



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**  
**Facultad de Economía**  
**Programa en Economía del Medio Ambiente y Recursos Naturales – PEMAR**  
**Programa de Economía para Graduados - PEG**

**LA LAGUNA DE FÚQUENE: ENTRE LO INDIVIDUAL Y LO COLECTIVO**

Presentado por:  
Sandra Carolina Vargas Suárez<sup>1</sup>.  
Cod. 200427311

Asesor:  
Jorge Higinio Maldonado

Julio de 2006

---

<sup>1</sup> Agradezco la valiosa colaboración del profesor Juan Camilo Cárdenas.

## LAGUNA DE FÚQUENE: ENTRE LO INDIVIDUAL Y LO COLECTIVO

### 1. Introducción.

La tragedia de los comunes (Hardin, 1968) predice la sobreexplotación de los recursos de uso común (RUC) como resultado de la racionalidad económica del agente que busca maximizar su beneficio derivado de la extracción o uso de éstos. Esta “racionalidad” que rige a este agente es la misma que rige a los demás usuarios del recurso y esas decisiones independientes conducirían a la sobreexplotación en el largo plazo. Este comportamiento del “*Homo-economicus*” se ha configurado como uno de los escenarios más usados para entender y desarrollar mecanismos de manejo de los RUCs.

Pero el comportamiento económico no sólo es resultado del cálculo instantáneo de las ganancias o los costos; experimentos en campo y laboratorio, demuestran que existen otros factores, como la reciprocidad, el altruismo, la reputación y la confianza, que influyen en las decisiones económicas de los agentes.

Estos factores permiten llegar al uso eficiente de los RUCs mediante el logro de altos niveles de cooperación; sacrificando bienestar individual en aras de aumentar el bienestar social o alcanzar el óptimo social en términos económicos (Castillo & Saysel, 2005).

La cuenca de la laguna de Fúquene es un RUC. Múltiples tipos de usuarios tienen acceso a ella, su exclusión es baja y el nivel de extracción o uso es alto; por estas características, es fácil que se sobreexplota o se contamine más allá de los niveles permitidos.

La investigación en el manejo integral de las cuencas toma cada vez mayor importancia por las diferentes relaciones sociales, económicas y ambientales que se encuentran en éstas. Otros aspectos que alimentan este interés son la degradación ambiental, en particular fenómenos erosivos y pérdida de capacidad hidrológica, así como la conformación de grupos alrededor de las cuencas para manejarlas y la consecuente

variación en los usos y ofertas limitadas de agua que repercuten en problemas de pobreza (Swallow et al, 2005).

En el presente estudio se busca entender cuáles son las características, incentivos y mecanismos tanto individuales como colectivos, que pueden motivar a los agentes a conservar la cuenca de la laguna de Fúquene y, de esta forma, determinar cuáles son las acciones que se pueden llevar cabo desde el gobierno y las comunidades para la preservación de esta zona, de importancia ambiental, ecológica y económica para el país.

## **2. Revisión de Literatura**

Varios enfoques se han empleado para analizar la problemática en las cuencas hidrográficas. La teoría de juegos ha sido una herramienta útil para entender los problemas de cooperación y coordinación alrededor del manejo de RUCs; no obstante evidencia empírica obtenida desde la realización de juegos bajo el enfoque de la economía experimental muestra que algunos resultados se alejan de los pronósticos de la teoría de juegos. De otro lado, la economía neoinstitucional también se ha preocupado por estudiar las relaciones alrededor de los RUC y es uno de los enfoques más completos para tratar este tipo de problemas, ya que mantiene varios supuestos de la teoría neoclásica pero acepta que la información asimétrica e imperfecta, influye en la elección de los individuos y por ende en su conducta.

Dada la complejidad de relaciones que surgen en las cuencas, a principios de los 90, empiezan a desarrollarse investigaciones sobre acción colectiva local, que a través de los años han confirmado la necesidad de desarrollar otras formas de manejo de los RUC (Swallow et al, 2005).

### ***Qué nos dice el Neoinstitucionalismo?***

Es necesario abarcar el tema de las cuencas desde la economía institucional, que por mucho tiempo se concentró el enfoque de la economía neoclásica, la cual, se ha ocupado más de los mecanismos de mercado y además tiene varios supuestos restrictivos sobre el comportamiento humano. La racionalidad del *homo economicus* con información perfecta ha dominado este tipo de investigación económica.

Por su parte, el neo-institucionalismo da un marco teórico sólido para entender las instituciones y los costos de transacción.

North (1993) define a las instituciones como “reglas de juego de una sociedad, formalmente, son los legados humanos o restricciones que estructuran las interacciones humanas”. Estas pueden ser formales, como los estatutos y las leyes o informales como convenciones, normas de comportamiento, o códigos de conducta. La explicación de la creación de este tipo de normas viene de la necesidad de reducir los costos de transacción y, de allí, que los individuos creen mecanismos para hacerlas cumplir.

En el caso de las cuencas, los incentivos constituyen el marco institucional en donde se lleva a cabo el manejo de las mismas y son ellos lo que permiten que este manejo se haga de forma sostenible. Estos arreglos pueden ser formales e informales y también están determinados por el impacto sobre el uso del recurso.

La comunicación es otro factor determinante para disminuir los costos de transacción. Ante la falta de comunicación los individuos pueden llegar a elegir la estrategia de Nash o elecciones no eficientes alejadas del óptimo social (Ostrom, Walker & Gardner, 1992). Autoorganización y **comunicación** entonces serán definitivas para lograr acuerdos y desarrollar instituciones para el manejo de cuencas.

Ostrom, propone en 1998 un modelo de racionalidad acotada de segunda generación en la cual, elementos tales como tamaño y homogeneidad en los intereses del grupo serán determinantes de los niveles de cooperación que se pueden alcanzar a la hora de resolver problemas en recursos de uso común. Este modelo se analizará con más detalle en las siguientes páginas ya que da varios indicios de cómo se podrán resolver los problemas ambientales en la laguna de Fúquene.

### ***Economía Experimental y Acción Colectiva***

Barclay (2004) encontró que la adquisición de reputación es importante a la hora de asumir comportamientos altruistas en casos en donde no se reciben beneficios directos. Milinski, Semmann & Krambeck (2002) encontraron que más gente contribuye a un

bien público y donan dinero cuando esperan reciprocidad. Barclay difiere de Milinski et al. porque los efectos de la reputación se extienden a los de confianza. Si la gente es sensible a la posibilidad de señales de altruismo deshonestas, ellos variarán su confianza de acuerdo a los costos de llegar a ser engañados y los beneficios potenciales a señales de engañar, es decir, llegando a competir por reputación; en esas condiciones el altruismo sería menos eficiente.

De igual manera, Apesteguía (2005) examina los RUC involucrando interacción donde no hay información precisa sobre los pagos y concluye que un mejor conocimiento de los pagos hace que los agentes sean más conscientes de las externalidades y por ende eviten la tragedia de los comunes; en caso contrario, los explotarán más rápido.

Fischer, Irlenbusch & Sadrieh (2004) realizaron experimentos de RUC intergeneracionales en donde el stock disponible de cada generación dependía de la explotación en el periodo anterior y de la tasa de crecimiento del recurso y en el que los jugadores tenían tres opciones para explotar el recurso: rápido, despacio y reiniciar. Los individuos mostraron restricciones altruistas en la explotación pero no la suficiente para encontrar el óptimo social.

