

## Investigación Original

# Gobernanza hídrica y acción climática: una perspectiva experimental desde el corredor seco hondureño

Santiago David Loaiza Briceño

[santiago.loaiza@est.zamorano.edu](mailto:santiago.loaiza@est.zamorano.edu)

Estudiante de posgrado

Maestría en Agricultura Tropical Sostenible

Escuela Agrícola Panamericana Zamorano

Honduras

Arie Sanders 

[asanders@zamorano.edu](mailto:asanders@zamorano.edu)

Decano Asociado de Posgrado

Escuela Agrícola Panamericana Zamorano

Honduras

Jorge Carcamo

[jcarcamo03@gmail.com](mailto:jcarcamo03@gmail.com)

Profesor visitante

Escuela Agrícola Panamericana Zamorano

Honduras

Historial del artículo:

Recibido Julio 7, 2023. Aceptado Diciembre 11, 2023. Publicado Junio 30, 2024.

Cómo citar: Loaiza Briceño, S., Sanders, A., & Carcamo, J. (2023). Gobernanza hídrica y acción climática: una perspectiva experimental desde el corredor seco hondureño. *Ceiba*, 57(1), p 2-28. doi: 10.5377/ceiba.v57i1.18137

---

**Resumen.** La variabilidad climática y la escasa irrigación afectan los medios de vida de hogares rurales en países en vías de desarrollo. Por ello, agencias de desarrollo trabajan en medidas de adaptación climática como la instalación de sistemas de riego por goteo en contextos de pobreza. Estas infraestructuras requieren de grupos de agricultores organizados para gestionar el funcionamiento, mantenimiento y distribución del recurso común. En este artículo se analizaron los resultados de un experimento de campo para evaluar el desempeño institucional de comités de riego y la capacidad de sus usuarios para resolver problemas de acción colectiva en un dilema de irrigación. Los resultados sugieren que la permanencia de los grupos depende de la superación de problemas estructurales no contempladas por los implementadores y beneficiarios. Además, el incremento de espacios de interacción y comunicación es una alternativa para formar capital social y solucionar la inequidad causada por la incertidumbre climática.

**Palabras Clave:** Variabilidad climática, irrigación, experimentos de campo, comportamiento y toma de decisiones. Códigos JEL: Q54, Q15, C93, D91.

Water governance and climate action: an experimental approach from the Honduran Dry Corridor

**Abstract.** Climate variability and limited irrigation affect the livelihoods of rural households in developing countries. Development agencies are, therefore, working on climate adaptation measures such as installing drip irrigation systems in contexts of poverty. These infrastructures require organized farmer groups to manage common resource operation, maintenance, and distribution. In this paper, we analyzed the results of a field experiment to evaluate the institutional performance of irrigation committees and users' capacity to solve collective action problems in an irrigation dilemma. Our results suggest that the groups' permanence depends on overcoming structural problems that implementers and beneficiaries have not contemplated. In addition, increasing interaction and communication spaces is an alternative to build social capital and solve the inequity caused by climate uncertainty.

**Keywords:** Climate variability, irrigation, field experiments, behavior and decision making. JEL Codes: Q54, Q15, C93, D91.

### Introducción

Los recursos de uso común, según Ostrom (1990), se caracterizan por ser bienes naturales que resultan complicados de excluir a ciertos usuarios y que conllevan una alta rivalidad en su utilización. Un ejemplo evidente de esta dinámica se muestra en numerosos sistemas de riego, donde se presenta un acceso desigual entre los usuarios que comparten este recurso (Janssen, Bousquet, Cardenas, Castillo y Worrapiumphong, 2012). Este desigual acceso se encuentra estrechamente relacionado con las diferencias sociales, económicas, culturales y geográficas presentes en la comunidad (Cárdenas, Rodríguez y Johnson, 2009). En el contexto socio-ecológico, la gestión adecuada de los recursos naturales tiene un impacto significativo en la forma de vida de los hogares rurales y promueve cambios en la dinámica comunitaria (Ruiz-Ballesteros y Gálvez-García, 2014). La base de los conflictos en la distribución del agua radica en el comportamiento de los individuos que buscan maximizar sus propios beneficios a través de la apropiación desigual de este recurso compartido (Isaac y Walker, 1988; V. Ostrom y Ostrom, 1999). Por lo tanto, se hace necesario establecer reglas de comportamiento para evitar el agotamiento de este recurso y para reducir la vulnerabilidad y las desigualdades entre los usuarios (Hardin, 1968).

En el contexto de los recursos de uso común, es fundamental establecer instituciones que regulen el comportamiento humano y coordinen la gestión de estos recursos. Una institución se define como un conjunto de regulaciones duraderas que organizan la actividad recurrente en situaciones estructuradas por reglas, normas y estrategias compartidas (Imperial, 1999). Para los comités de riego, esto implica coordinar procedimientos y formas de participación que permitan a los usuarios cuidar y mantener la infraestructura de los sistemas de riego (Baldwin, McCord, Dell'Angelo y Evans, 2018). A pesar de los principios del diseño de instituciones establecidos por Ostrom (1990), la efectividad de la coordinación de estas instituciones está estrechamente ligada a la escala o tamaño de los grupos sociales involucrados (Baldwin, McCord, Dell'Angelo y Evans, 2018; Bardhan, 2000). Cuanto más grande sea el grupo, más complicada será la coordinación de los procedimientos de distribución, monitoreo y resolución de conflictos (Bardhan, 1993).

La teoría de la acción colectiva otorga claridad para comprender las dinámicas en los grupos sociales e identificar las motivaciones para que un individuo opte por un comportamiento cooperativo (Bardhan, 1993; DeMarrais y Earle, 2017; E. Ostrom, 2010). Diversos estudios ilustran que el incremento de

espacios de interacción y comunicación es una vía efectiva para la formación de capital social debido a la generación de confianza, compromiso y reciprocidad entre los usuarios (por ejemplo, Anderies et al., 2011; M. A. Janssen, 2015). Sin embargo, la cooperación voluntaria está condicionada por las características de los usuarios y el contexto local en el que los grupos se desarrollan (Anderies et al., 2011; Takayama, Matsuda y Nakatani, 2018).

Uno de los factores que condiciona la acción colectiva es la disponibilidad del recurso común (Cox, Arnold y Villamayor Tomás, 2010; E. Ostrom, 1990), el cual suele ser limitado como es el caso del agua de riego en el Corredor Seco de Honduras. Esta región, caracterizada por escasas precipitaciones y sequías prolongadas, alberga a miles de hogares en condición de pobreza y pobreza extrema (Calvo-Solano, Quesada-Hernández, Hidalgo y Gotlieb, 2018). Los medios de vida y la seguridad alimentaria de estos hogares se ven afectados por la pérdida de cosechas ocasionada por la alta variabilidad climática (Harvey et al., 2018). A través de intervenciones externas se han implementado infraestructuras de riego comunitario como una vía para crear resiliencia climática. Con la instalación de sistemas de riego por goteo a pequeña escala en combinación con la tecnificación de los sistemas productivos y el acceso a mercados hortícolas de alto valor se espera la disminución de la pobreza rural (Polak y Warwick, 2014; Postel, Polak, Gonzales y Keller, 2001). Sin embargo, aun cuando el acceso a mercados y la introducción de tecnologías de microirrigación promueva de cierta manera la resiliencia climática y el incremento de los ingresos de los hogares, existen fuertes tensiones y barreras que limitan la sinergia entre y efectividad de ambas estrategias y, por ende, el éxito de este tipo de intervenciones (Kuhl, 2018, 2020).

En este artículo se presentan los resultados de la aplicación de un experimento de

campo en el Corredor Seco de Honduras. A través de un diseño experimental basado en la teoría de acción colectiva. El estudio busca responder la pregunta: ¿Los comités de riego en el Corredor Seco de Honduras tienen la capacidad de generar acuerdos colectivos en situaciones de variabilidad climática para asegurar la sostenibilidad del recurso agua y la reducción de la pobreza?

Para abordar esta pregunta se aplicó el diseño de experimento de campo “Juego de Regantes”. Este experimento plantea a sus participantes un dilema de irrigación bajo escenarios de incertidumbre climática, en el que sus decisiones determinan los beneficios individuales y colectivos. Se utilizó esta metodología por su efectividad para incrementar la conciencia de los participantes sobre temas de acción colectiva en su vida diaria (Lopez, 2010). Además, la metodología permite analizar el comportamiento de los individuos en su contexto social para entender la naturaleza de los problemas colectivos (Janssen, 2015; Rommel, 2015). Mediante la construcción de modelos jerárquicos, se realizó una evaluación institucional con el fin de analizar los determinantes que condicionan la capacidad de los Comités de Riego para la gestión del recurso común.

### *Zona del estudio*

El Corredor Seco abarca gran parte del territorio de Centroamérica donde habitan 45 millones de personas y es considerado como una región de alta vulnerabilidad a eventos de variabilidad climática, tales como sequías prolongadas, olas de calor y cambios en los patrones de lluvia (Calvo-Solano et al., 2018). De acuerdo con la FAO (2017), cerca de 1.4 millones de habitantes del Corredor Seco hondureño sufren hambre y el 23% de los niños menores a cinco años padecen de malnutrición. Según OIM (2020), el 64% de los hogares en el Corredor Seco se encuentran en situación de pobreza, de los cuales el 40% experimenta condiciones de pobreza extrema (ingreso menor

a USD2,25 por persona por día). Una de las principales problemáticas en esta región es la escasez del recurso hídrico, la cual incrementa la incertidumbre de los agricultores sobre la producción agrícola (Donatti, Harvey, Martínez-Rodríguez, Vignola y Rodríguez, 2019; Harvey et al., 2018). Esta situación, sumada al contexto social de Honduras, incrementa la pobreza e inseguridad alimentaria, impactando de manera negativa en el desarrollo de las economías de las familias de la región.

La iniciativa “Feed the Future”, ejecutada por la Agencia de EE.UU. para el Desarrollo Internacional (USAID) busca atender las causas de la pobreza, el hambre y, la malnutrición en países en vías de desarrollo, a través del mejoramiento de la agricultura y las oportunidades de las próximas generaciones en el marco de desarrollo sostenible (USAID, 2019). Así, con un acuerdo de asistencia, en el 2010, los Gobiernos de Honduras y Estados Unidos de América, a través de USAID, firmaron la carta de implementación de la Actividad Alianza por el Corredor Seco (ACS-USAID). Esta Actividad está alineada a la Estrategia Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional que busca frenar la pobreza y la malnutrición a través de inversiones estratégicas en agricultura, nutrición e infraestructura (Gobierno de Honduras, 2010).

La población objetivo de la actividad ACS-USAID han sido hogares en condiciones de extrema pobreza (ingresos familiares menores a 1.81 USD/persona por día), donde la mayor parte depende del ingreso agrícola para su subsistencia. La producción agrícola en este corredor se compone principalmente de maíz asociado con frijol (milpa) y café, en sistemas no tecnificados y con rendimientos inferiores a los promedios nacionales. Así, a través de asistencia técnica se modernizaron los sistemas agrícolas para incrementar los rendimientos de cultivos de granos básicos. Esta estrategia acompañada con la diversificación hacia

cultivos de alto valor como verduras y la vinculación de los agricultores a mercados formales tuvo la intención de incrementar los ingresos familiares de los participantes.

