Federación Nacional de Usuarios de Distritos de Adecuación de Tierras – FEDERRIEGO, en especial a Dagoberto Bonilla, presidente ejecutivo, por su colaboración en la realización de las reuniones con las comunidades de Samacá y del Alto Chicamocha, por su apoyo con las convocatorias y a la disposición de las instalaciones de los distritos de riego como sedes para la realización de los experimentos. En la Asociación de Usuarios del Distrito de Adecuación de Tierras de Samacá – ASUSA, agradecemos principalmente a Antonio Novoa, y en la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego y Drenaje de Gran Escala del Alto Chicamocha y Firavitoba – USOCHICAMOCHA, agradecemos a Rodrigo Vásquez.

A la Contraloría General de la República por su apoyo e información, en especial a los profesionales César Moreno y Henry Duarte, por su colaboración durante las sesiones experimentales.

A la oficina de Parques Nacionales Naturales de Colombia, principalmente a Fabio Villamizar, director de la Territorial Andes Nororientales, y a Luis Alfonso Guerrero, director del Santuario de Flora y Fauna de San Pedro de Iguaque, por su interés y seguimiento en la realización de los talleres en el municipio de Chíquiza.

También queremos agradecer al equipo que nos ayudó en la ejecución de los experimentos en campo; aparte de los autores, contamos con la inigualable ayuda de Rocío del Pilar Moreno, Arturo Rodríguez, Ana María Montañez, Cesar A. Moreno y Heidy Murcia.

Finalmente, agradecemos a las comunidades que participaron en esta investigación: Chíquiza, San Pedro de Iguaque, Samacá y Paipa, todas en el departamento de Boyacá, en Colombia. En particular agradecemos a Tito Rivera de la comunidad de Chíquiza, y a Hernán Cuervo de la comunidad de San Pedro de Iguaque, quienes nos ayudaron de forma efectiva en los procesos de convocatoria.

Referencias

- Adams, R., 1989. Global climate change and agriculture: an economic perspective. *American Journal of Agricultural Economics* 71, 1272–1279.
- Adger, W., Suraje Dessai, Marisa Goulden, Mike Hulme, Irene Lorenzoni, Donald Nelson, Lars Naess, Johanna Wolf, y Anita Wreford. 2009. «Are there social limits to adaptation to climate change?» *Climatic Change* 93 (3): 335–354. doi:10.1007/s10584-008-9520-z.
- Alpizar, F., F. Carlsson, y M.A. Naranjo. 2011. The effect of ambiguous risk, and coordination on farmers' adaptation to climate change – a framed field experiment. *Ecological Economics* 70: 2317-2326.
- Bagnoli, Mark, y Barton L. Lipman. 1989. «Provision of Public Goods: Fully Implementing the Core through Private Contributions». *Review of Economic Studies* 56 (4): 583–601.
- Bagnoli, Mark, y Michael McKee. 1991. «Voluntary Contribution Games: Efficient Private Provision of Public Goods». *Economic Inquiry* 29 (2): 351–66.
- Blanco, Esther, Maria Claudia Lopez, y Sergio Villamayor-Tomás. (In Press). «Does water scarcity lead to overuse? Evidence from field experiments»
- Bochet, O., Page, T., Putterman, L., 2006. Communication and punishment in voluntary contribution experiments. *Journal of Economic Behavior and Organization* 60, 11–26.
- Bochet, O., Putterman, L., 2008. Not just babble: opening the black box of communication in a voluntary contribution experiment. *European Economic Review* 53, 309–326.
- Bradley, Raymond S., Frank T. Keimig, Henry F. Diaz, y Douglas R. Hardy. 2009. «Recent changes in freezing level heights in the Tropics with implications for the deglaciation of high mountain regions». *Geophysical Research Letters* 36 (17): L17701. doi:10.1029/2009GL037712.
- Bradshaw, Ben, Holly Dolan, y Barry Smit. 2004. «Farm-Level Adaptation to Climatic Variability and Change: Crop Diversification in the Canadian Prairies». *Climatic Change* 67 (1): 119–141. doi:10.1007/s10584-004-0710-z.
- Braithwaite, Roger J. 2008. «Temperature and precipitation climate at the equilibrium-line altitude of glaciers expressed by the degree-day factor for melting snow». *Journal of Glaciology* 54 (186): 437–444. doi:10.3189/002214308785836968.
- Buchan, N., Johnson, E.J., Croson, R.T.A., 2006. Let's get personal: an international examination of the influence of communication, culture, and social distance on other regarding preferences. *Journal of Economic Behavior and Organization* 60, 373–398.