Cardenas & Carpenter (2003) realizan experimentos de RUC observando la diferencia de culturas. Encuentran evidencia para soportar la idea de que la afiliación de grupo afecta el comportamiento, y por ende, la heterogeneidad en este aspecto contribuye a la sobre extracción de los comunes. En este estudio la racionalidad afecta la distribución de las ganancias donadas entre los fondos locales y globales y las preferencias altruistas para donar a fondos de conservación reflejan el nivel de cooperación en el juego de los RUC en comunes globales.

Schott et al. (2002) realizan juegos para estudiar la reacción ante un instrumento de distribución equitativa del recurso, también examinan el comportamiento de asociaciones de diferentes tamaños y evalúan el impacto del tamaño y la forma como los socios asignan cantidades de esfuerzo. Los resultados confirman que el tamaño sí afecta la oferta de esfuerzo. También encuentran que la forma en cómo los asociados están localizados no afecta significativamente la contribución. Finalmente determinan que la distribución del ingreso es más justo en presencia de asociaciones con

participantes fijos. Aunque generalmente los RUC se regulen a través de cuotas individuales o impuestos (Schott et al.) el mecanismo de “output sharing” puede servir para evitar la tragedia.

### *Acción Colectiva en Cuencas Hidrográficas*

El manejo de las cuencas hidrográficas requiere de un alto nivel de acción colectiva que involucra el trabajo tanto individual como grupal para alcanzar objetivos comunes; estas relaciones se producen a varios niveles de ubicación y población espacial. Es común encontrar agentes heterogéneos con diferentes usos e impactos en las cuencas; agricultores, ganaderos, usuarios y organismos gubernamentales se cuentan entre las unidades de análisis de la AC.

Por la forma geográfica de las cuencas, la acción tomada por determinado grupo y alguna zona específica puede afectar otros puntos de las cuencas; generalmente las actividades realizadas río arriba se ven reflejadas tanto en las zonas medias como bajas de las cuencas.

Entre los estudios sobre cuencas y la diversidad de actores que se relacionan en ella, se encuentra Smajgl (2004) quien realizó un estudio en cuencas en Australia con características similares a las de la cuenca de Fúquene. El autor analiza la conexión de todas las oportunidades de uso y desarrolla, con base en la economía institucional y la teoría de juegos, un marco para modelar la evolución de las instituciones endógenas. Concluye que la condición multiusos de un RUC puede ayudar a su protección según la capacidad de las instituciones para lograrlo. Smajgl construye un modelo de simulación con elementos de cambio institucional, introduciendo nuevas reglas informales y nuevos agentes. Con este modelo, el autor encuentra tres aspectos determinantes en la evolución de los arreglos institucionales: las reglas, la intensidad de la regla y los actores; enfatiza igualmente en los procesos de aprendizaje de los compromisos de los agentes.

Otro de los elementos centrales en el manejo de recursos hídricos - en este caso una cuenca - es la coordinación que se presente en todos los niveles y actores de la “AC”. Biggs (2001) expone que la mayoría de problemas de coordinación se presentan ante fallas en las conexiones entre niveles o escalas de la cuenca, desconocimiento sobre las

relaciones hidrológicas y una inadecuada o nula inversión en capital humano y recursos financieros. Por lo tanto, de una correcta coordinación en las acciones de manejo en la cuenca depende no solo lograr niveles óptimos de calidad y cantidad de los recursos, sino también, la calidad de vida y los ingresos que de una u otra forma aumentan el nivel de bienestar.

### ***Problemas de Heterogeneidad en los Intereses***

Ya que las cuencas son RUC donde generalmente se presentan problemas de heterogeneidad tanto en sus agentes como en los intereses, Varughese & Ostrom (2001) muestran, con evidencia en los bosques de Nepal, que la heterogeneidad no es un factor tan determinante en la acción colectiva y que solo es un reto para superar. Un buen diseño institucional permite que se obtengan beneficios de la dedicación de esfuerzo y tiempo de los agentes que tengan mayor participación del RUC o mayor poder sobre éste y además mejora el “enforcement” de las reglas. En este sentido, discuten sobre la autogestión de este tipo de RUCs y exponen que en las economías modernas es difícil encontrar recursos en los que su uso no sea controlado de alguna manera por autoridades externas, dado que estas reglas no son del todo creadas por los propietarios.

De esta manera, para que un acuerdo suceda se necesita que exista cierto nivel de escasez, esfuerzo para lograr cambio institucional y ciertos patrones en el RUC que permitan el desarrollo de aprendizaje para lograr procesos de autoorganización (Varughese & Ostrom, 2001). La heterogeneidad se puede interpretar como las diferentes capacidades de autoorganización. Dentro de esta diversidad se encuentran características socioculturales, de dotación y de intereses que pueden dificultar el cumplimiento de las reglas y la falta de confianza que se puede desprender de estas situaciones. Pero el principal obstáculo para el surgimiento de AC –según los autores– realmente importante es la diferencia de intereses ya que éstos hacen que los acuerdos sean más costosos.

Libecap (2003), por su parte, precisa que cuando se habla de heterogeneidad de riqueza o poder no siempre se difiere en intereses; es más, la concentración de riqueza puede servir para que la población en donde esté concentrada la riqueza se haga cargo de la mayor parte de los costos para lograr acción colectiva. De otro lado observa que una

ventaja de la heterogeneidad está en que existen incentivos diferenciados por la conformación de comités para autogestión de los recursos. Por las anteriores razones concluye que la heterogeneidad no disminuye la probabilidad de autogestión.

En resumen, el estudio del manejo de las cuencas hidrográficas, se ha realizado desde varios campos de la economía dada la complejidad de relaciones y las características sociales, económicas y ambientales que en ella se encuentran. Y tal vez la economía neoinstitucional es la rama que mejor se acerca al análisis de estas peculiaridades.

Desde la economía experimental, es común encontrar que en la gestión de recursos de uso común, elementos como el altruismo, la reputación y la cooperación son fundamentales a la hora de evitar la degradación de los mismos. Es por eso que la comunicación y la organización serán determinantes de los niveles que de estos elementos se puedan alcanzar.

Específicamente en el manejo cuencas, se encuentra en la literatura, que las instituciones que se surjan tanto formales como informales ayudan a solucionar los problemas de coordinación, reduciendo el riesgo de desaparición de éstas.

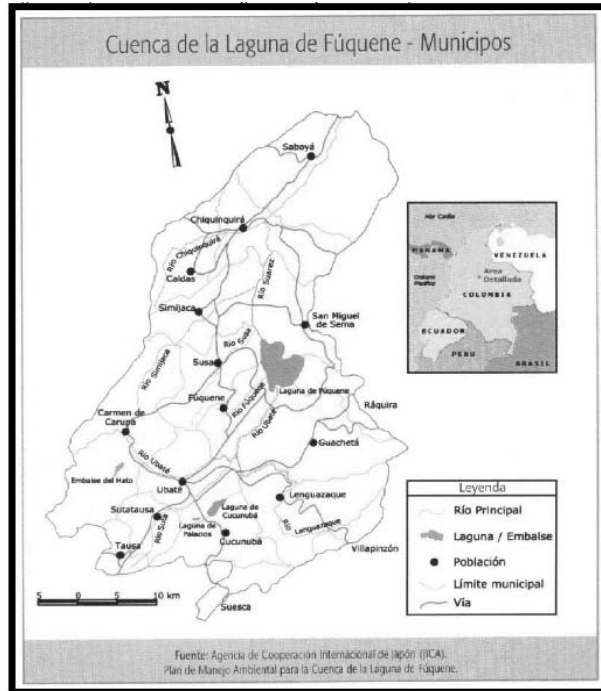
Con esto en mente es necesario encontrar un marco adecuado para estudiar la laguna de Fúquene como un espacio en donde la acción colectiva será determinante para solucionar los problemas que en ésta se presentan y cada vez son más urgentes de tratar, dado el aumento en el bienestar que puede generar en este sistema hídrico

### **3. Descripción de la Laguna de Fúquene**

La laguna de Fúquene está ubicada a 100 Km. de la capital colombiana entre los departamentos de Boyacá y Cundinamarca. La cuenca cuenta con 1.752 Km. y cubre el sistema de ríos Ubaté-Fúquene-Suárez, un embalse (El Hato) y tres lagunas (Cucunuba, Palacios y Fúquene); la parte alta del río es llamado Río Ubaté y la parte baja, Río Suárez, en la parte central se encuentra ubicada la laguna de Fúquene con una superficie de 30 Km<sup>2</sup> y recoge aguas de 992 Km<sup>2</sup> (JICA (Japan International Cooperation Agency) 1999).