Los grupos que presentaron mejores resultados en estas actividades en comparación con los demás grupos fueron seleccionados por el proyecto para tecnificar sus sistemas de riego. Se acordó la instalación de un sistema colectivo de riego por goteo con capacidad para irrigar siete tareas (0.3 ha) por usuario, con una capacidad de expansión a 14 tareas (0.6 ha) por usuario. El tamaño de cada sistema de riego se determinó en función del número de usuarios que conformaban cada grupo. Para la gestión comunitaria del recurso común, se capacitó al grupo para la formación de un comité de riego, el cual velaría por la gestión sostenible del recurso hídrico. Cada grupo elaboró y aprobó su reglamento donde se detallaron los lineamientos para cumplir con los principales objetivos de una institución de gestión de recursos naturales: a) distribución del recurso (horas de riego) y creación de cronogramas de rotación; b) monitoreo y control de pago de tarifas; c) sanción a infractores; y d) medidas de resolución de conflictos (Baldwin et al., 2018). Cada comité de riego fue conformado por cinco miembros (presidente, secretario, tesorero, vocal y fontanero). Además, se conformaron subcomités para la coordinación y cumplimiento de objetivos comunes como la conservación de fuentes de agua, vigilancia del uso correcto del agua, vigilancia de los turnos de riego y el mantenimiento de la infraestructura. Bajo este esquema, se garantiza la participación de todos los usuarios y el fortalecimiento de capacidades institucionales para la gobernanza del recurso hídrico.

## **Metodología**

### *Diseño experimental*

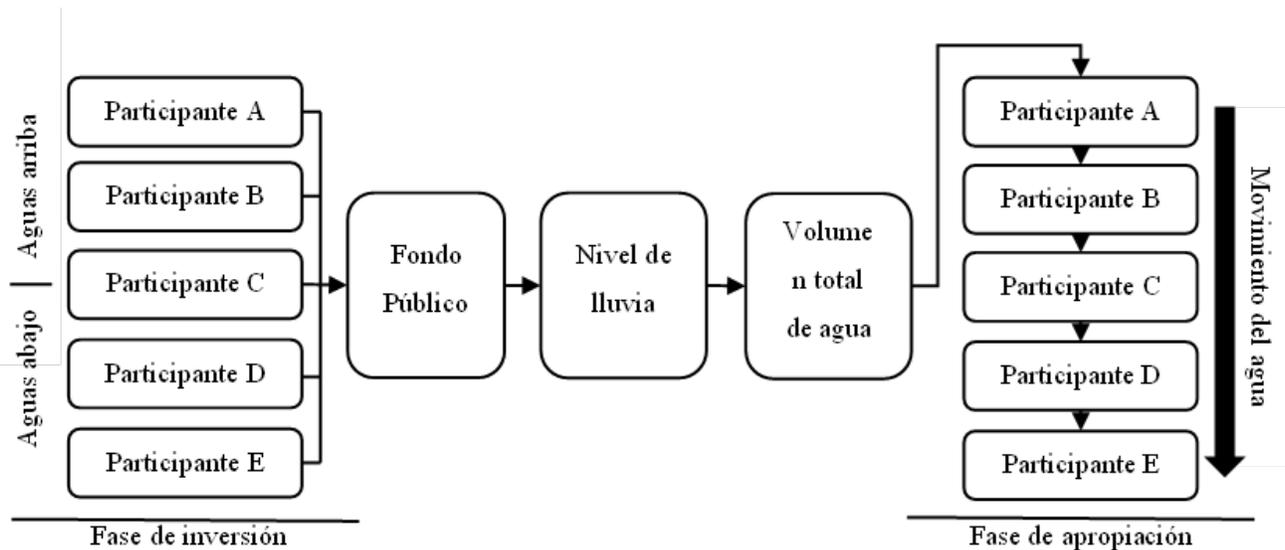
La presente investigación utilizó la metodología del experimento de campo “Juego de regantes” propuesto por Cárdenas, Janssen y

Bousquet (2013). En este experimento se evaluó la cooperación entre los miembros de instituciones de manejo de recursos de uso común en un escenario de comunicación restringida y condición asimétrica del recurso agua. Además, se utilizó el diseño propuesto por Baggio, Rollins, Pérez y Janssen (2015), quienes introdujeron variables de riesgo en la inversión en forma de variabilidad climática durante el experimento. El fin de este diseño experimental fue analizar si la variabilidad climática es un factor decisivo en el comportamiento de los usuarios o si este es condicionado por el comportamiento de usuarios aguas arriba.

En este experimento grupal, cada participante de forma aleatoria asumió una de cinco posiciones, A, B, C, D o E, con la finalidad de simular una condición de asimetría vertical. En otras palabras, cada posición tuvo diferente condición de acceso al recurso común y fue posible distinguir entre usuarios aguas arriba y usuarios aguas abajo (Figura 1). El experimento planteó a los participantes un dilema de irrigación en el que sus decisiones, comportamientos y estrategias tuvieron efecto en los beneficios individuales y colectivos.

**Figura 1.**

Representación gráfica del experimento de campo “Juego de Regantes”. Adaptado de Baggio et al. (2015).



El eje central del experimento de campo es la toma de dos decisiones clave:

**Fase de inversión:** Al inicio de cada ronda, cada participante recibió un total de 10 tokens (fichas). Cada participante decidió de manera autónoma cuántos tokens invertiría en el fondo común para el mantenimiento de la infraestructura del sistema de riego. El nivel de inversión total del grupo determinó las unidades

de agua disponibles para ser distribuidas en cada ronda. Mayor cooperación entre los participantes generaba mayor disponibilidad del recurso común.

**Fase de extracción:** Una vez determinada la cantidad de unidades de agua disponibles en cada ronda, cada participante de manera anónima decidió la cantidad de unidades de agua que extraería para su beneficio individual.

Las ganancias en cada ronda fueron distribuidas de acuerdo con la asimetría vertical, desde el participante A hacia el E. El Cuadro 1 se detalla

la cantidad de unidades de agua disponibles basada en la inversión total del grupo y el nivel de lluvia.

### Cuadro 1

Unidades de agua disponible en función del total de tokens invertidos y nivel de lluvia.

Total de tokens invertidos por los 5 participantes	Nivel de lluvia (Bajo)	Nivel de lluvia (Normal)	Nivel de lluvia (Alto)
0 – 10	0	0	0
11 – 15	2	5	8
16 – 20	8	20	32
21 – 25	16	40	64
26 – 30	24	60	96
31 – 35	30	75	120
36 – 40	34	85	136
41 – 45	38	95	152
46 – 50	40	100	160

Fuente: Baggio et al. (2015)

Bajo este sistema de incentivos y reglas, el “equilibrio de Nash” sugiere que los participantes optarían por la solución no cooperativa, en la que ninguno de ellos tendría la suficiente motivación para alinear sus intereses individuales con el interés colectivo (van Lange, Joireman, Parks y van Dijk, 2013). Por lo tanto, no invertirían en el fondo público y recibirían beneficios totales equivalentes a los 10 tokens inicialmente recibidos. Adicionalmente, se incluyeron tres variables para representar la variabilidad climática:

*Nivel de lluvia.* Se modificó de manera aleatoria, en función del lanzamiento de un dado, la cantidad de unidades de agua disponibles según la inversión total del grupo en cada ronda (Cuadro 2). Los tres niveles de lluvia fueron: a) Bajo, 60% menos de unidades de agua disponibles; b) Normal; nivel base de unidades de agua disponibles; y c) Alto, 60% más de unidades de agua disponibles.

*Nivel de variabilidad climática.* Se determinó la probabilidad de los diferentes niveles de lluvia en cada ronda, es decir, la interpretación del resultado del lanzamiento del

dado descrito en la variable anterior. Con esta regla se incrementó para los participantes la incertidumbre sobre el nivel de inversión a realizar en cada ronda, debido a la posibilidad de incrementar o disminuir sus ganancias en rondas futuras. El nivel de variabilidad climática en cada ronda fue determinado a priori por los facilitadores. Los tres niveles de variabilidad climática y las interpretaciones correspondientes de los niveles de lluvia en función del lanzamiento de dado se muestran en el Cuadro 2.

**Cuadro 2**

Nivel de lluvia según el nivel de variabilidad climática y los resultados del lanzamiento de un dado.

Variabilidad climática	Nivel de lluvia		
	Baja	Normal	Alta
Baja	1	2, 3, 4, 5	6
Sin Variabilidad	-	1 - 6	-
Alta	1, 2	3, 4	5, 6

*Secuencia o diseño de sesión.* A cada grupo se le asignó uno de tres tipos de sesiones con diferentes secuencias de condiciones de variabilidad climática por periodo: SBAS (sin, baja, alta y sin variabilidad), BASS (baja, alta, sin y sin variabilidad) y ASBS (alta, sin, baja y sin variabilidad). Cada periodo estuvo

compuesto por cinco rondas. Con esta regla se pretendió analizar la modificación del comportamiento de cada participante y su capacidad de gestión de riesgo bajo diferentes escenarios de variabilidad climática. En el Cuadro 3 se detalla la secuencia de cada una de las sesiones aplicadas.

**Cuadro 3**

Diseño de secuencias de variabilidad climática por sesión.

	Sigla	Periodo 1 Ronda 1 - 5	Periodo 2 Ronda 6 - 10	Periodo 3 Ronda 11 - 15	Periodo 4 Ronda 16 - 20
Sesión 1	SBAS	Sin variabilidad	Baja variabilidad	Alta variabilidad	Sin variabilidad
Sesión 2	BASS	Baja variabilidad	Alta variabilidad	Sin variabilidad	Sin variabilidad
Sesión 3	ASBS	Alta variabilidad	Sin variabilidad	Baja variabilidad	Sin variabilidad

Fuente: Adaptado de Baggio et al. (2015)

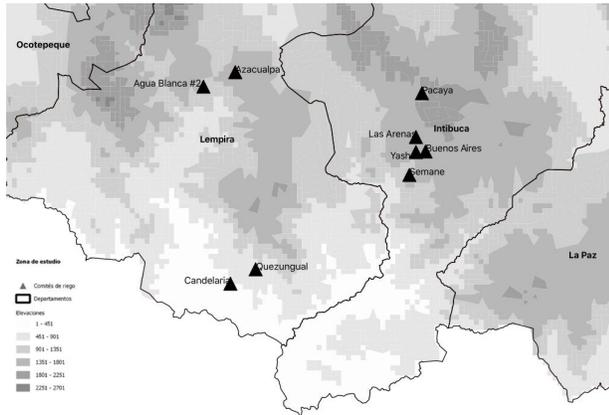
El diseño original de Baggio et al. (2015) tiene tres periodos por sesión, con un total de 15 rondas, durante los cuales, los participantes no tienen oportunidad de comunicación. En las sesiones de la presente investigación se integró un cuarto y último periodo en el que los participantes pudieron comunicarse y negociar entre sí, sin intromisión de los facilitadores de cada grupo, incluso para definir sus propias reglas si así lo deseaban. Además, no se aplicó variabilidad climática en este último periodo. La única restricción impuesta fue que los participantes mantuvieran las posiciones asignadas.

*Selección de participantes*

Los participantes fueron seleccionados entre los comités de riego beneficiarios de la Actividad ACS-USAID en el Corredor Seco de

Honduras. Se aplicó un muestreo intencional de los comités de riego en colaboración con los técnicos del campo de ACS-USAID, considerando criterios de selección como el alto número de usuarios activos, capacidad de convocatoria y compromiso de los usuarios. Así, se seleccionaron un total de nueve sistemas de riego en los Departamentos de Intibucá y Lempira (Figura 2). Para evitar sesgo de autoselección (self-selection bias) los técnicos de ACS-USAID realizaron las convocatorias a través de los presidentes de comité como una reunión rutinaria. No se informó a los participantes sobre el desarrollo del experimento ni que se haría un pago, sino hasta el inicio del taller.