- Byjesh, Kattarkandi, Soora Kumar, y Pramod Aggarwal. 2010. «Simulating impacts, potential adaptation and vulnerability of maize to climate change in India». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15 (5): 413–431. doi:10.1007/s11027-010-9224-3.
- Cadsby, Charles Bram, y Elizabeth Maynes. 1999. «Voluntary provision of threshold public goods with continuous contributions: experimental evidence». *Journal of Public Economics* 71 (1): 53–73.
- CAN-SG, PNUMA, y IRD. 2007. *El fin de las cumbres nevadas - Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina*.
- Cardenas, Juan-Camilo, Ahn, T.K., Ostrom, Elinor, 2004. Communication and cooperation in a common-pool resources dilemma: a field experiment. In: Huck, Steffen (Ed.), *Advances in Understanding Strategic Behavior: Game Theory, Experiments and Bounded Rationality*. Palgrave, New York, pp. 258–285.
- Cárdenas, Juan-Camilo, y Elinor Ostrom. 2004. «What do people bring into the game? Experiments in the field about cooperation in the commons». *Agricultural Systems* 82 (3): 307–326. doi:10.1016/j.agsy.2004.07.008.
- Cardenas, Juan-Camilo. 2004. «Norms from outside and from inside: an experimental analysis on the governance of local ecosystems». *Forest Policy and Economics* 6 (3–4): 229–241. doi:10.1016/j.forpol.2004.03.006.
- Casari, Marco, y Charles R. Plott. 2003. «Decentralized management of common property resources: experiments with a centuries-old institution». *Journal of Economic Behavior & Organization* 51 (2): 217–247.
- Ceballos, Jorge Luis, Christian Euscátegui, Jair Ramírez, Marcela Cañon, Christian Huggel, Wilfried Haeberli, y Horst Machguth. 2006. «Fast shrinkage of tropical glaciers in Colombia». *Annals of Glaciology* 43 (1): 194–201. doi:10.3189/172756406781812429.
- Challinor, A.J., T.R. Wheeler, P.Q. Craufurd, C.A.T. Ferro, y D.B. Stephenson. 2007. «Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperatures». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 119 (1–2): 190–204. doi:10.1016/j.agee.2006.07.009.
- Challinor, A.J., y T.R. Wheeler. 2008. «Use of a crop model ensemble to quantify CO2 stimulation of water-stressed and well-watered crops». *Agricultural and Forest Meteorology* 148 (6–7): 1062–1077. doi:10.1016/j.agrformet.2008.02.006.
- CORPOBOYACÁ. 2005. «Formulación del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha» Corporación Autónoma Regional de Boyacá.
- Dannenber, Astrid, Andreas Löschel, Gabriele Paolacci, Christiane Reif, y Alessandro Tavoni.

2011. Coordination under threshold uncertainty in a public goods game. ZEW Discussion Paper. ZEW - Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung / Center for European Economic Research. <http://ideas.repec.org/p/p/zbw/zewdip/11065.html>.
- Diaz, Henry F., y Nicholas E. Graham. 1996. «Recent Changes in Tropical Freezing Heights and the Role of Sea Surface Temperature». *Nature* 383 (6596): 152–155. doi:10.1038/383152a0.
- FAO. 2007. *Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: Perspective, framework and priorities*. Rome.
- Favier, Vincent, Patrick Wagnon, Jean-Philippe Chazarin, Luis Maisincho, y Anne Coudrain. 2004b. «One-year measurements of surface heat budget on the ablation zone of Antizana Glacier 15, Ecuadorian Andes». *Journal of Geophysical Research* 109 (D18): D18105. doi:10.1029/2003JD004359.
- Favier, Vincent, Patrick Wagnon, y Pierre Ribstein. 2004a. «Glaciers of the outer and inner tropics: A different behaviour but a common response to climatic forcing». *Geophysical Research Letters* 31 (16): L16403. doi:10.1029/2004GL020654.
- Fischbacher, Urs, Simon Gächter, y Ernst Fehr. 2001. «Are people conditionally cooperative? Evidence from a public goods experiment». *Economics Letters* 71 (3): 397–404. doi:10.1016/S0165-1765(01)00394-9.
- Fischbacher, Urs, y Simon Gaechter. 2008. Social Preferences, Beliefs, and the Dynamics of Free Riding in Public Good Experiments. CESifo Working Paper Series. CESifo Group Munich. http://ideas.repec.org/p/ces/ceswps/_2491.html.
- Fischer, Sven, y Andreas Nicklisch. 2007. «Ex Interim Voting: An Experimental Study of Referendums for Public-Good Provision». *Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE)* 163 (1): 56–74.
- Francou, B., y L. Pizarro. 1985. «El Niño y la sequía en los altos Andes Centrales (Perú y Bolivia)». *Bulletin De L'IFEA* 14 (1-2): 1–18.
- Hackett, S., Schlager, E., Walker, J., 1994. The role of communication in resolving commons dilemmas: experimental evidence with heterogeneous appropriators. *Journal of Environmental Economics and Management* 27, 99–126.
- Hall, Noah D., Bret B. Stuntz, y Robert H. Abrams. 2008. «Climate Change and Freshwater Resources». *Natural Resources & Environment* 22 (3): 30–35.
- Hardin, Garrett. 1968. «The Tragedy of the Commons». *Science* 162 (3859): 1243–1248. doi:10.1126/science.162.3859.1243.