Figura 1. Mapa de la cuenca de la Fúquene



Fuente: JICA 1999

En la cuenca se ubican 17 municipios<sup>2</sup> los cuales en su mayoría son de vocación rural. Las principales actividades económicas son la ganadería, la agricultura, la producción de lácteos y la minería. La producción ganadera se ramifica en cría para carne y producción lechera y la agricultura principalmente se basa en papa, trigo, arveja y maíz. El estudio JICA (1999) reporta que ya en 1999 existían 50 fábricas de lácteos (leche, yogurt y queso). Según el DANE (JICA, 1999), para el 2000 la población del área de estudio para el estudio de JICA era de 180.941 habitantes y estimaba 208.483 para el 2010.

Como se puede observar en el anexo 1.1, la ganadería era el sector que más reportaba ingresos para 1998 con 348,973 millones de pesos y 265,364 cabezas de ganado, siendo la industria lechera y el ganado vacuno las actividades que más importancia tenían en este sector. Además, también es considerado como un sector con un alto impacto ambiental, ya sea por sedimentación a través del pastoreo (acumulación y transporte de estiércol no usado como abono) o por monocultivos de pastos. Luego encontramos a la

<sup>2</sup> Carmen de Carupa, Ubaté, Tausa, Sutatausa, Cucunuba, Suesca, Villapinzón, Lenguazaque, Guachetá, Fúquene, Susa y Simijaca pertenecen al departamento de Cundinamarca mientras que San Miguel de Sena, Ráquira, Caldas, Chiquinquirá y Saboyá se encuentran en Boyacá

agricultura con ingresos de 87,065 millones de pesos provenientes principalmente de los cultivos de papa y un área utilizada de 21,113 hectáreas (ver anexo 1.2) y finalmente encontramos a 280 minas específicamente de extracción de carbón con ingresos de 13,747 millones de pesos y aproximadamente 12 hectáreas de área ocupada (ver anexo 1.3).

### *Usos y Contaminación*

Los usos del agua de la laguna son principalmente: irrigación, consumo del ganado, uso doméstico, institucional e industrial. El uso para irrigación es uno de los más importantes en la zona, tomando agua de río y transportándola por canales en los campos de pastura; este abastecimiento se da a partir de aguas lluvias y aguas superficiales; JICA (1999) calculó una demanda para 1999 de 37.744 m<sup>3</sup> al día.

Las áreas irrigadas están cubiertas por pasturas y cubren una superficie de 20.337 hectáreas, ubicadas en los terrenos bajos del Valle de Ubaté-Chiquinquirá a lo largo de la cuenca. El consumo por parte del sector pecuario correspondía en 1999 al consumo de 265,364 cabezas de ganado que pastaban en la zona y del lado del uso doméstico, industrial e internacional se encuentra que cubre casi todas las áreas urbanas y algunas rurales, la demanda de estos sectores se puede ver en el anexo 1.4.

Derivado de estos usos y actividades económicas, la laguna cuenta con varios problemas ambientales dentro de los que cuentan la sedimentación y el deterioro de la calidad del agua.

La eutrofización es una de las principales causas del deterioro de la calidad hídrica; JICA calculó para 1999 una biomasa de planta acuática cercana a 2.959 hectáreas (Ver anexo 1.5). Los problemas causados por estas plantas son la reducción de la capacidad de almacenamiento de la laguna (la capacidad para almacenar líquido disminuye en dos centímetros cada año), deterioro de la calidad de agua y bloqueo del flujo de agua. Las causales de la aparición de plantas acuáticas son las altas concentraciones de nitrógeno y fósforo, estableciéndose a su vez un problema de demanda de oxígeno (OD) debido a la descomposición de estas plantas. En la parte baja del río se enfrentan problemas de contaminación con materias orgánicas y nutrientes. Por tal razón los depósitos de la

laguna están bajo una alta condición anaeróbica acompañados de bastantes depósitos de ácido sulfhídrico mostrando un color negro y gris oscuro (JICA, 1999).

Esta eutrofización además ha reducido el espejo de agua de la laguna pasando de 3.071 hectáreas en 1941 a 240 hectáreas en 1999 con una tasa de disminución de 24,5 hectáreas por año entre el 1940 y el 1989. Y desde 1989, se observa que el proceso se ha acelerado llevándolo a niveles de 50,4 hectáreas por año (Ver anexo 1.6).

Las plantas acuáticas cubren casi 26 hectáreas de la laguna cada año. La Elodea Brasileira se encuentra sumergida, el Buchón es de tipo flotante y de tipo emergente está el Junco y la espadaña (JICA, 1999).

De una parte la Elodea hace que el oxígeno disuelto (OD) de la laguna baje a cero durante la noche, causando daños sobre la vida acuática. Las islas que forma el buchón actúan como pantallas de los rayos solares generando sombra, haciendo que la elodea que está debajo de estas islas se quemé o se marchite. Como resultado, el agua de la laguna que está debajo de la isla pasa a tener condición anaeróbica y de color negro, emitiendo un olor desagradable resultado de sulfuros de hierro en el agua. En la tabla 1 se muestran las cantidades de planta acuática registradas por JICA (1999); la actividad agrícola es considerada como la causa de este problema de eutrofización debido en gran parte al uso de fertilizantes en el cultivo, además de otras descargas.

Tabla 1. Hectáreas de Planta (1.999)

<b>Planta</b>	<b>Hectáreas</b>
<b>Elodea*</b>	804.40
<b>Maleza de laguna</b>	545.70
<b>Buchón</b>	151.20
<b>Junco</b>	842.20
<b>Espadaña</b>	56.70

Tabla realizada con base en JICA (1999)

La escorrentía de carga contaminante es otro de los problemas que afectan la calidad del agua de la laguna. Las fuentes que la generan se dividen en dos tipos: puntuales y no puntuales. Las puntuales son los alcantarillados municipales, los mataderos, las fábricas

de lácteos. Las fuentes no puntuales incluyen las aguas residuales de la ganadería, de los campos (cultivos, pasturas y matorrales) y de las viviendas rurales y según el informe JICA se configuran como las fuentes más contaminantes de la laguna. Las cargas de contaminación no puntual se escurren sobre los campos o por medio de pequeños canales hasta entrar en el río principal, finalmente fluyen hacia la parte baja, siguiendo el curso del río principal (Ver anexo 1.7).

El estudio JICA determina a la ganadería como la principal fuente de escorrentía representando el 83%, 88%, 72% y el 86% de generación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), T-N (nitrógeno total) y T-P (total – fósforo) seguida por el alcantarillado como responsable del 10.5%, 5% 10.7% y 10.1% de la generación de estos parámetros. En los anexos se pueden observar los niveles de DBO y DQO derivados de la ganadería (Anexo 1.8)

La sedimentación también produce secamiento de la laguna produciéndose problemas de invasión por particulares, que mueven sus linderos para apropiarse de las zonas con intenso secamiento.