**Figura 2**  
Comités de riego seleccionados para el estudio



Se contó con 150 participantes incluyendo usuarios regulares de los sistemas de riego por goteo y líderes de los comités de riego. Se realizaron un total de 30 sesiones del experimento de campo en 11 talleres de trabajo. En el Cuadro 4 se detallan las características generales de los nueve comités de riego seleccionados para el presente estudio.

**Cuadro 4**  
Comités de riego seleccionados en el estudio

Departamento	Comité de riego	Usuarios activos	Año instalación	Formado por ACS-USAID	Participantes	Sesiones
Intibucá	Buenos Aires	21	Nov-17	Si	15	3
	Las Arenas	18	Nov-14	No	15	3
	Pacaya	24	Oct-18	No	15	3
	Semane	22	Nov-17	No	15	3
	Yashe	28	Dic-2017	Si	15	3
Lempira	Agua Blanca #2	37	Dic-2017	Si	30	6
	Azacualpa	47	Nov-17	No	15	3
	Candelaria	62	Nov-14	Si	15	3
	Quezungual	72	Nov-14	Si	15	3

*Levantamiento de datos*

La toma de datos se realizó entre los meses de junio y agosto del 2019. Al inicio de cada sesión se realizó una ronda demostrativa para que las reglas fuesen completamente entendidas por los participantes. Las decisiones en cada fase de inversión y extracción fueron escritas por cada participante en un formulario de decisiones. Por otro lado, los facilitadores registraban la información sobre la inversión total, la variabilidad climática y el nivel de lluvia aplicado en cada ronda. Además, en el cuarto periodo de rondas se anunció la apertura de la comunicación entre los participantes, procurando que la dinámica de la sesión continuase sin intervención de los facilitadores.

El número total de rondas por sesión no fue comunicado a los participantes para evitar que esta información afectara el comportamiento de estos.

Al finalizar cada sesión, se aplicó una encuesta individual para conocer las condiciones socioeconómicas de los participantes. Las variables recopiladas en esta encuesta fueron utilizadas en la construcción de los modelos jerárquicos. En el Cuadro 5 se detallan las características principales de los participantes del estudio. Al finalizar cada sesión, se pagaron las ganancias a cada participante. Posteriormente se aplicó una encuesta de retroalimentación.

**Cuadro 5**  
Características de los participantes del estudio

Variable	Departamento Intibucá					Departamento Lempira			
	Buenos Aires	Las Arenas	Pacaya	Semane	Yashe	Agua Blanca #2	Azacualpa	Candelaria	Quezungual
Género femenino (%)	27	20	0	20	7	0	7	33	27
Edad (años)	42	42	33	43	42	38	40	48	40
Estado civil casado/a (%)	73	53	67	60	80	63	87	80	60
Educación primaria completa (%)	60	53	87	73	60	47	60	47	73
Tamaño del hogar	5	6	9	5	6	6	6	5	5
Destino de cosecha comercialización (%)	47	80	93	60	87	37	87	40	73
Área cultivada (Ha)	0.85	1.30	1.20	0.66	0.67	0.40	1.28	0.69	0.45

### Análisis de datos

Se generaron un total de 3,000 observaciones, sin embargo, debido a que la variable de inversión pasada genera *missing values* para la primera ronda, el número de observación en cada modelo es de 2,850. Cada observación indica la decisión de inversión y extracción de cada participante en cada ronda. Los modelos se construyeron utilizando como variable dependiente la decisión de inversión, la cual representa la acción colectiva de los comités de riego y el nivel de compromiso de los participantes. La ganancia neta del participante  $i$  en la ronda  $t$  ( $NG_{i,t}$ ) se refiere a la sumatoria entre la inversión retenida ( $Inv_{i,t}$ ) y la cantidad de unidades de agua extraída ( $Ext_{i,t}$ ) en cada ronda (Cárdenas et al., 2013).

$$NG_{i,t} = 10 - Inv_{i,t} + Ext_{i,t} \quad (1)$$

El Índice de Reparto Equitativo (IRE) se calcula como la extracción del participante  $i$  en la ronda  $t$  ( $E_{i,t}$ ) dividido entre el total de unidades de agua disponibles en la ronda ( $R_t$ ), dividido entre 5 (Baggio et al., 2015). Un  $IRE_{i,t}$  mayor o menor que 1 significa que el

participante extrajo una cantidad del recurso mayor o menor al monto equitativo, respectivamente.

$$IRE_{i,t} = E_{i,t} / (R_t / 5) \quad (2)$$

La confianza se refiere al comportamiento de un participante en una situación de riesgo en la que el comportamiento de otros participantes determina su beneficio o pérdida (Henry, 2011). Se usó la metodología de Janssen et al. (2012) quienes estiman la confianza en una escala de 0 a 1 a partir de preguntas de acción colectiva y confianza en la comunidad en la encuesta individual. La eficiencia del grupo ( $EG_i$ ) refiere al porcentaje de unidades de agua disponibles ( $UAD_i$ ) por el grupo en cada ronda  $t$  en relación con el óptimo social ( $OS_t$ ). El óptimo social es el número máximo de unidades de agua que se puede generar en una ronda dependiendo del nivel de lluvia aplicado.

$$EG_i = UAD_i / OS_t \quad (3)$$

Con el fin de evaluar la capacidad institucional de los comités de riego se elaboraron modelos jerárquicos con tres niveles de análisis. En un primer nivel se analizó el comportamiento de los individuos frente a las condiciones de asimetría y variabilidad climática. A nivel de grupo se analizó el comportamiento de los distintos comités de

riego y sus integrantes para contribuir voluntariamente al mantenimiento del sistema de riego. Finalmente, a nivel de cuenca se analizó el comportamiento de los comités de riego, y sus atributos y acción colectiva. En el Cuadro 6 se resumen las variables utilizadas en los modelos jerárquicos.

### Cuadro 6

Variables explicativas utilizadas en los modelos jerárquicos.

Variables	Descripción
Participante	Posición asumida por el participante (B, C, D, E) en comparación con el participante A.
Secuencia BASS - ASBS	Secuencia de cada sesión en comparación con SBAS.
Baja - alta variabilidad	Nivel de variabilidad aplicada en comparación con "Sin variabilidad".
Inversión pasada *extracción	Inversión por extracción del participante en la ronda anterior.
ESR	Índice de distribución equitativa.
Ganancia	Ganancia neta
Confianza	Nivel de confianza del participante respecto a su entorno
Eficiencia del Grupo	El porcentaje de unidades de agua disponibles en relación con el óptimo social
Comunicación	Comunicación de participantes durante la ronda. Dummy, 0 = no; 1 = sí.
Edad	Edad del participante en años.
Estado Civil	Dummy, 0 = soltero, 1 = casado.
Género	Dummy, 0 = hombre; 1 = mujer.
Destino cosecha	Dummy, 0 = autoconsumo; 1 = autoconsumo + comercialización
Área bajo riego	Área cultivada bajo sistema de riego por goteo.
Grupo ACS <sup>c</sup>	Dummy, 0 = grupo no formado por ACS; 1 = grupo formado por ACS.
Edad infraestructura <sup>c</sup>	Años desde la instalación de la infraestructura de riego
Número usuarios <sup>c</sup>	Usuarios por comité de riego.
Cooperación comité <sup>c</sup>	Dummy 0 = baja participación; 1 = alta participación.

Nota. <sup>c</sup> variables utilizadas únicamente en el modelo a nivel de cuenca.

El modelo jerárquico fue estimado utilizando la Ecuación 4:

$$y = X\beta + Zu + \varepsilon \quad (4)$$

Donde  $y$  representa el vector de la variable dependiente,  $X$  es la matriz que contiene las variables independientes,  $\beta$  es el vector de coeficientes de efectos fijos (*fixed-*

*effects*) desconocidos estimados con el modelo.  $Z$  es la matriz de efectos aleatorios (*random-effects*) para los grupos considerados en el estudio, y  $u$  es un vector de efectos aleatorios que complementan los coeficientes de efectos fijos ( $\beta$ ). Finalmente,  $\varepsilon$  representa el error estocástico del modelo.

Se utilizó la “Estimación por Máxima Verosimilitud Restringida” (REML) para el cálculo de los valores por su capacidad de producir estimaciones menos sesgadas por la pérdida de grados de libertad en la estimación de los efectos fijos del modelo. Se consideró el criterio de información de Akaike (AIC) y el criterio de información bayesiano Schwartz (BIC) como criterios paramétricos comparativos entre modelos (Correa y Salazar, 2016). Adicionalmente, se utilizaron tres herramientas para la evaluación de los supuestos estadísticos de los modelos jerárquicos. El factor de inflación de varianza (VIF) se utilizó para estimar la intensidad de multicolinealidad en el análisis de regresión. Se asignaron pesos fijos en la ponderación de las estimaciones de los coeficientes de regresión para solucionar el problema de heterocedasticidad y cumplir con el supuesto de homogeneidad de las varianzas del error. Finalmente, se evaluó el supuesto de normalidad mediante la representación gráfica de los valores residuales del modelo para verificar que estos estuvieran distribuidos de manera normal (Loy y Hofmann, 2014).

Ahora, este modelo jerárquico fue aplicado tres veces en este estudio para analizar resultados a nivel individual, de sistema y de cuenca. Aunque el mismo modelo jerárquico fue implementado para estos tres niveles, varía el control de la jerarquía utilizado. De esta manera, el nivel individual controla todas las rondas del experimento de cada individuo, en cada sistema y cuenca; mientras que, el nivel de sistema no controla las rondas por cada individuo, sino que analiza todas las observaciones a nivel de sistema de riego y, por último, el nivel de cuenca, controla los individuos y sistemas de riego de acuerdo con la cuenca en la cual están ubicados.

## **Resultados y Discusión**

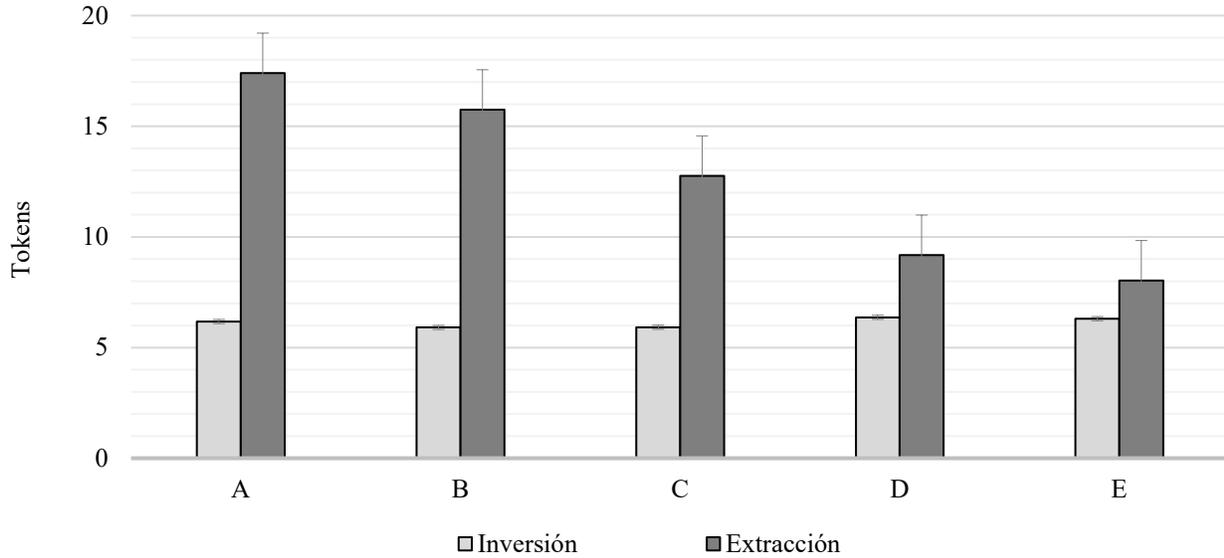
En esta sección se analiza los resultados del experimento a los tres niveles: individual,

sistema y de cuenca. Para cada nivel se visualiza algunos datos descriptivos para entender mejor la dinámica del juego y luego se presenta el modelo jerárquico correspondiente. Al final se discute los resultados de los tres modelos jerárquicos en su conjunto.