- Harrison, G.W., List, J.A., 2004. Field experiments. *Journal of Economic Literature* 42, 1009–1055.
- Helms, Susan, Robert Mendelsohn, y Jim Neumann. 1996. «The impact of climate change on agriculture». *Climatic Change* 33 (1): 1–6. doi:10.1007/BF00140510.
- Herrmann, Benedikt, y Christian Thöni. 2009. «Measuring conditional cooperation: a replication study in Russia». *Experimental Economics* 12 (1): 87–92.
- Ibáñez, Inés, Richard B. Primack, Abraham J. Miller-Rushing, Elizabeth Ellwood, Hiroyoshi Higuchi, Sang Don Lee, Hiromi Kobori, y John A. Silander. 2010. «Forecasting Phenology Under Global Warming». *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365 (1555): 3247–3260. doi:10.1098/rstb.2010.0120.
- IDEAM. 2001a. *1a Comunicación Nacional ante la CMNUCC*. Bogotá.
- IDEAM. 2001b. *Los glaciares colombianos, expresión del cambio climático global*. Bogotá.
- IDEAM. 2011. *Sistemas Agroforestales y Restauración Ecológica como medidas de adaptación al cambio climático en alta montaña. Caso piloto, Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático –INAP– componente B, IDEAM y Conservación Internacional*. Bogotá.
- Jarvis, A., J. Ramirez, B. Anderson, C. Leibing, y P. Aggarwal. 2010. «Scenarios of climate change within the context of agriculture.» En *Climate change and crop production*, ed. M. P. Reynolds y M.P. Reynolds, 9–37. Wallingford: CAB International. <http://www.cabdirect.org/abstracts/20103205483.html>.
- Kocher, Martin G., Todd Cherry, Stephan Kroll, Robert J. Netzer, y Matthias Sutter. 2008. «Conditional cooperation on three continents». *Economics Letters* 101 (3): 175–178.
- Krishnan, P., D.K. Swain, B. Chandra Bhaskar, S.K. Nayak, y R.N. Dash. 2007. «Impact of elevated CO2 and temperature on rice yield and methods of adaptation as evaluated by crop simulation studies». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 122 (2): 233–242. doi:10.1016/j.agee.2007.01.019.
- Ledyard, J.O., 1995. Public goods: a survey of experimental research. In: John, Kagel, Alvin, Roth (Eds.), *The Handbook of Experimental Economics*. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA, pp. 111–194.
- Levitt, Steven D., and John A. List. 2007. “What Do Laboratory Experiments Measuring Social Preferences Reveal About the Real World?” *The Journal of Economic Perspectives* 21 (2): 153–174.
- Magrin, G., C. Gay-García, D. Cruz-Choque, J.C. Giménez, A.R. Moreno, G.J. Nagy, C. Nobre,