### *Marco Normativo*

Dentro de los entes comprometidos en el manejo de los recursos naturales en el área de estudio encontramos a la CAR (Corporación Autónoma Regional) de Cundinamarca, la cual es responsable de convocar la participación y educación de la sociedad en la gestión ambiental; transformar la actitud de las personas hacia el uso y manejo racional de los recursos y; proteger el medio ambiente y los recursos naturales renovables.

En 1961 se crea la ley 3, en la que el artículo 42 determina a la CAR como administrador del sistema de riego de Fúquene-Cucunubá. Luego en 1984 se establecen los criterios para clasificar las aguas superficiales en el decreto 1594 de 1984. Igualmente reglamenta el vertimiento de aguas residuales en aguas superficiales. La reglamentación que ha emitido la CAR sobre recursos hídricos surge en 1987 con el acuerdo 58 en el que se dan las normas para el manejo y el control de la calidad de estos recursos.

El acuerdo 10 de 1989 establece la normativa para el manejo de agua de uso público, por ejemplo, según el artículo 8, toda persona debe obtener un permiso de la CAR para el uso de este tipo de recurso hídrico. En 1991, la CAR impone el reglamento del distrito de riego y drenaje del sistema hidráulico de Fúquene- Cucunubá.

A nivel nacional el Decreto 901 de 1997, reglamenta las tasas retributivas hídricas:

“Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de éstas”.

El mecanismo por el cual se reglamenta la descarga a cuerpos hídricos consiste en cobrarle a las firmas una cuota por unidad de descarga, con lo que se motiva a las empresas, en este caso las industrias lecheras, a tratar sus aguas y reducir la contaminación. Cada cinco años el Concejo Directivo de la entidad ambiental respectiva establece la meta de reducción de carga contaminante para el cuerpo de agua o tramo del mismo y para cada una de las sustancias objeto de cobro (DBO<sub>5</sub> y SST).

El Acuerdo 15 de 2000, propuesto por la CAR para implementar tasas retributivas en Cundinamarca tiene como objetivo:

*“Proponer teóricamente las metas de reducción de carga contaminante para los parámetros de Demanda Biológica de Oxígeno y Sólidos Suspendidos Totales en las cuencas de los ríos Ubaté, Suárez, Sumapaz, Negro, Minero, sus tributarios y río Magdalena y sus tributarios (...) de acuerdo con lo establecido en el Decreto 901 de 1997”.*

Para la solución de los problemas hídricos de la cuenca, la CAR ha elaborado varios proyectos encaminados a la recuperación de la zona de estudio: canal perimetral, Proyecto Checua para el control de erosión de suelos, Proyecto JICA “Plan para el Mejoramiento de la Laguna de Fúquene”, programas de reforestación, definición de zonas de reserva forestal y de protección de páramos y talleres de educación ambiental.

En cuanto al problema de invasión de tierras colindantes con la laguna derivado del secamiento de estas, el INCODER (Instituto Colombiano de Desarrollo Rural) debería ser el ente responsable de la clara definición de los derechos de propiedad sobre estas

tierras, sin embargo no se llevado a cabo ninguna actividad para la delimitación de los derechos de propiedad desde hace 33 años.

### ***Análisis de la Acción Colectiva en la Laguna***

En el trabajo de investigación de Maya et al. (2004) se encuentra, a través del uso de herramientas de DRP (Diagnóstico Rural Participativo), que según el tipo de agentes que habitan en la cuenca, las acciones individuales y colectivas sobre la cuenca cambian, gracias a las diferentes percepciones sobre esta.

Con respecto a la percepción de las responsabilidades de los habitantes sobre las reglas y normas sobre manejo de los recursos naturales en la cuenca (ver anexo 1.9 y anexo 1.10), la falta de control y seguimiento hace que muchas de estas reglas internas finalmente no se cumplan. Sobre las normas externas o estatales tampoco existe claridad y conocimiento por parte de agricultores ganaderos y usuarios.

En general en el estudio de Maya et al. se encontró que sobre las reglas estatales, los habitantes no tenían claridad sobre el origen de reglas externas a la comunidad, sumado a esto la falta de información sobre el origen de los proyectos en la cuenca, hace que los habitantes no se identifiquen con los proyectos ni con las entidades encargadas.

A partir de los resultados que arrojaron los talleres (DRP) realizados por Maya et al. sobre las acciones colectivas e individuales en la cuenca, se concluye que la mayoría de las actividades de cuidado de la cuenca se realizan de manera individual, es decir, en su propia área o finca los agentes realizan actividades tales como labranza mínima, cuidado de pozos, manejo de basuras y reforestación. Mientras que solamente actividades de control y vigilancia -en lo que respecta a la tala y quema de bosques-, reforestación y construcción de reservorios se hacen de forma colectiva en la comunidad.

### ***Objetivos e Hipótesis***

En este sentido, el objetivo principal de este trabajo es encontrar los factores que determinan las decisiones por conservar o destruir la Cuenca de la Laguna de Fúquene. Para lograrlo, este trabajo busca a partir de la información obtenida en juegos experimentales y encuestas socioeconómicas, modelar el comportamiento de los agentes

y determinar los incentivos y mecanismos que permiten alcanzar la conservación de la cuenca.

Finalmente, se busca comprobar, tal como lo expone Ostrom (1998), que además de las características individuales, la comunicación entre agentes permite llegar a mejores acuerdos y crear instituciones más fuertes para solucionar los problemas ambientales que existen en la cuenca de la laguna de Fúquene.

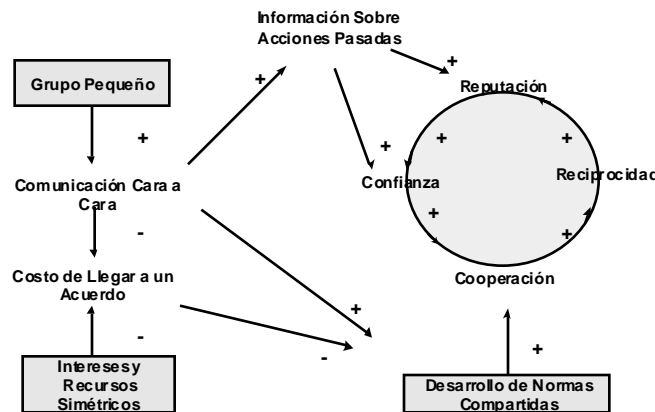
#### 4. Marco Teórico

A continuación se explicará el marco desde el cual se intentará explicar el comportamiento de los diferentes actores que interactúan y hacen uso de los recursos de la laguna de Fúquene y de qué determinantes de este comportamiento pueden representar incentivos al uso ambientalmente sostenido de la laguna.

##### *Modelo de Racionalidad de Segunda Generación de Ostrom*

En este caso se analizará la acción colectiva en la cuenca a partir del modelo de racionalidad de segunda generación desarrollado por Ostrom (1998) (ver figura 2).

Figura 2. Variables estructurales Modelo de segunda Generación de Ostrom



Fuente: Ostrom (1998), traducción del autor.

El modelo gira en torno a tres conceptos claves: la reputación, la confianza y la reciprocidad, estos conceptos son variables que retroalimentan y establecen el nivel de cooperación entre los individuos que habitan, son propietarios o usan el RUC, fijando a su vez los beneficios sociales que se consigan de esta cooperación.