### *Nivel individual*

A nivel individual es relevante analizar las condicionantes que determinan el comportamiento de los usuarios de los diferentes comités de riego respecto a su decisión de inversión en el fondo común. La Figura 3 revela que hay una diferencia en la inversión respecto a la posición de los participantes D y E. Es decir, el comportamiento del usuario A condiciona las decisiones de inversión de los participantes D y E. Aun cuando usuarios aguas arriba optan por un comportamiento de bandidos estacionarios (Janssen, Anderies y Cardenas, 2011), los usuarios aguas abajo actúan en contra de la predicción de E. Ostrom y Gardner (1993) y Janssen et al., (2012). A pesar de la inequidad en la distribución del recurso de uso común, la cooperación de usuarios aguas abajo es superior a sus contrapartes aguas arriba. Por otro lado, los usuarios aguas arriba toman ventaja de la condición de asimetría para maximizar beneficios por medio de comportamientos oportunistas (Isaac y Walker, 1988; Janssen, Anderies y Joshi, 2011). Se podría considerar que las motivaciones prosociales y cooperación de los usuarios aguas abajo aportan de manera significativa en el mantenimiento del recurso común (Balliet y Ferris, 2013; Poteete, Janssen y Ostrom, 2010). Esta situación se relaciona con el compromiso de los usuarios a través del pago de tarifas por la utilización de la infraestructura de riego comunitaria y la adquisición de beneficios atribuidos al uso del sistema de riego por goteo (Cox et al., 2010).

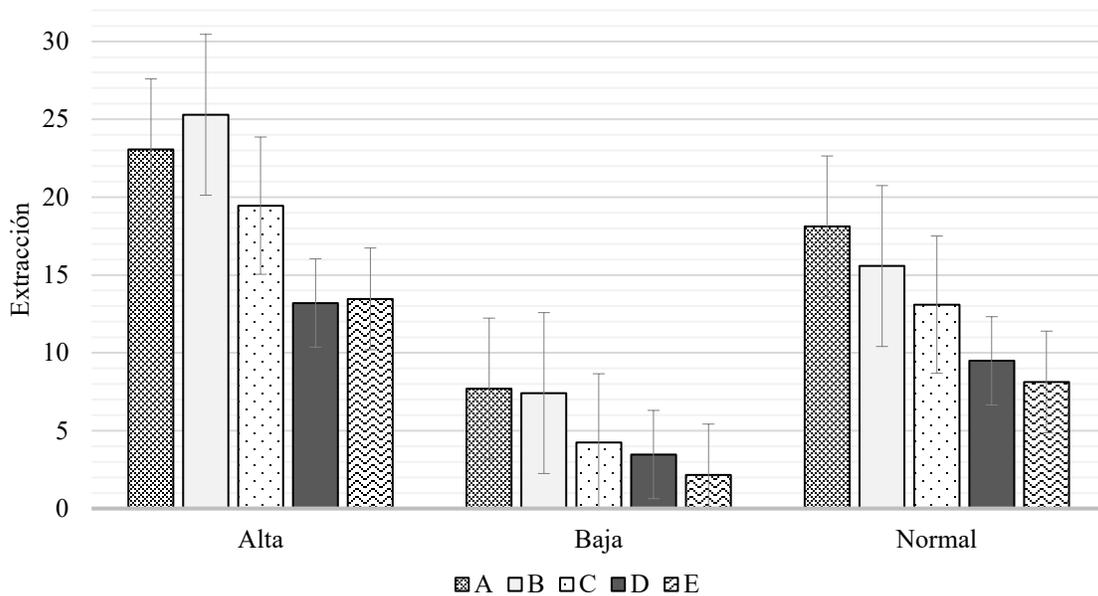
**Figura 3**  
Promedio de inversión y extracción según posición de los participantes



Los escenarios de variabilidad climática son relevantes en las decisiones de inversión de los participantes. La Figura 4 muestra que en escenarios atípicos de lluvia se incrementa la inequidad en la extracción del recurso común. En el escenario de nivel normal de lluvia no hay diferencias estadísticamente significativas entre

los niveles de extracción de los usuarios en las diferentes posiciones, mientras que, en el escenario de alto nivel de la lluvia los usuarios en las posiciones A y B extraen 7 unidades de agua más en promedio que los usuarios en las posiciones D y E.

**Figura 4.** Promedio de inversión para cada nivel de lluvia y posición de los participantes.

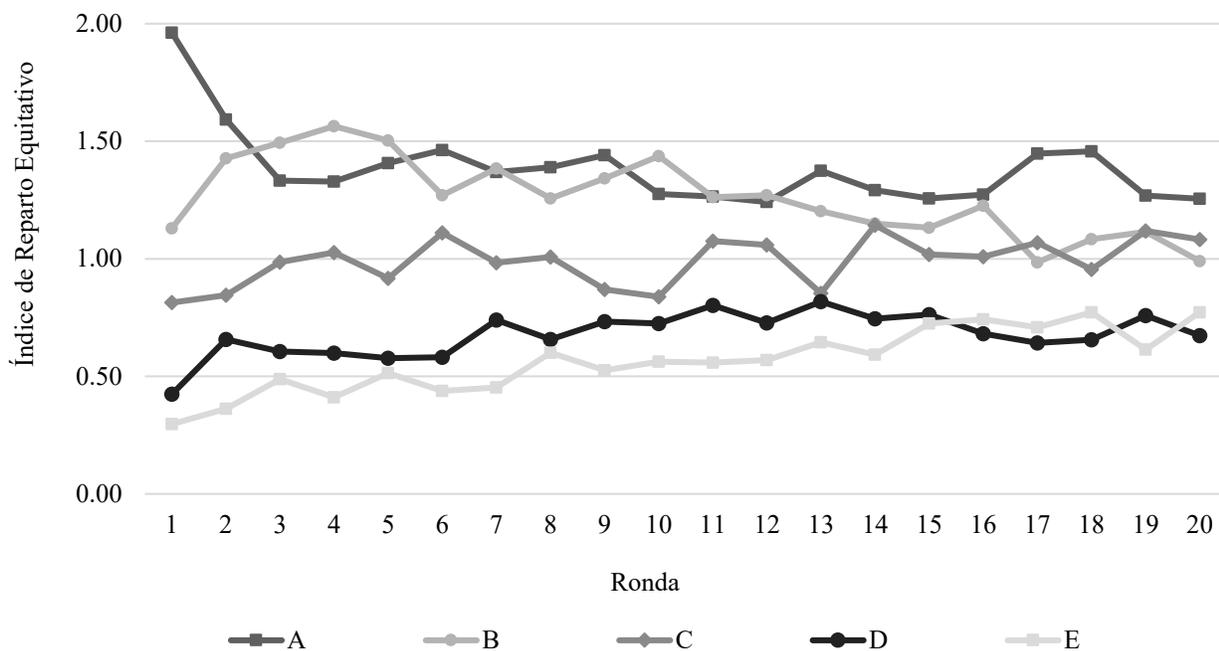


En cuanto al Índice de Reparto Equitativo (IRE), en la figura 5 se observa que durante las primeras rondas del experimento se presentó un escenario de inequidad respecto a la distribución del agua. Las posiciones A y B presentaron un IRE > 1 y limitaron las ganancias de las posiciones inferiores D y E, quienes presenta un IRE < 1. Las decisiones de extracción de los usuarios en la posición C

fueron determinantes en el desarrollo del experimento, siendo el participante en esta posición quien entendió de mejor manera las estrategias de los demás participantes. Por lo tanto, los atributos de este participante fueron fundamentales en algunos casos para corregir los comportamientos de los usuarios A y B y minimizar las pérdidas de usuarios aguas abajo.

**Figura 5**

Promedio de índice de distribución equitativa según posición de los usuarios y ronda de la sesión



Los resultados del modelo jerárquico a nivel individual se presentan en el Cuadro 7 y muestran que las principales características que condicionan la inversión de los usuarios son el grado de equidad en la distribución del agua, ganancias obtenidas, inversión previa efectuada, comunicación entre participantes, edad y la variabilidad climática; estos hallazgos son consistentes con los resultados de Janssen, Anderies y Cardenas (2011), Janssen et al., (2012) y Baggio et al. (2015).

**Cuadro 7**

Modelo jerárquico a nivel individual con coeficientes estandarizados (n=2,850).

Variabes	Valor	Error estándar	p-value
(Intercepto)	6.449	0.820	0.000
Participante B	0.024	0.311	0.938
Participante C	-0.142	0.314	0.652
Participante D	0.255	0.319	0.424
Participante E	0.199	0.321	0.536
SBAS * Alta variabilidad	0.433	0.188	0.022
SBAS * Baja variabilidad	0.473	0.189	0.012
ASBS * Sin variabilidad	0.534	0.265	0.044
ASBS * Alta variabilidad	0.055	0.299	0.855
ASBS * Baja variabilidad	-1.481	0.285	0.000
BASS * Sin variabilidad	0.010	0.263	0.969
BASS * Alta variabilidad	0.035	0.286	0.904
BASS * Baja variabilidad	-0.201	0.295	0.496
Inversión pasada * extracción	0.010	0.001	0.000
ESR pasado	-0.569	0.077	0.000
Ganancia	-0.018	0.007	0.006
Confianza	-1.171	1.088	0.284
Eficiencia pasada del grupo	-0.839	0.266	0.002
Comunicación	1.008	0.116	0.000
Edad	0.018	0.008	0.020
Estado Civil	-0.314	0.259	0.227
Género	0.052	0.311	0.867
Grupo ACS	0.222	0.381	0.581
n <sup>1</sup>	2,850		

De acuerdo con Baggio et al. (2015), la posición y comportamiento de los usuarios aguas arriba es medido por el IDE y por las ganancias de estos. En cuanto a las ganancias, el hecho de que los usuarios aguas abajo no se desmotiven por la acumulación de menores ganancias en comparación con otros usuarios, motivó a los usuarios aguas arriba para adoptar un comportamiento de bandido estacionario (Janssen, Anderies y Cardenas, 2011). Mantener altas ganancias provoca un nivel menor de inversión futura debido al aporte de usuarios aguas abajo. Es decir, el individuo en la posición arriba hace una inversión suficiente para que los demás participantes continúen motivados hacia la cooperación, y al mismo tiempo procura maximizar sus ganancias. La

extracción realizada en una ronda respecto a la inversión realizada en la ronda anterior muestra cómo los participantes analizan sus decisiones en función de sus inversiones anteriores y el comportamiento de los demás participantes (Janssen, 2015).