- y A. Villamizar. 2007. «Latin America». En *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, ed. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van der Linden, y C.E. Hanson, 581–615. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Maldonado, J.H., y R.P. Moreno-Sánchez. 2009. *Does Scarcity Exacerbate the Tragedy of the Commons? Evidence from Fishers' Experimental Responses*. DOCUMENTOS CEDE. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES-CEDE. <http://ideas.repec.org/p/col/000089/006006.html>.
- Martinsson, Peter, Clara Villegas-Palacio, y Conny Wollbrant. 2009. Conditional Cooperation and Social Group - Experimental results from Colombia. Working Papers in Economics. Göteborg University, Department of Economics. <http://ideas.repec.org/p/hhs/gunwpe/0372.html>.
- McBride, Michael. 2006. «Discrete public goods under threshold uncertainty». *Journal of Public Economics* 90 (6-7): 1181–1199.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W., Shaw, D., 1994. The impact of global warming: a ricardian analysis. *The American Economic Review* 84, 753–771.
- Menezes, Flavio M., Paulo K. Monteiro, y Akram Temimi. 2001. «Private provision of discrete public goods with incomplete information». *Journal of Mathematical Economics* 35 (4): 493–514. doi:10.1016/S0304-4068(01)00059-3.
- Milinski, Manfred, Dirk Semmann, Hans-Jürgen Krambeck, y Jochem Marotzke. 2006. «Stabilizing the Earth's Climate Is Not a Losing Game: Supporting Evidence from Public Goods Experiments». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103 (11): 3994–3998. doi:10.1073/pnas.0504902103.
- Milinski, Manfred, Ralf D. Sommerfeld, Hans-Jürgen Krambeck, Floyd A. Reed, y Jochem Marotzke. 2008. «The Collective-risk Social Dilemma and the Prevention of Simulated Dangerous Climate Change». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (7): 2291–2294. doi:10.1073/pnas.0709546105.
- Millner, Antony. 2012. «Climate prediction for adaptation: Who needs what?» *Climatic Change* 110 (1): 143–167. doi:10.1007/s10584-011-0073-1.
- Moreno-Sánchez, Rocío del Pilar, y Jorge Higinio Maldonado. 2010. «Evaluating the role of co-management in improving governance of marine protected areas: An experimental approach in the Colombian Caribbean». *Ecological Economics* 69 (12): 2557–2567. doi:10.1016/j.ecolecon.2010.07.032.
- Morris, Jennifer N., Alan J. Poole, y Andrew G. Klein. 2006. «Retreat of Tropical Glaciers in Colombia and Venezuela from 1984 to 2004 as Measured from ASTER and Landsat Images». En , 181–191. Newark, Delaware USA.

- Motha, Raymond P. 2007. «Development of an agricultural weather policy». *Agricultural and Forest Meteorology* 142 (2–4): 303–313. doi:10.1016/j.agrformet.2006.03.031.
- Mount, Timothy D. 1994. «Climate change and agriculture: A perspective on priorities for economic policy». *Climatic Change* 27 (1): 121–138. doi:10.1007/BF01098477.
- Ostrom, E., Gardner, R., Walker, J. (Eds.), 1994. *Rules, Games, and Common-Pool Resources*. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, USA.
- Ostrom, Elinor, James Walker, y Roy Gardner. 1992. «Covenants With and Without a Sword: Self-Governance is Possible». *The American Political Science Review* 86 (2): 404. doi:10.2307/1964229.
- Pabón, José Daniel. 2003. «El cambio climático global y su manifestación en Colombia». *Cuadernos de Geografía XII* (1-2): 111–119.
- Palfrey, T. R., y H. Rosenthal. 1984. «Participation and the provision of discrete public goods: a strategic analysis». *Journal of Public Economics* 24 (2): 171–193.
- Palfrey, T. R., y H. Rosenthal. 1990. *Testing Game-Theoretic Models Of Free Riding: New Evidence On Probability Bias And Learning*. Working paper. Massachusetts Institute of Technology (MIT), Department of Economics. <http://ideas.repec.org/p/mit/worpaper/549.html>.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2006. «Plan de Manejo Santuario de Fauna y Flora Iguaque».
- Poveda, G., y K. Pineda. 2009. «Reassessment of Colombia's tropical glaciers retreat rates: are they bound to disappear during the 2010–2020 decade?» *Advances in Geosciences* 22: 107–116. doi:10.5194/adgeo-22-107-2009.
- Poveda, Germán, Diana Álvarez, y Óscar Rueda. 2011. «Hydro-climatic variability over the Andes of Colombia associated with ENSO: a review of climatic processes and their impact on one of the Earth's most important biodiversity hotspots». *Climate Dynamics* 36 (11): 2233–2249. doi:10.1007/s00382-010-0931-y.
- Ramirez-Villegas, Julian, Mike Salazar, Andy Jarvis, y Carlos Navarro-Racines. 2012. «A way forward on adaptation to climate change in Colombian agriculture: perspectives towards 2050». *Climatic Change*: 1–18. doi:10.1007/s10584-012-0500-y.
- Rapoport, Amnon, y Dalit Eshed-Levy. 1989. «Provision of step-level public goods: Effects of greed and fear of being gypped». *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 44 (3): 325–344. doi:10.1016/0749-5978(89)90012-5.
- Rauchdobler, Julian, Rupert Sausgruber, y Jean-Robert Tyran. 2009. *Voting on Thresholds for*

Public Goods: Experimental Evidence. CESifo Working Paper Series. CESifo Group Munich. http://ideas.repec.org/p/ces/ceswps/_2896.html.