Según a Olson (1971), dos variables serán determinantes a la hora de analizar la acción colectiva que surja en la cuenca de Fúquene: el tamaño y la homogeneidad. Según la teoría de la acción colectiva el tamaño es una de las condiciones primordiales para que esta ocurra y la homogeneidad de los intereses y los recursos hace que los costos de llegar a un acuerdo sean menores, representando un incentivo para actividades colectivas. Del tamaño del grupo dependerá también el grado de reputación y confianza que se produzca en el RUC; Castillo & Salselas et al. (2005), expone el tamaño como una condición necesaria para AC.

Por las principales características del RUC, si los costos de extracción son bajos, los beneficios sociales serán altos, redundando en altos niveles de cooperación. Del lado de la confianza, de un grupo pequeño se derivará mayor confianza por el conocimiento del compañero, su pasado y su forma de actuar. De acuerdo con Ostrom (1998) un grupo social con estas características presenta grandes posibilidades de escapar de la tragedia de los comunes.

De otro lado, en este modelo, la reciprocidad se desarrolla de una forma adecuada si los intereses son homogéneos (Ostrom, 1998). Sin embargo, como se expuso anteriormente, la heterogeneidad es solo un desafío a superar para lograr adecuados mecanismos de acción colectiva. Igualmente, la dependencia del recurso y la calidad de las dotaciones del RUC determinarán las clases de intereses que existen sobre el recurso. En este caso la diferencia de intereses se evidencia en la caracterización de los agentes que tienen un gran impacto en la cuenca: ganaderos, agricultores y usuarios. Sin embargo, existirán otros entes que podrán colaborar en la coordinación de intereses o búsqueda de soluciones a los problemas ambientales de esta cuenca.

Como se puede observar en la figura 2, la comunicación cara a cara es el determinante inicial de la confianza, reciprocidad y reputación que se presente a la hora del manejo del RUC, por ende, promueve los niveles de cooperación y de beneficios que se dan en el modelo.

La economía experimental da varias herramientas para analizar la capacidad de coordinación y contribución entre los diferentes agentes dentro de los juegos. Estos



juegos pueden proporcionar gran cantidad de información sobre las tres variables que Ostrom define para lograr altos niveles de cooperación: reputación, confianza y reciprocidad.

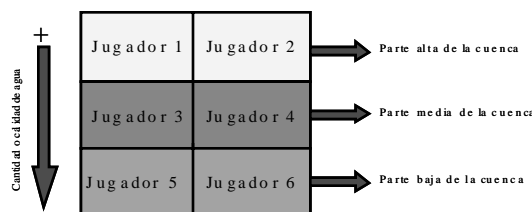
### *Juego de la Cuenca*

Para el presente estudio, Maya et al. construyeron un juego, específicamente para caracterizar las decisiones de los agentes en la cuenca de Fúquene. La heterogeneidad en la cuenca hizo necesario analizar las diferencias de los actores, intereses y las condiciones existentes para que exista cooperación comunitaria para el manejo sostenible de la cuenca.

Para la construcción del juego económico el equipo precitado tuvo en cuenta la problemática ambiental, los tipos de agentes que tienen algún tipo de relación con los servicios que presta la cuenca (agricultores, ganaderos y usuarios) y el lugar en donde están ubicados.

Para este juego, en total eran seis jugadores en cada grupo, dos agricultores, dos ganaderos y dos usuarios. Los agricultores se identifican como los jugadores 1 y 2; los ganaderos eran los jugadores 3 y 4, y los habitantes usuarios del agua los jugadores 5 y 6. El juego asume que los agricultores están ubicados en la parte alta de la cuenca, los ganaderos en la parte media y los usuarios de agua en la parte baja de cuenca; y la calidad del agua decrece a medida que va bajando el flujo de agua, como se aprecia en la figura 3.

Figura 3. Distribución Espacial de los Jugadores en la Cuenca



Fuente: Maya et al. (2004)

Cada agente debe tomar decisiones diferentes con respecto a los demás agentes que interactúan en la cuenca. De un lado, los agricultores (ubicados en la parte alta) pueden elegir entre producir bajo un sistema sostenible (finca tipo A) o un sistema no sostenible de producción (Finca tipo B), las características de las fincas se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Tipos de Fincas

<b>FINCA TIPO A: Sostenible</b>	<b>FINCA TIPO B: No sostenible</b>
Poco uso de Agroquímicos	Hay alto uso de Agroquímicos
Se practica labranza mínima	Hay mecanización
Hay diferentes tipos de cultivos	Hay un solo cultivo en la finca
No se usan concentrados para alimentar el ganado.	Se usan concentrados para alimentar el ganado.
Se procesa el estiércol	No se procesa el estiércol
Tiene mejores ingresos en el mediano y largo plazo.	Tiene mejores ingresos en corto plazo

Fuente: Maya et al. (2004)

Elegir la finca tipo A o “sostenible” disminuye la contaminación de agua y aumenta la cantidad y calidad del agua disponible en la parte media y baja.

Los ganaderos, ubicados en la parte media, deben tomar dos decisiones, de un lado elegir entre producción con fincas sostenibles o no sostenibles y de otro lado, decidir si pagan o no para que los agricultores conserven, es decir, asuman sistemas de producción sostenibles.

Los usuarios están ubicados en la parte baja de la cuenca y suponiendo que viven en las cabeceras municipales, sólo pueden decidir si pagan o no a los ganaderos y agricultores ubicados en la parte alta y media de la cuenca por adoptar mecanismos de producción sostenibles, es decir, por elegir la finca tipo A o “sostenible”.

Maya et al. (2004) construyen los pagos (Y) de tal forma que el pago de cada agente se vea afectado por las decisiones que los demás agentes tomen en el juego y por la externalidades para cada jugador (ver anexo 2)

Es importante anotar que si bien el gobierno representado por la CAR, es el encargado de la regulación en la cuenca, cómo se observó en el marco normativo, no tiene representante en este juego, dado que el objetivo inicial es modelar el comportamiento de los principales contaminadores de la cuenca.

### ***Tratamientos***

Cada sesión constaba de 20 rondas en las que existieron cuatro tipos de tratamientos, al aplicar cualquier tratamiento se realizan 10 rondas bajo línea base y luego 10 rondas cambiando las reglas (comunicación, regulación alta o regulación baja).

*Línea base:* Es el tratamiento que sirve de referencia, es decir, en este juego los jugadores no tenían ninguna clase de modificación al juego que se explicó anteriormente. Cada grupo de seis individuos conformado por 2 usuarios, 2 ganaderos y 2 agricultores tomaban de manera “individual” su decisión y conforme a esta decisión y la decisión de los demás en el grupo obtenía su ganancia en cada ronda.

*Comunicación:* Este es tal vez el tratamiento que más interese para el propósito de presente trabajo, porque como se ha venido diciendo, la comunicación es determinante a la hora de lograr acciones colectivas alrededor de un RUC y todavía más pertinente teniendo en cuenta la heterogeneidad presente en la cuenca de Fúquene. En este tratamiento, los jugadores tienen la oportunidad de dialogar entre ellos antes de tomar cada decisión, se espera que se pueda llegar a acuerdos sobre qué decisiones tomar en las siguientes rondas a fin de obtener toda mayor ganancia, es decir, maximizar su bienestar social.

*Regulación baja:* En este caso el moderador del juego explica al comienzo de cada ronda, que la regla que impondrá servirá para obtener el puntaje máximo del grupo: la estrategia consiste en que todos deben elegir la finca tipo A y pagar por la conservación según corresponda. El moderador será el encargado de controlar un jugador de forma aleatoria e imponer una multa externa baja si el jugador desacata la regla. En este caso el moderador será el único que sabrá la decisión tomada por los jugadores y no hará público el hallazgo.