El IDE pasado para el modelo individual tiene un signo negativo, lo que muestra que entre más inequitativa es la distribución del agua, mayor es la inversión por parte de los usuarios, esta situación podría ser explicada por los usuarios D y E por invertir más en su deseo de obtener más agua. Este hallazgo es confirmado por el resultado de la eficiencia pasada del grupo que también muestra un signo negativo, indicando que, entre menor es la

eficiencia del grupo mayor es la inversión de los usuarios. Por otra parte, la edad de los usuarios es significativa y positiva, indicando que entre mayor es la edad de los usuarios, mayor es la inversión que ellos efectúan, siendo este resultado congruente con los reportes de Janssen, Anderies y Cardenas (2011).

Una variable de relevancia es la comunicación entre los usuarios, cuando se les brinda la oportunidad de exponer sus opiniones y peticiones a otros usuarios para mejorar la distribución del recurso común. La calidad de los acuerdos fue influenciada por la distribución del recurso común y las reputaciones de cada usuario hasta este punto del experimento. Los participantes que han sobreexplotado el recurso común evitan la comunicación debido a la exposición pública de su comportamiento o por el interés de continuar con su comportamiento oportunista. Mientras que, los participantes en condiciones desfavorables expresaron sus opiniones con la finalidad de mejorar sus ganancias. La capacidad de comunicación con otros participantes aumenta la motivación de trabajar de manera colectiva para superar las brechas de inequidad y el dilema social (Balliet, 2010; Poteete et al., 2010; Takayama et al., 2018; Yan Tang, 1992).

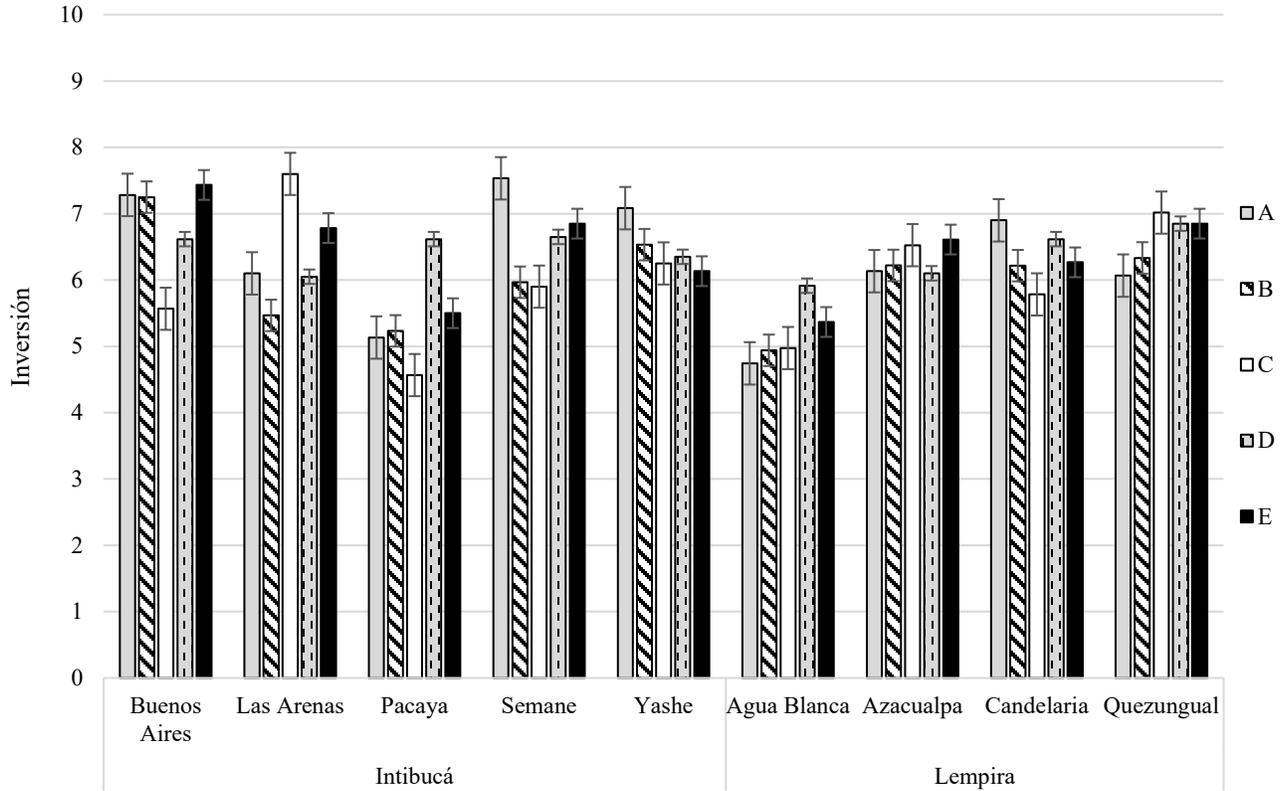
Los escenarios de variabilidad climática fueron determinantes en las decisiones de inversión de los participantes (variabilidad baja  $p=0.000$ ; variabilidad alta  $p=0.026$ ). De igual manera, se evidencian diferencias estadísticamente significativas en la apropiación de agua de los usuarios respecto a los niveles de lluvia. Esta situación es atribuida al riesgo de pérdida de inversiones en función

de los niveles de lluvia y al oportunismo de algunos usuarios al tratar de incrementar sus ganancias, lo cual, genera una situación de desventaja para los usuarios aguas abajo (Cárdenas et al., 2013; Janssen et al., 2012; Janssen, Anderies y Joshi, 2011). Los usuarios aguas abajo de alguna manera son sensibles a la situación de inequidad. Por ello, cuando fue posible, los participantes en las posiciones finales compartieron las unidades de agua con mayor grado de equidad que los usuarios en las demás posiciones (Cárdenas et al., 2013; Janssen et al., 2012). Sin la presencia de la infraestructura de riego el acceso al recurso común fuera aún más limitado para todos los usuarios debido a la variabilidad climática (Hanif, 2015; Parker, Miller, Caballero y Escolán, 2014).

#### *Nivel de sistema*

A nivel de sistema las brechas entre participantes son marcadas (Figura 6), considerando que las motivaciones de los usuarios aguas abajo van más allá de las ganancias a corto plazo, optando por una estrategia colaborativa que traerá beneficios colectivos y bienestar a largo plazo (Komorita, Parks y Hulbert, 1992; Popa, 2015). Esta hipótesis va en contra de la predicción teórica de Ostrom y Gardner (1993) y Janssen et al., (2012), quienes sostuvieron que los usuarios aguas arriba son los interesados en realizar mayores inversiones frente a sus contrapartes aguas abajo. Este fenómeno es visiblemente diferente entre los grupos, posiblemente atribuido a las diferencias estructurales del contexto y la heterogeneidad de los diferentes comités (Roßner y Zikos, 2018).

**Figura 6**  
Inversión individual por cada cuenca y comité de riego.

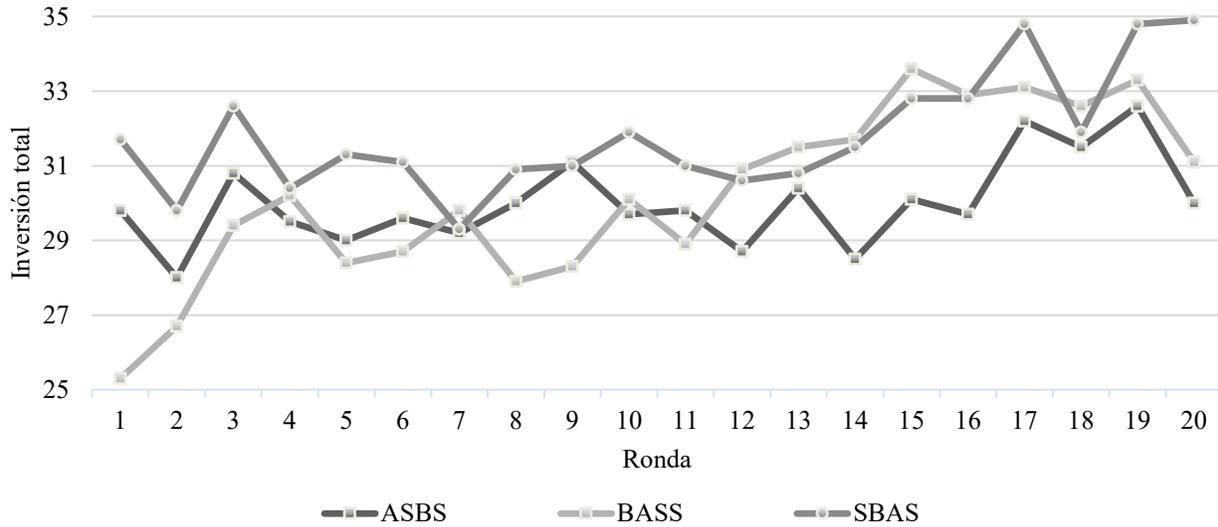


Un aspecto relevante fue la evolución de los grupos durante las rondas del experimento para incrementar la inversión total. En la Figura 7 se muestra la inversión total en las diferentes rondas según las secuencias de variabilidad climática. La introducción de las secuencias como variables en el experimento influyó en el comportamiento grupal para la generación, mantenimiento y distribución del recurso común. En las secuencias SBAS y ASBS no se observaron cambios significativos en la inversión total entre las rondas 1-15. En cambio, en la secuencia BASS se observó una menor inversión en las primeras 10 rondas en

comparación con las rondas subsiguientes debido a la aplicación inmediata de escenarios de variabilidad climática. Sin embargo, en los dos últimos periodos (rondas 10-20), se incrementó la cooperación, superando la inversión total inicial. Un determinante en la inversión total es la calidad de los acuerdos generados en el cuarto periodo (rondas 15-20). Es evidente que estos acuerdos se debilitan en las secuencias ASBS y BASS, disminuyendo la cooperación grupal en las últimas rondas del experimento.

**Figura 7**

Promedio de inversión total según cada secuencia de variabilidad climática y ronda del experimento.