Rupper, Summer, y Gerard Roe. 2008. «Glacier Changes and Regional Climate: A Mass and Energy Balance Approach*». *Journal of Climate* 21 (20): 5384–5401. doi:10.1175/2008JCLI2219.1.

Sally, D., 1995. Conversation and cooperation in social dilemmas: a meta-analysis of experiments from 1958 to 1992. *Rationality and Society* 7, 58–92.

Sanchez, O.L., H. Duarte-Serrano, y C.A. Moreno-Sánchez. 2011. Los capitales de la comunidad y la gobernanza de los distritos de riego. Documento no oficial. Contraloría General de la República. Mimeo, 33p.

Schneider, Stephen H., William E. Easterling, y Linda O. Mearns. 2000. «Adaptation: sensitivity to natural variability, agent assumptions and dynamic climate changes». *Climatic Change* 45: 203–221.

Schlenker, W., Hanemann, M., Fisher, A., 2005. Will U.S. agriculture really benefit from global warming? Accounting for irrigation in the hedonic approach. *The American Economic Review* 95, 395–406.

Seidel, D.J., y M. Free. 2003. «Comparison of Lower-Tropospheric Temperature Climatologies and Trends at Low and High Elevation Radiosonde Sites». *Climatic Change* 59 (22): 53–74.

Smit, B., D. McNabb, y J. Smithers. 1996. «Agricultural adaptation to climatic variation». *Climatic Change* 33 (1): 7–29. doi:10.1007/BF00140511.

Smit, Barry, y Mark Skinner. 2002. «Adaptation options in agriculture to climate change: a typology». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 7 (1): 85–114.

Srivastava, Aditi, S. Naresh Kumar, y P.K. Aggarwal. 2010. «Assessment on vulnerability of sorghum to climate change in India». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 138 (3–4): 160–169. doi:10.1016/j.agee.2010.04.012.

Stern, D. 2007. Stern review: the economics of climate change.

Sutter, Matthias, Stefan Haigner, y Martin G. Kocher. 2010. «Choosing the Carrot or the Stick? Endogenous Institutional Choice in Social Dilemma Situations». *Review of Economic Studies* 77 (4): 1540–1566.

Thomas, David, Chasca Twyman, Henny Osbahr, y Bruce Hewitson. 2007. «Adaptation to climate change and variability: farmer responses to intra-seasonal precipitation trends in South Africa». *Climatic Change* 83 (3): 301–322. doi:10.1007/s10584-006-9205-4.

- Tol, Richard S.J. 2005. «Adaptation and mitigation: trade-offs in substance and methods». *Environmental Science & Policy* 8 (6): 572–578. doi:10.1016/j.envsci.2005.06.011.
- Tyran, Jean-Robert, y Lars P. Feld. 2006. «Achieving Compliance When Legal Sanctions Are Non-deterrent*». *Scandinavian Journal of Economics* 108 (1): 135–156. doi:10.1111/j.1467-9442.2006.00444.x.
- UNFCCC. 2006a. *Technologies for Adaptation to Climate Change*.
- UNFCCC. 2006b. *United Nations Framework Convention on Climate Change Handbook*. <http://www.ecologic.eu/1912>.
- Van de Kragt, Alphons J. C., John M. Orbell, y Robyn M. Dawes. 1983. «The Minimal Contributing Set as a Solution to Public Goods Problems». *The American Political Science Review* 77 (1): 112. doi:10.2307/1956014.
- Vélez, Maria Alejandra, John K. Stranlund, y James J. Murphy. 2009. *What Motivates Common Pool Resource Users? Experimental Evidence from the Field*. *Journal of Economic Behavior & Organization* 70 (2009) 485–497.
- Vuille, M., R.S. Bradley, M. Werner, y F. Keimig. 2003. «20th Century Climate Change in the Tropical Andes: Observations and Model Results». *Climatic Change* 59 (25): 75–99.
- Ward, Frank A., y Manuel Pulido-Velazquez. 2008. «Water Conservation in Irrigation Can Increase Water Use». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (47): 18215–18220. doi:10.1073/pnas.0805554105.