*Regulación alta:* Tiene el mismo mecanismo de “regulación baja” pero en este caso la multa es mucho más alta.

**Datos y Jugadores:** Participaron 156 personas en 26 grupos de 6 personas (tabla 3)

Tabla 3. Ubicación jugadores

LUGAR DE JUEGO	LUGARES DE VIVIENDA JUGADORES
Lenguazaque	Tibita+, Tibita centro+, Resguardo bajo**, Tibita Hatico+, Tibita Resguardo+, Espinal Carrizal+, Saño**.
Carmende Carupa	Carupa+ (Centro), Mortño+, Capellania*, El Hato**, Alisal+, Ubaté*, Llano grande*, Corraleja+, Chegua**, Capitolio (Simijaca)*.
Tausa Guacheta	La florida+, Lagunita+, Rasgata alto+, Rasgata bajo**, Nemocon (centro), Mochila (Sutatausa), Ubaté*, Pueblo viejo+. Miñá**, Ticha+, Guacheta (centro)**.
Susa	Espalda+ (Caldas-Boyacá), Táquira* (Simijaca), Quipe+ Caldas-Boyacá), Nutrias+, Fúquene+ (Centro), Triángulo** (Caldas-Boyacá), Cubo+, Fragua**.

Fuente: Maya et al. (2004)

+ Parte alta de la cuenca de la laguna

\*\* Parte media de la cuenca de la laguna

\* Parte baja de la cuenca

Después de realizados los juegos, se realizaron encuestas socioeconómicas y de percepción sobre la cuenca. La información obtenida de esas encuestas fue la que se usó para construir los modelos que se explicarán a continuación (ver anexo 3).

## 5. Resultados de los Juegos y Marco Metodológico

### 5.1. Proporción de Veces que los Jugadores Deciden Conservar y/o Contribuir.

En cada tipo de Juego los participantes tienen que tomar una decisión binaria. Existen 3 tipos de jugadores, los agricultores que deciden entre conservar y no conservar, es decir producir bajo sistemas sostenibles o no (finca A o B), los usuarios quienes deciden entre contribuir y no contribuir (pagar o no pagar por conservar) y, por último, los ganaderos que deben tomar ambas decisiones. Como ya se dijo, en cada tipo de juego que se realiza hay dos jugadores por tipo de jugador.

A continuación, se presentan las tablas con las proporciones promedio de decisión de conservar o contribuir según el tipo de jugador y el tipo de juego, de forma general y controlando por algunas variables significativas para el análisis, así como las pruebas de hipótesis realizadas para determinar si las diferencias en las proporciones entre jugadores son estadísticamente significativas.

Para los p-valores obtenidos a partir de la prueba Chi cuadrado, en la mayoría de los casos, no se rechaza la hipótesis nula de que la proporción de veces que se decide conservar o pagar es la misma entre agricultores y ganaderos y, agricultores y usuarios.

En la tabla 4 se muestra la proporción promedio por tipo de jugador por cada decisión y por tipo de juego. Como se observa, cuando los jugadores tienen la oportunidad de hablar “cara-a-cara” se llegan a proporciones más altas con respecto a la línea base, efecto que sucede en todos los jugadores, pero que, es más evidente en las decisiones tomadas por agricultores y ganaderos. La aplicación de multas a la degradación, también representan un incentivo a la conservación, por ejemplo, la proporción de pago por conservar de los usuarios pasa de 0.39 en línea base a 0.69 con multas altas.

Para los agricultores, el efecto de la comunicación parece ser tan efectiva como la imposición de multas altas, aumentando la proporción de decisiones por conservar en aproximadamente 0,3 en ambos casos. En el caso de los ganaderos, la comunicación aumenta la proporción por conservar -tanto en mecanismos por conservar como en los pagos por conservar- comportamiento que también se observa, aunque en menor medida, con la aplicación de multas. Los usuarios, a su vez, son más sensibles a la imposición de multas bajas.

Tabla 4. Proporciones de Decisión

TIPO DE JUEGO	CONSERVAR		Chi Squared	CONTRIBUIR		Chi Squared
	Agricultor	Ganadero	P-value	Ganadero	Usuario	P-value
Línea Base	0,55	0,58	0,463	0,514	0,39	0,059
Comunicación	0,81	0,81	0,475	0,664	0,61	0,148
Multas Altas	0,86	0,74	0,005	0,633	0,59	0,245
Multas Bajas	0,69	0,71	0,367	0,651	0,69	1,000
Observaciones	3954	4023		3517	2994	

Fuente: Cálculos del autor

Para mirar el efecto de terceras variables sobre el número de veces que un jugador decide contribuir o conservar, se controlan los resultados por: Número de años que lleva habitando el jugador en la cuenca, número de hectáreas de la finca que habita, ubicación en la cuenca (alta, media o baja), tipo de propiedad (propietario, arrendatario o viviente) y por los años de educación.

De allí se hace evidente el efecto positivo que alcanza la comunicación y la regulación en las decisiones que toman los individuos. Se observa que, con respecto al juego base o de referencia, agricultores, usuarios y ganaderos responden de forma positiva en sus decisiones conservacionistas cuando enfrentan multas bajas, altas o posibilidades de comunicación.

Al controlar por número de años que lleva en la cuenca, se observa que en el caso de los agricultores, sin importar cuántos años lleven en la cuenca, presentan una proporción mayor de decisiones por conservar ante la presencia de multas altas. Por el contrario, los ganaderos son más sensibles a conservar y pagar o contribuir cuando tienen la posibilidad de comunicarse, principalmente los ganaderos más jóvenes quienes presentan una proporción de 0.86 frente a 0.61 de la línea base; los usuarios, en cambio, son sensibles a las multas bajas, por ejemplo, los usuarios con más de 47 años viviendo en la cuenca, al enfrentarse a multas bajas, duplican su proporción comparando con la línea base (ver tabla 5).

Tabla 5. Proporciones Según Número de Años en la Cuenca

NÚMERO DE AÑOS EN LA CUENCA	TIPO DE JUEGO	CONSERVAR		Chi Squared	CONTRIBUIR		Chi Squared
		Agricultor	Ganadero	P-value	Ganadero	Usuario	P-value
Menos de 22	Línea Base	0.51	0.61	0.443	0.48	0.39	0.045
	Comunicación	0.79	0.86	0.282	0.70	0.64	0.267
	Impuestos Altos	0.84	0.68	0.254	0.53	0.56	0.700
	Impuestos Bajos	0.56	0.61	0.605	0.52	0.67	1.000
	Observaciones	899	1002		808	726	
Entre 22 y 25	Línea Base	0.56	0.52	0.213	0.55	0.46	0.406
	Comunicación	0.82	0.79	0.607	0.63	0.56	1.000
	Impuestos Altos	0.83	0.81	0.858	0.69	0.64	0.511
	Impuestos Bajos	0.63	0.82	0.369	0.79	0.68	0.854
	Observaciones	963	954		906	788	
Entre 35 y 47	Línea Base	0.55	0.57	0.513	0.51	0.34	0.470
	Comunicación	0.80	0.78	0.994	0.65	0.62	0.494
	Impuestos Altos	0.98	0.74	0.018	0.63	0.61	0.357
	Impuestos Bajos	0.67	0.69	1.000	0.68	0.68	0.869
	Observaciones	850	841		759	588	
Más de 47	Línea Base	0.54	0.56	0.369	0.49	0.36	0.729
	Comunicación	0.81	0.78	0.854	0.62	0.57	0.259
	Impuestos Altos	0.85	0.73	0.065	0.63	0.57	0.741
	Impuestos Bajos	0.81	0.57	0.828	0.47	0.70	0.865
	Observaciones	881	835		714	618	

Fuente: Cálculos del Autor

Al controlar por número de hectáreas en las que habita el jugador, el comportamiento de los agentes en la cuenca con respecto a sus decisiones de conservar o contribuir según el tratamiento es parecido al que se observó en el caso anterior, es de anotar, que, cuando un usuario habita en más de 4 hectáreas, la comunicación no ejerce mayor influencia en su decisión, mientras que una multa baja logra aumentar la proporción de pago de 0.46 a 0.72, al contrastar con línea base y que los ganaderos en microfundio son altamente sensibles a la comunicación presentando una proporción de 0.94 frente 0.49 de la línea base (Ver tabla 6).