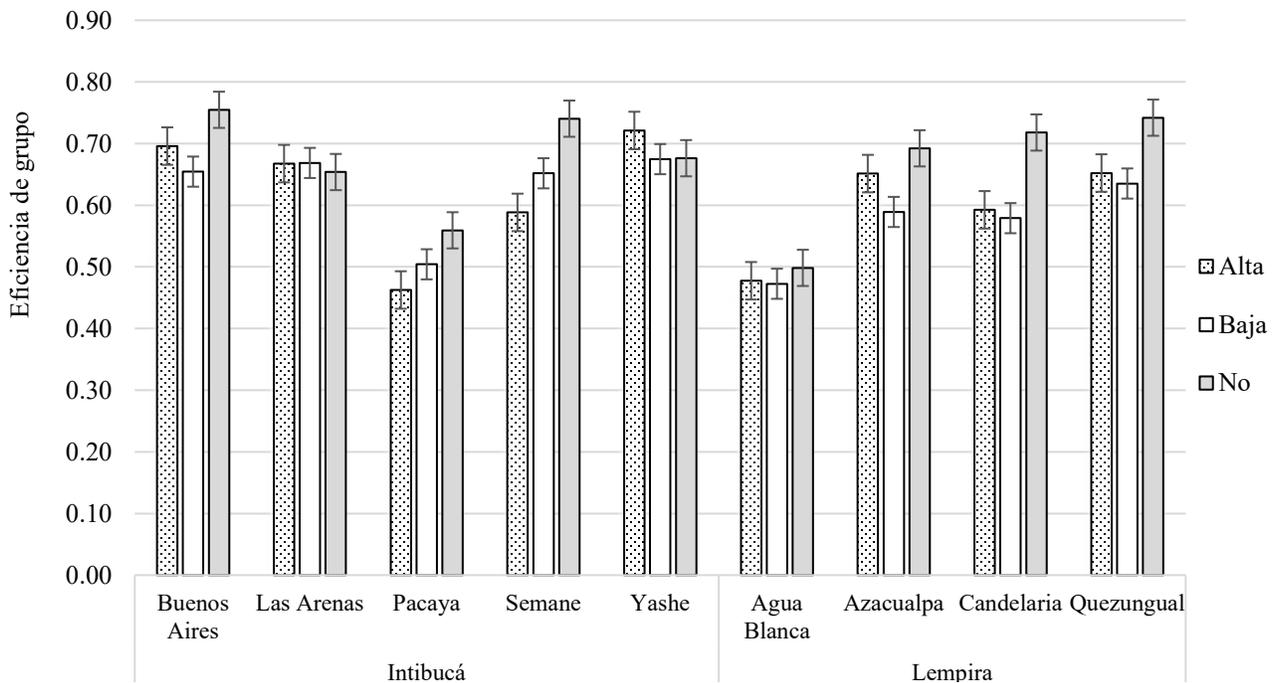


La variabilidad climática tuvo influencia en los niveles de eficiencia grupal para alcanzar el óptimo social (Figura 8). Bajo escenarios sin variabilidad climática, los comités de riego lograron una eficiencia de  $0.65 \pm 0.18$ . Mientras que, la eficiencia disminuyó a  $0.59 \pm 0.19$  bajo

una baja variabilidad y  $0.60 \pm 0.19$  bajo una alta variabilidad, lo que muestra que la incertidumbre climática es una condición persistente en los usuarios del sistema de riego que modifica su comportamiento y cooperación (Donatti et al., 2019; Sousa et al., 2018).

**Figura 8**

Promedio de eficiencia de grupo por comités de riego según niveles de variabilidad climática



Los hallazgos sugieren que la cooperación, representada en forma de inversión y distribución del recurso común, están influenciadas por la variabilidad climática simulada en el experimento, mostrando que la incertidumbre asociada con esta variabilidad climática tiene un efecto significativo con respecto a la inversión efectuada por los usuarios, estos hallazgos son consistentes con los reportados por Anderies, Janssen, Lee y Wasserman (2013) y Bisaro y Hinkel (2016). Sin embargo, los acuerdos colectivos son vulnerables cuando el recurso común es limitado, mientras que, los escenarios de abundancia pueden favorecer o no la estabilidad de los acuerdos grupales (Ansink y Ruijs, 2008). Por lo tanto, el problema central de los Comités de Riego es la motivación de sus integrantes para trabajar de manera colectiva, superar los

conflictos de inequidad y preservar el recurso común como un mecanismo de adaptación contra los efectos de la variabilidad climática (Anderies et al., 2013; Özerol, 2013; Sousa et al., 2018).

En el Cuadro 8 se presentan los resultados del modelo jerárquico a nivel de grupo. En este nivel, la posición y el acceso asimétrico al recurso común también condicionaron la inversión de los participantes. Los usuarios aguas arriba actúan como bandidos estacionarios mientras que los usuarios aguas abajo realizan mayores inversiones para el mantenimiento del sistema.

### Cuadro 8

Modelo jerárquico a nivel de grupo con coeficientes estandarizados (n=2,850).

Variables	Valor	Desviación estándar	p-value
(Intercepto)	28.437	2.045	0.000
SBAS * Alta variabilidad	0.683	0.480	0.155
SBAS * Baja variabilidad	0.534	0.483	0.269
ASBS * No variabilidad	0.229	0.372	0.538
ASBS * Alta variabilidad	-1.292	0.510	0.011
ASBS * Baja variabilidad	-2.622	0.446	0.000
BASS * No variabilidad	0.750	0.374	0.045
BASS * Alta variabilidad	-1.011	0.470	0.032
BASS * Baja variabilidad	-1.316	0.506	0.009
Confianza	-5.791	1.139	0.000
Inversión pasada * extracción	0.022	0.001	0.000
Comunicación	2.859	0.289	0.000
Género	0.266	0.303	0.380
Destino de cosecha	0.843	0.254	0.001
Área de riego	0.920	0.134	0.000
Grupo ACS	1.404	1.716	0.451
Cooperación comité	0.333	0.350	0.341
Edad infraestructura	0.415	0.560	0.493

Uno de los resultados más sorprendentes es el efecto negativo que tiene la confianza sobre la inversión total por parte de los usuarios. No obstante, este puede ser condicionado por antecedentes de conflictos internos o experiencias pasadas entre los miembros de cada comité que se encuentran fuera del límite del presente estudio (Anderies et al., 2011; Castillo, Bousquet, Janssen, Worrapimphong y Cardenas, 2011; Hoogesteger, 2015; Yang, Rezitis, Zhu y Ren, 2018).

Ahora, similar a los resultados del nivel individual, la inversión pasada y la cantidad de agua extraída tiene un efecto positivo sobre la inversión de los usuarios en rondas actuales (Janssen, 2015). Por otra parte, la comunicación grupal fue un determinante positivo para incrementar la inversión y consecuente generación de unidades de agua. En consecuencia, la comunicación es un catalizador para mejorar la cooperación voluntaria entre los miembros y la sostenibilidad de los comités (DeMarrais y Earle, 2017; Isaac y Walker, 1988; Janssen, 2010; Otto y Wechsung, 2014).

Con una mayor área de riego de cada usuario se observó una mayor colaboración voluntaria dentro de los grupos, por lo que es posible inferir que a mayor requerimiento del recurso común el usuario preferirá mayor colaboración en el mantenimiento de la infraestructura de riego para asegurar la producción agrícola (Fan, Tang y Park, 2019). Adicionalmente, se observa que la comunicación entre los usuarios tiene un efecto significativo sobre la inversión efectuada a nivel de sistema, lo que evidencia que la cooperación entre actores para obtener beneficios más equitativos y sostenibles para la inversión y

sostenibilidad financiera de los sistemas de riego (Komorita et al., 1992; Popa, 2015).

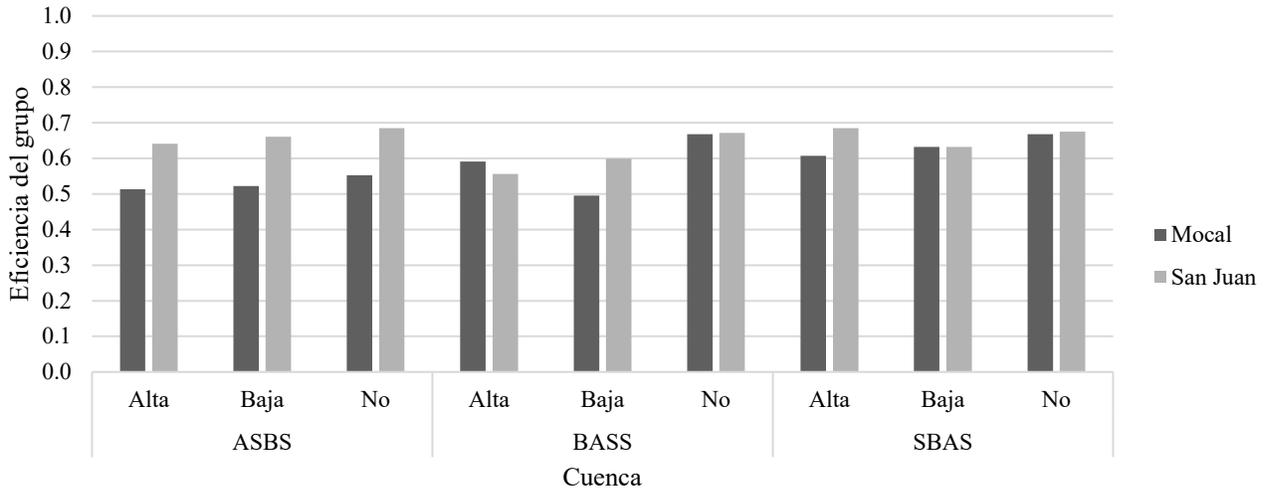
Por otra parte, se evidencia que la inversión de los usuarios se asocia con la efectividad pasada del grupo, donde entre mayor es la eficiencia del grupo, mayor es la inversión en el sistema de riego (Agrawal, 2001; Carpenter y Cárdenas, 2008; Cox et al., 2010). Finalmente, los comités que destinan el uso del sistema de riego por goteo para la producción de alimentos para autoconsumo y la comercialización en mercados formales y locales, tienen mayor motivación para la cooperación colectiva en comparación con los grupos que se dedican únicamente a producir para el autoconsumo (Bardhan, 1993). Esta situación se relaciona con los beneficios de comercialización de los productos a corto plazo que los grupos adquieren a través del uso del recurso hídrico (Fan et al., 2019).

#### *Nivel de cuenca*

En la Figura 9 se visualizan los niveles de eficiencia de grupo para cada cuenca en función de los diferentes niveles de variabilidad climática y secuencia. De manera general, estimamos que la cuenca San Juan presenta mejor eficiencia en la inversión total con un promedio de  $0.65 \pm 0.18$  en comparación con la cuenca Mocal con un promedio de  $0.59 \pm 0.19$ . De igual manera, la secuencia ASBS presenta las brechas más grandes en cuanto a eficiencia entre cuencas, mientras que, en las demás secuencias se observan tendencias similares. Una de las posibles razones es el contexto específico de los comités de riego y los sentimientos de incertidumbre que afecten la cooperación.

**Figura 9**

Promedio de eficiencia de grupo para secuencia y variabilidad a nivel de cuenca.

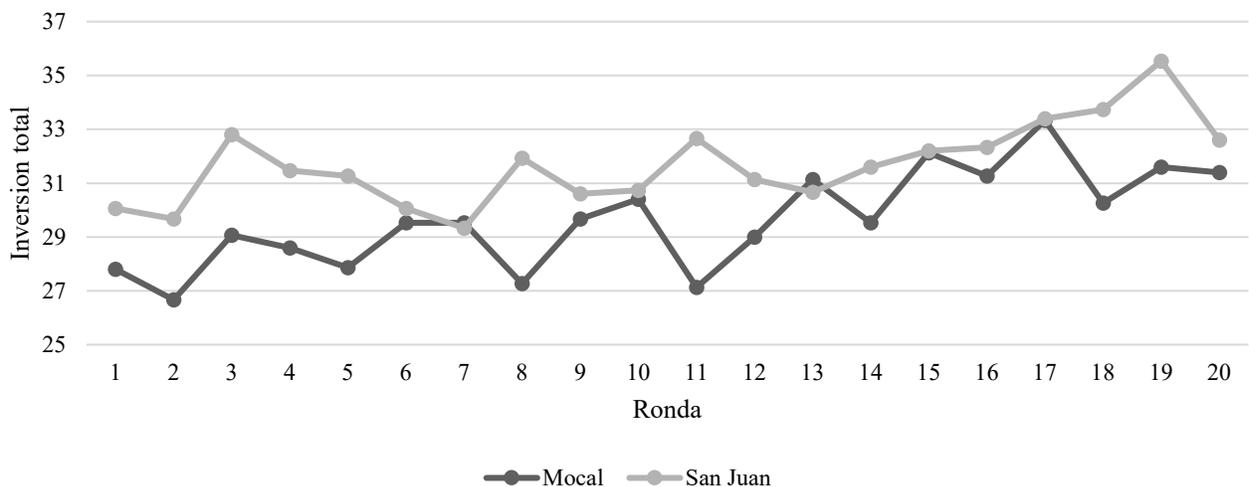


Aun cuando la variabilidad climática sea un determinante en la capacidad de cooperación de los comités de riego a nivel territorial, se evidencia que la cooperación de los comités de riego incrementa en el tiempo. En la Figura 10, se observa como los niveles de inversión total a nivel de cuenca incrementan cuando los comités de riego mejoran las condiciones de inversión. Por lo tanto, podemos considerar que, los comités de riego poseen una capacidad de resiliencia que les permite sostener una

inversión constante en el tiempo. Claramente, el determinante final en el incremento de la inversión es la apertura de la comunicación cara a cara. Así, la generación de acuerdos colectivos permite mejorar la eficiencia de los grupos y cuenca. Por lo tanto, podemos considerar que las acciones individuales y la cooperación voluntaria permite alcanzar objetivos a largo plazo con un efecto de escala superior.