Tabla 6. Proporciones Según Número de Hectáreas

NÚMERO DE HECTÁREAS	TIPO DE JUEGO	CONSERVAR		Chi-Squared	CONTRIBUIR		Chi-Squared
		Agricultor	Ganadero	P-value	Ganadero	Usuario	P-value
Menos de 1	Línea Base	0.47	0.49	0.203	0.50	0.33	0.411
	Comunicación	0.81	0.94	0.227	0.71	0.64	0.063
	Impuestos Altos	0.82	0.61	0.222	0.50	0.45	0.731
	Impuestos Bajos	0.51	0.61	0.340	0.57	0.68	0.871
	Observaciones	776	806		764	589	
Entre 1 y 2	Línea Base	0.58	0.63	0.910	0.44	0.40	0.001
	Comunicación	0.74	0.64	0.849	0.51	0.43	0.602
	Impuestos Altos	0.88	0.77	0.040	0.68	0.62	0.833
	Impuestos Bajos	0.82	0.69	1.000	0.54	0.71	0.879
	Observaciones	775	761		570	555	
Entre 2 y 4	Línea Base	0.53	0.65	0.870	0.54	0.43	0.273
	Comunicación	0.85	0.85	0.569	0.76	0.79	0.396
	Impuestos Altos	0.83	0.78	1.000	0.60	0.68	0.760
	Impuestos Bajos	0.80	0.66	0.803	0.62	0.68	1.000
	Observaciones	653	707		603	556	
Más de 4	Línea Base	0.66	0.61	0.482	0.54	0.46	0.403
	Comunicación	0.78	0.83	0.869	0.61	0.48	1.000
	Impuestos Altos	0.90	0.79	0.138	0.66	0.68	0.597
	Impuestos Bajos	0.87	0.89	1.000	0.82	0.72	0.739
	Observaciones	852	804		690	601	

Fuente: Cálculos del autor

Ahora, controlando por tipo de propiedad, los arrendatarios sin importar a que actividad pertenezcan, y los ganaderos –sin importar que tipo de propiedad posean- responden de forma más positiva cuando tienen la posibilidad de comunicarse entre sí; de nuevo, los agricultores tienden a elegir fincas sostenibles cuando existe un régimen de multas altas (ver tabla 7).

Tabla 7. Proporciones Según Tipo de Propiedad

TIPO DE PROPIEDAD	TIPO DE JUEGO	CONSERVAR		Chi-Squared	CONTRIBUIR		Chi-Squared
		Agricultor	Ganadero	P-value	Ganadero	Usuario	P-value
PROPIETARIOS	Línea Base	0.55	0.58	0.410	0.52	0.40	0.458
	Comunicación	0.79	0.78	0.592	0.64	0.59	0.143
	Impuestos Altos	0.88	0.73	0.010	0.61	0.60	0.311
	Impuestos Bajos	0.79	0.67	1.000	0.60	0.67	1.000
	Observaciones	2216	2161		1894	1620	
ARRENDATARIOS	Línea Base	0.52	0.58	0.755	0.56	0.42	0.937
	Comunicación	0.84	0.92	0.773	0.81	0.78	0.674
	Impuestos Altos	0.84	0.72	0.291	0.60	0.58	0.710
	Impuestos Bajos	0.55	0.81	0.299	0.75	0.74	0.828
	Observaciones	623	687		640	538	
VIVIENTES	Línea Base	0.56	0.59	0.595	0.45	0.41	0.028
	Comunicación	0.82	0.97	0.443	0.77	0.72	0.272
	Impuestos Altos	0.87	0.68	0.337	0.55	0.54	0.566
	Impuestos Bajos	0.69	0.77	0.622	0.70	0.77	0.580
	Observaciones	718	747		597	579	

Fuente: Cálculos del autor

Los resultados, cuando el control se realiza por los años de educación de los jugadores, revelan que, la posibilidad de comunicación entre los jugadores aumenta significativamente la proporción de veces que los agentes deciden conservar o contribuir, en especial en los jugadores que tienen más de 11 años de educación; al igual que en los casos anteriores, los agricultores son más sensibles que ganaderos y usuarios a la imposición de multas altas, pero, la sensibilidad de estos agentes ante multas altas y comunicación es similar cuando tienen más educación (Ver tabla 8).

Tabla 8. Proporciones Según Años de Educación

AÑOS DE EDUCACIÓN	TIPO DE JUEGO	CONSERVAR		Chi-Squared	CONTRIBUIR		Chi-Squared
		Agricultor	Ganadero	P-value	Ganadero	Usuario	P-value
Menos de 5	Línea Base	0,54	0,61	0,962	0,52	0,38	0,157
	Comunicación	0,77	0,77	0,529	0,61	0,53	2,430
	Impuestos Altos	0,83	0,73	0,077	0,63	0,58	0,567
	Impuestos Bajos	0,72	0,71	0,504	0,63	0,64	0,915
	Observaciones	1853	1935		1642	1351	
Entre 5 y 11	Línea Base	0,52	0,54	0,258	0,51	0,36	0,590
	Comunicación	0,82	0,80	0,743	0,65	0,62	0,374
	Impuestos Altos	0,91	0,61	0,001	0,57	0,44	0,731
	Impuestos Bajos	0,60	0,71	0,522	0,67	0,73	0,891
	Observaciones	1216	1222		1125	916	
Más de 11	Línea Base	0,60	0,56	1,000	0,50	0,42	0,235
	Comunicación	0,89	0,90	0,776	0,76	0,77	1,000
	Impuestos Altos	0,88	0,89	1,000	0,70	0,79	0,201
	Multas Bajas	0,68	0,66	1,000	0,57	0,53	0,185
	Observaciones	1125	1058		1145	1178	

Fuente: Cálculos del autor

Tal como se explicó en el modelo de segunda generación de Ostrom, la comunicación cara-a-cara es una de las condiciones primordiales para que se puedan llegar a acuerdos en pro de la conservación de cualquier RUC. La regulación en forma de multas altas y bajas a los participantes que no siguieran la estrategia conservar y contribuir también representó un fuerte incentivo, prevaleciendo la respuesta ante multas altas en el caso de los agricultores y ante multas bajas en el caso de los usuarios.

### *Modelo*

Cómo se ha visto a lo largo de éste trabajo, las decisiones de los agentes sobre conservar la cuenca de Ríquene pueden depender de incentivos individuales, de acción colectiva, de las características de los jugadores y del tipo de tratamiento bajo el cual hayan jugado.

Para este trabajo, se busca explicar la probabilidad de que un agente conserve o no la cuenca a través de mecanismos sostenibles de producción o pagos a la conservación en función de variables de carácter individual, colectivo y de percepción.

Para los modelos de conteo, la variable dependiente debe ser el “evento raro”, como consecuencia, las variables dependientes en este caso serán “No conservar” y “No Pagar”. Del lado de las variables independientes se encuentran características socioeconómicas de los agentes, el tipo de juego y su percepción sobre preferencias sociales (ver anexo 3). En la tabla 9 se encuentran las estadísticas descriptivas de de las variables que resultaron significativas en el modelo.