**Figura 10**

Promedio de eficiencia de grupo para secuencia y variabilidad a nivel de cuenca.



El Cuadro 9 presenta el modelo jerárquico en el cual se controla la estructura jerárquica a nivel de cuenca. El propósito de este modelo es identificar si las cuencas en las que se identifica un mayor grado de intervención por parte de ACS – USAID se

asocia con una mejor inversión por parte de los usuarios en el sistema, lo que fortalece su funcionamiento en comparación con aquellas cuencas en las que hay menor grado de intervención.

### Cuadro 9

Modelo jerárquico a nivel de cuenca con coeficientes estandarizados.

Variables	Valor	Desviación estándar	p-value
(Intercepto)	23.118	3.186	0.000
SBAS * Alta variabilidad	0.578	0.506	0.253
SBAS * Baja variabilidad	0.623	0.509	0.221
ASBS * No variabilidad	0.087	0.387	0.821
ASBS * Alta variabilidad	-1.638	0.532	0.002
ASBS * Baja variabilidad	-2.481	0.453	0.000
BASS * No variabilidad	0.622	0.387	0.108
BASS * Alta variabilidad	-1.156	0.491	0.019
BASS * Baja variabilidad	-1.386	0.529	0.009
Confianza	-4.243	1.184	0.000
Inversión pasada * extracción	0.024	0.001	0.000
Comunicación	2.992	0.303	0.000
Grupo ACS	0.740	0.252	0.003
Edad	0.274	0.098	0.005
Usuarios	0.132	0.014	0.000
Cooperación	1.123	0.354	0.002
Destino de cosecha	0.822	0.237	0.001

Similar que, a modelos anteriores, es posible identificar que la variabilidad climática tiene un efecto significativo sobre la inversión, donde la presencia de dicha variabilidad genera incertidumbre sobre las unidades de agua que los usuarios pueden obtener y, por supuesto, se asocia con el grado de inversión que los usuarios efectúan. Estos hallazgos son consistentes con los resultados obtenidos en los modelos anteriores, así como en los estudios de Donatti et al. (2019) y Sousa et al. (2018), quienes reportan efectos similares de la variabilidad climática sobre la inversión por parte de los usuarios.

Por otra parte, similar a los hallazgos de (Janssen, 2015), (Agrawal, 2001; Carpenter y Cárdenas, 2008; Cox et al., 2010), se observa

que la inversión pasada y la extracción efectuada se correlaciona positivamente con la inversión actual efectuada por los usuarios en el sistema, evidenciando que las inversiones y extracciones históricas tienen un efecto sobre la decisión de los usuarios de invertir en el sistema. También, la comunicación entre los usuarios conlleva el desarrollo e implementación de acuerdos colectivos, los que mejora la gestión de los sistemas de riego y su sostenibilidad, evidenciada a través de un incremento significativo en las inversiones efectuadas en el sistema. Este hallazgo es consistente con los resultados de (Ansink y Ruijs, 2008) quienes reportan hallazgos similares.

De igual manera, como se reporta en modelos anteriores, las características como edad de los usuarios, contribución y destino de la cosecha, se asocian con un aumento en la inversión efectuada por los usuarios para el funcionamiento de los sistemas de riego. Estas características se asocian con la experiencia de los usuarios y con los beneficios obtenidos por la venta de sus cosechas. Estos resultados son similares a los reportados por Bardhan (1993) y Fan et al. (2019).

### Conclusiones

En este estudio se analizó el desempeño institucional de los comités de riego formados por la Actividad Alianza por el Corredor Seco y la capacidad de acción colectiva de sus usuarios. Los resultados ejemplifican cómo la participación de los usuarios del sistema de riego genera las condiciones para la formulación de acuerdos colectivos que garanticen la sostenibilidad del recurso común.

La importancia de estos resultados radica en las lecciones aprendidas en la implementación de políticas públicas en un entretejido social complejo como lo es el Corredor Seco de Honduras. De manera general, la presencia de la tecnología de micro irrigación, la estrategia de acceso a mercados hortícolas y la promesa de los beneficios socioeconómicos a corto plazo, no evidencian los problemas socio ambientales a largo plazo (Sese, Boesveld, Asins, van der Kooij y Maorulis, 2017; van der Kooij, Kuper y Zwarteveen, 2015; Venot et al., 2014). Como fue ejemplificado, el cambio en el valor del capital físico modifica el capital social, el comportamiento de los individuos y la eficiencia de los comités de riego (Komorita et al., 1992). Los resultados de este estudio demuestran que la inequidad en la distribución del recurso común se encuentra fuera del entendimiento de los implementadores de este tipo de intervenciones y sus propios beneficiarios (van der Kooij, Zwarteveen,

Boesveld y Kuper, 2013). Los comportamientos no cooperativos están relacionados con los problemas de confianza por antecedentes de conflictos comunitarios y heterogeneidad de los grupos y de sus participantes en términos de edad e intereses individuales, respecto al uso de la tecnología de micro-irrigación (Roßner y Zikos, 2018). La persistencia de estos problemas estructurales puede agravar situaciones de inequidad, sostenibilidad del recurso común y continuidad en el funcionamiento de los comités de riego.

Por otro lado, las evidencias encontradas en este estudio también sugieren que los comités de riego tienen la capacidad de coordinación de acuerdos colectivos aun en situaciones de inequidad en la distribución del recurso común. La presencia de la infraestructura de riego ayuda a la mitigación de los efectos de la variabilidad climática de los medios de vida de hogares en condiciones de bajos recursos. La gestión del riesgo en la producción agrícola frente a la incertidumbre climática es un motivador colectivo para formar parte de procesos de formación asociativa e incrementa el interés de los usuarios por la sostenibilidad a largo plazo de los comités de riego.

En conclusión, los hallazgos ilustran la construcción de institucionalidad en grupos sociales en condiciones de pobreza, en los que el proceso formativo ha creado habilidades colectivas para la captación, distribución, monitoreo, aprovechamiento del recurso hídrico y capacidad de adaptación a efectos de variabilidad climática. Sin embargo, la sostenibilidad de los comités de riego y la vigencia de los acuerdos colectivos dependen de dos condiciones. Primero, la superación de problemáticas socio ambientales relacionadas a inequidad y brechas de desigualdad comunitarias y territoriales vinculadas a este tipo de intervenciones. Y segundo, la formación de destrezas institucionales sólidas de los comités de riego sin la injerencia de actores externos. El incremento de espacios de

interacción comunitaria y la comunicación cara a cara es una alternativa efectiva para mantener acuerdos colectivos y superar la incertidumbre generada por la variabilidad climática.

Sin duda alguna, analizar la confianza entre usuarios, la inversión en los sistemas de riego y las características que influyen en ambas variables son elementos que requieren análisis más detallado y profundo, reflejando así un campo para nuevas oportunidades de investigación en el marco de la gobernanza hídrica.

### Agradecimientos

Las actividades de investigación fueron posibles en parte gracias al generoso apoyo del pueblo estadounidense a través de “Monitoring and Evaluation Support for Collaborative Learning and Adapting (MESCLA) Activity”, con fondos de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, como parte de la iniciativa mundial de seguridad alimentaria y hambre del gobierno de los Estados Unidos llamada “Feed the future” con el número de contrato AID-OAA-15-00019 - Número de orden de tarea: AID-522-TO-16-00002. El contenido es responsabilidad de los autores y no refleja necesariamente los puntos de vista de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos.

### Contribuciones de Autores

**S. Loaiza Briceño** - Conceptualización de la investigación; recolección, procesamiento y análisis de datos; redacción del borrador original y artículo final. **A. Sanders** – Supervisión, revisión de borrador original y edición artículo final. **J. Carcamo** – Análisis formal, metodología, revisión del borrador original y artículo final, revisión del borrador original y artículo final.

### Referencias Bibliográficas

- Agrawal, A. (2001). Common Property Institutions and Sustainable Governance of Resources. *World Development*, 29(10), 1649–1672. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(01\)00063-8](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(01)00063-8)
- Anderies, J. M., Janssen, M. A., Bousquet, F., Cardenas, J.-C., Castillo, D., Lopez, M.-C., ... Wutich, A. (2011). The challenge of understanding decisions in experimental studies of common pool resource governance. *Ecological Economics*, 70(9), 1571–1579. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.01.011>
- Anderies, J. M., Janssen, M. A., Lee, A. y Wasserman, H. (2013). Environmental variability and collective action: Experimental insights from an irrigation game. *Ecological Economics*, 93, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.04.010>
- Ansink, E. y Ruijs, A. (2008). Climate Change and the Stability of Water Allocation Agreements. *Environmental and Resource Economics*, 41(2), 249–266. <https://doi.org/10.1007/s10640-008-9190-3>
- Baggio, J. A., Rollins, N. D., Pérez, I. y Janssen, M. A. (2015). Irrigation experiments in the lab: trust, environmental variability, and collective action. *Ecology and Society*, 20(4). <https://doi.org/10.5751/ES-07772-200412>
- Baldwin, E., McCord, P., Dell'Angelo, J. y Evans, T. (2018). Collective action in a polycentric water governance system. *Environmental Policy and Governance*, 28(4), 212–222. <https://doi.org/10.1002/eet.1810>
- Balliet, D. (2010). Communication and Cooperation in Social Dilemmas: A Meta-Analytic Review. *Journal of*

- Conflict Resolution*, 54(1), 39–57.  
<https://doi.org/10.1177/0022002709352443>
- Balliet, D. y Ferris, D. (2013). Ostracism and prosocial behavior: A social dilemma perspective. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 120(2), 298–308.  
<https://doi.org/10.1016/j.obhdp.2012.04.004>
- Bardhan, P. (1993). Analytics of the institutions of informal cooperation in rural development. *World Development*, 21(4), 633–639.  
[https://doi.org/10.1016/0305-750X\(93\)90115-P](https://doi.org/10.1016/0305-750X(93)90115-P)
- Bardhan, P. (2000). Irrigation and Cooperation: An Empirical Analysis of 48 Irrigation Communities in South India. *Economic Development and Cultural Change*, 48(4), 847–865.  
<https://doi.org/10.1086/452480>
- Bisaro, A. y Hinkel, J. (2016). Governance of social dilemmas in climate change adaptation. *Nature Climate Change*, 6(4), 354–359.  
<https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2936>
- Calvo-Solano, O. D., Quesada-Hernández, L. E., Hidalgo, H. y Gotlieb, Y. (2018). Impactos de las sequías en el sector agropecuario del Corredor Seco Centroamericano. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3), 695.  
<https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.30828>
- Cárdenas, J. C., Janssen, M. y Bousquet, F. (2013). Dynamics of Rules and Resources: Three New Field Experiments on Water, Forests and Fisheries". En J. A. List y M. K. Price (Eds.), *Handbook on experimental economics and the environment*. Cheltenham UK: Edward Elgar.
- Cárdenas, J. C., Rodríguez, L. Á. y Johnson, N. (2009). *Collective action for watershed management: Field Experiments in Colombia and Kenya*. Bogotá, Colombia: Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico.
- Carpenter, J. y Cárdenas, J. C. (2008). Behavioural Development Economics:: Lessons from field labs in the developing world. *Journal of Development Studies*, 44(3), 337–364.  
 Recuperado de <http://sandcat.middlebury.edu/econ/rep/ec/mdl/anococ/0616.pdf>
- Castillo, D., Bousquet, F., Janssen, M. A., Worrapimphong, K. y Cardenas, J. C. (2011). Context matters to explain field experiments: Results from Colombian and Thai fishing villages. *Ecological Economics*, 70(9), 1609–1620.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.05.011>
- Correa, J. C. y Salazar, J. C. (2016). *Introducción a los modelos mixtos* (Centro Editorial Facultad de Ciencias). Medellín.
- Cox, M., Arnold, G. y Villamayor Tomás, S. (2010). A Review of Design Principles for Community-based Natural Resource Management. *Ecology and Society*, 15(4). <https://doi.org/10.5751/ES-03704-150438>
- DeMarrais, E. y Earle, T. (2017). Collective Action Theory and the Dynamics of Complex Societies. *Annual Review of Anthropology*, 46(1), 183–201.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-102116-041409>
- Donatti, C. I., Harvey, C. A., Martínez-Rodríguez, M. R., Vignola, R. y Rodríguez, C. M. (2019). Vulnerability of smallholder farmers to climate change in Central America and Mexico: current knowledge and research gaps. *Climate and Development*, 11(3), 264–286.  
<https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1442796>
- Fan, Y., Tang, Z. y Park, S. (2019). Effects of Community Perceptions and

- Institutional Capacity on Smallholder Farmers' Responses to Water Scarcity: Evidence from Arid Northwestern China. *Sustainability*, 11(2), 483. <https://doi.org/10.3390/su11020483>
- FAO. (2017). *Chronology of the Dry Corridor: The impetus for resilience in Central America* (núm. 1). Recuperado de <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/en/c/1024539/>
- Gobierno de Honduras. (2010). *Estrategia Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional 2010-2022*. Tegucigalpa. Recuperado de la página web de Unidad Técnica de Seguridad Alimentaria y Nutricional.
- Hanif, C. (2015). Drip Irrigation in Honduras: Findings & recommendations scaling up agricultural technologies from USAID's Feed the Future. Honduras: USAID.
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science (New York, N.Y.)*, 162(3859), 1243–1248.
- Harvey, C. A., Saborio-Rodríguez, M., Martínez-Rodríguez, M. R., Viguera, B., Chain-Guadarrama, A., Vignola, R. y Alpizar, F. (2018). Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America. *Agriculture & Food Security*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0209-x>
- Henry, A. (2011). Information, networks and the complexity of trust in commons governance. *International Journal of the Commons*, 5(2), 188–212.
- Hoogesteger, J. (2015). Normative structures, collaboration and conflict in irrigation; a case study of the Pillaro North Canal Irrigation System, Ecuadorian Highlands. *International Journal of the Commons*, 9(1), 398. <https://doi.org/10.18352/ijc.521>
- Isaac, M. y Walker, J. (1988). Communication and Free-Riding behavior: The voluntary contribution mechanism. *Economic Inquiry*, 24(4), 585–608.
- Janssen, M. A. (2010). Introducing Ecological Dynamics into Common-Pool Resource Experiments. *Ecology and Society*, 15(2).
- Janssen, M. A. (2015). A behavioral perspective on the governance of common resources. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 12, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.002>
- Janssen, M. A., Anderies, J. M. y Cardenas, J.-C. (2011). Head-enders as stationary bandits in asymmetric commons: Comparing irrigation experiments in the laboratory and the field. *Ecological Economics*, 70(9), 1590–1598. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.01.006>
- Janssen, M. A., Anderies, J. M. y Joshi, S. R. (2011). Coordination and cooperation in asymmetric commons dilemmas. *Experimental Economics*, 14(4), 547–566. <https://doi.org/10.1007/s10683-011-9281-9>
- Janssen, M. A., Bousquet, F., Cardenas, J.-C., Castillo, D. y Worrapimphong, K. (2012). Field experiments on irrigation dilemmas. *Agricultural Systems*, 109, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.03.004>
- Komorita, S. S., Parks, C. D. y Hulbert, L. G. (1992). Reciprocity and the induction of cooperation in social dilemmas. *Journal of Personality and Social Psychology*, 62(4), 607–617. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.62.4.607>
- Kuhl, L. (2018). Potential contributions of market-systems development initiatives for building climate resilience. *World Development*, 108, 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.02.036>

- Kuhl, L. (2020). Technology transfer and adoption for smallholder climate change adaptation: opportunities and challenges. *Climate and Development*, 12(4), 353–368. <https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1630349>
- Lopez, M. C. (2010). Combining Experiments and participatory rural appraisal tools in the field: Exploring new techniques to preserve the Commons in Colombia. ((Working paper)).
- Loy, A. y Hofmann, H. (2014). HLMdiag : A Suite of Diagnostics for Hierarchical Linear Models in R. *Journal of Statistical Software*, 56(5). <https://doi.org/10.18637/jss.v056.i05>
- OIM. (2020). *Línea Base - Vulnerabilidad y Sequía: Corredor Seco, Honduras*. Switzerland. Recuperado de la página web de UN Migration: <https://dtm.iom.int/reports/1%C3%ADn%20ea-base-vulnerabilidad-y-sequ%C3%ADa-corredor-seco-honduras-noviembre-2020>
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*: Fondo De Cultura Economica USA.
- Ostrom, E. (2010). Analyzing collective action. *Agricultural Economics*, 41(s1), 155–166. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2010.00497.x>
- Ostrom, E. y Gardner, R. (1993). Coping with Asymmetries in the Commons: Self-Governing Irrigation Systems Can Work. *Journal of Economic Perspectives*, 7(4), 93–112. <https://doi.org/10.1257/jep.7.4.93>
- Ostrom, V. y Ostrom, E. (1999). Public Goods and Public Choices. En M. D. McGinnis (Ed.), *Institutional analysis. Polycentricity and local public economies. Readings from the Workshop in Political Theory and Policy Analysis*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Otto, I. M. y Wechsung, F. (2014). The effects of rules and communication in a behavioral irrigation experiment with power asymmetries carried out in North China. *Ecological Economics*, 99, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.12.007>
- Özerol, G. (2013). Institutions of farmer participation and environmental sustainability: a multi-level analysis from irrigation management in Harran Plain, Turkey. *International Journal of the Commons*, 7(1), 73. <https://doi.org/10.18352/bmgn-lchr.368>
- Parker, J., Miller, K., Caballero, L. y Escolán, R. (2014). *Vulnerability and resilience to climate change in Western Honduras*. Honduras.
- Polak, P. y Warwick, M. (2014). *The business solution to poverty: Designing products & services for three billion new customers*. San Francisco, CA: Berrett-Koehler Publishers.
- Popa, F. (2015). Motivations to Contribute to Public Goods: Beyond rational choice economics. *Environmental Policy and Governance*, 25(4), 230–242. <https://doi.org/10.1002/eet.1684>
- Postel, S., Polak, P., Gonzales, F. y Keller, J. (2001). Drip Irrigation for Small Farmers. *Water International*, 26(1), 3–13. <https://doi.org/10.1080/02508060108686882>
- Poteete, A. R., Janssen, M. A. y Ostrom, E. (2010). *Working Together: Collective Action, the Commons and Multiple Methods in Practice*.
- Rommel, J. (2015). What can economic experiments tell us about institutional change in social–ecological systems? *Environmental Science & Policy*, 53, 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.05.006>

- Roßner, R. y Zikos, D. (2018). The Role of Homogeneity and Heterogeneity Among Resource Users on Water Governance: Lessons Learnt from an Economic Field Experiment on Irrigation in Uzbekistan. *Water Economics and Policy*, 04(03), 1850008. <https://doi.org/10.1142/S2382624X1850008X>
- Ruiz-Ballesteros, E. y Gálvez-García, C. (2014). Community, Common-Pool Resources and Socio-Ecological Systems: Water Management and Community Building in Southern Spain. *Human Ecology*, 42(6), 847–856. <https://doi.org/10.1007/s10745-014-9705-1>
- Sese, S., Boesveld, H., Asins, S., van der Kooij, S. y Maorulis, J. (2017). Transformations Accompanying a Shift from Surface to Drip Irrigation in the Canyoles Watershed, Valencia, Spain. *Water Alternatives*, 10(1), 81–89. <https://doi.org/10.13039/501100003329>
- Sousa, K. de, Casanoves, F., Sellare, J., Ospina, A., Suchini, J. G., Aguilar, A. y Mercado, L. (2018). How climate awareness influences farmers' adaptation decisions in Central America? *Journal of Rural Studies*, 64, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.09.018>
- Takayama, T., Matsuda, H. y Nakatani, T. (2018). The determinants of collective action in irrigation management systems: Evidence from rural communities in Japan. *Agricultural Water Management*, 206, 113–123.
- USAID. (2019). *Feed the Future: The US government 's global hunger and food security initiative*. Recuperado de <https://www.feedthefuture.gov/>
- Van der Kooij, S., Kuper, M. y Zwartveen, M. (2015). The material of the social: The mutual shaping of institutions by irrigation technology and society in Segouia Khricfa, Morocco. *International Journal of the Commons*, 9(1), 129–150. <https://doi.org/10.18352/bmgn-lchr.539>
- Van der Kooij, S., Zwartveen, M., Boesveld, H. y Kuper, M. (2013). The efficiency of drip irrigation unpacked. *Agricultural Water Management*, 123, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.03.014>
- Van Lange, P. A., Joireman, J., Parks, C. D. y van Dijk, E. (2013). The psychology of social dilemmas: A review. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 120(2), 125–141. <https://doi.org/10.1016/j.obhdp.2012.11.003>
- Venot, J.-P., Zwartveen, M., Kuper, M., Boesveld, H., Bossenbroek, L., van der Kooij, S., ... Verma, S. (2014). Beyond the promises of technology: a review of the discourses and actors who make drip irrigation. *Irrigation and Drainage*, 63(2), 186–194. <https://doi.org/10.1002/ird.1839>
- Yan Tang, S. (1992). *Institutions and collective action: self-governance in irrigation*. San Francisco, Calif: ICS Press.
- Yang, L., Rezitis, A., Zhu, Y. y Ren, Y. (2018). Investigating the Effects of Social Trust and Perceived Organizational Support on Irrigation Management Performance in Rural China. *Water*, 10(9), 1252. <https://doi.org/10.3390/w10091252>