Tabla 9. Estadísticas Descriptivas

Variable	Mean	Std.Dev.
Años en la cuenca	34,81	17,18
Años de educación	7,35	4,47
Hectáreas de tierra que habita	4,71	8,27
Personas que trabajan en el hogar	2,22	1,38
Veces que un ganadero no conserva	4,13	4,29
Veces que un usuario no paga	5,62	5,03
Trabaja en otra finca (1= si 0=no)	0,29	0,46
Si se Puede Confiar en los demás (1= si 0=no)	0,25	0,43
Hay interés en participar en proyectos de conservación (1= si 0=no)	0,37	0,48
<i>Variables Categóricas</i>		
Cantidad de agua que consume		
Menos que la mayoría	0,19	0,39
Más que la mayoría	0,20	0,40
Cuánto cree que existirá la cuenca?		
De 30 a 50 años	0,21	0,41
De 50 a 70 años	0,17	0,38
Tipo de juego		
Línea Base	0,58	0,49
Con Multas Bajas	0,13	0,34
Con multas Altas	0,13	0,34
Tipo de Propiedad		
Arrendatario	0,50	0,50
Viviente	0,06	0,24

Fuente: Cálculos del autor.

Como se observa en la tabla 9. Las variables explicativas socioeconómicas que resultaron significativas en los modelos fueron los años habitados en la cuenca, los años de educación, el número de hectáreas de tierra que habitaban, si trabajaba o no en otra finca, el tipo de propiedad y las personas que trabajaban en el hogar. Dentro de las variables que se desprenden de los juegos experimentales, están las veces que un usuario no paga, las veces que un ganadero no paga, el tipo de juego - línea base, multas altas, multas bajas y comunicación - teniendo como referencia el tratamiento con comunicación; se escogió esta referencia porque es el tipo de juego que más elementos dará para hacer el análisis de incentivos. De las variables relacionadas con la percepción sobre preferencias sociales resultaron significativas las que indagaban por la confianza, el interés por la conservación mediante proyectos colectivos, la percepción sobre la cantidad de agua que consumían con relación a los demás y el tiempo que ellos estimaban que existiría la cuenca.

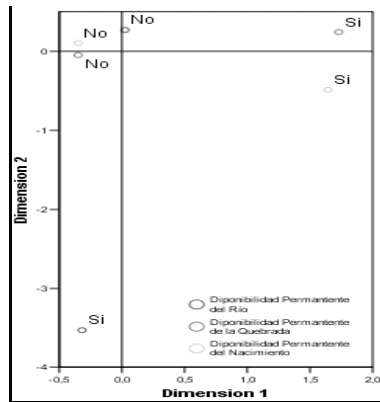
En el anexo 4 se muestra la construcción de dos índices que ayudaron a resumir la información de la base de datos. Estos índices se construyeron mediante el análisis de correspondencias múltiples. Esta técnica es similar a la técnica de componentes principales y se usa para analizar de forma gráfica las relaciones de dependencia o independencia de variables categóricas (Ver anexo 5).

En la gráfica 1 se muestran los resultados obtenidos al aplicar un análisis de correspondencias múltiples a los datos sobre disponibilidad de agua. El programa utilizado ha sido HOMALS de SPSS, del análisis de la figura se aprecia que, las

personas que no disponen de agua del río, quebrada o nacimiento tienden a reunirse en el extremo superior izquierdo del plano, mientras que los individuos que si poseen alguna de estas tres fuentes se encuentran alejadas de los puntos que indican carencia, lo cual sirve para concluir que el índice contribuye a disminuir la dimensión de los datos separando perfectamente a los jugadores con disponibilidad de agua de los que no la tienen.

El *índice de disponibilidad de agua* resultó estadísticamente significativo en las regresiones de Poisson que se estimaron más adelante. En la gráfica 1 se dibuja el plano factorial.

Gráfica 1. Plano Factorial. Índice de Disponibilidad de Agua.



Fuente: Cálculos del autor

En la tabla 10 se muestra una salida de una regresión de Poisson que analiza los resultados de las decisiones de un grupo de personas por rondas de *juegos* realizados, la estimación se hizo con ayuda del aplicativo Limdep que es el más completo para modelos de conteo. La decisión de agricultores y ganaderos es binaria: elegir una finca con técnicas de cultivo ambientalmente sostenibles (conservar) o no. Los restantes jugadores deciden si contribuyen o no con una cuota pro-ambiental en la región. La variable dependiente es el número de veces que en una ronda el jugador decidió **no** conservar. En la muestra se tienen 270 observaciones pero con la existencia de variables *missing* la regresión sólo consideró 134 registros.

## 5.2. Regresión Binomial Negativa.

Para este trabajo, se corrieron dos tipos de modelos para variables de conteo, el modelo Poisson y Binomial Negativo.

La distribución de Poisson exige la equidispersión, es decir, la igualdad de media y varianza (la especificación de este modelo se puede ver en el anexo 6). Al no cumplirse este supuesto los coeficientes estimados de una regresión Poisson son consistentes pero ineficientes y sus errores estándar son sesgados. En los casos en que sea mayor o menor se habla de *sobredispersión*<sup>3</sup> y *subdispersión* respectivamente, y es preciso introducir una corrección a los errores estándar de los coeficientes (Agresti 1996, 93). La corrección que propone Agresti supone que la varianza es proporcional a la media, si esto es así y el modelo Poisson es adecuado para los datos, entonces la razón entre el valor del estadístico de prueba de Pearson y sus grados de libertad es un estimador de dicha constante de proporcionalidad. (ver anexo 6)

La distribución *binomial negativa* también permite superar esta dificultad. Aunque en los modelos de Poisson se solucionó el problema de dispersión por el método de Agresti, también se estimaron regresiones binomiales negativas. Los dos modelos presentaron varias variables significativas en común, los resultados del modelo Binomial Negativo son los que se analizan en las siguientes páginas dado que el modelo Binomial Negativo es el más usado para corregir problemas de sobredispersión.

Las variables aleatorias que registran el número de ocurrencia de un evento por unidad de tiempo, espacio, volumen o cualquier otro índice suelen asociarse con la *distribución de Poisson* y la *distribución Binomial Negativa*. Algunas de estas variables de conteo son: los accidentes de tránsito fatales por semana en una ciudad, número de llamadas por hora que recibe un Call-Center en una hora, número de organismos por unidad de volumen en un fluido, etc. La función de distribución de probabilidad de una variable aleatoria  $Y$  que se comporta como una binomial negativa es:

$$(1) f(y) = \begin{cases} \frac{\Gamma(y + \nu)}{\Gamma(\nu)\Gamma(y+1)} p^\nu (1-p)^y & \text{si } y = 0, 1, 2, \dots \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Donde  $\nu = 1, 2, \dots$  (el inverso de  $\nu$  se conoce como *parámetro de sobredispersión* y da cuenta de la proporcionalidad entre la varianza y la media)<sup>4</sup>.  $\lambda > 0$  (el parámetro lambda

<sup>3</sup> Gurmú (1991) ofrece un contraste para verificar la existencia de sobredispersión.

<sup>4</sup> Si  $\nu^{-1} \rightarrow \infty$ , la variable  $Y$  tiende en probabilidad a una distribución Poisson.

se interpreta como la *tasa promedio de ocurrencia*),  $p = \left( \frac{\nu}{\nu + \lambda} \right)$  y  $\Gamma(\cdot)$  es la *función gamma*. Información más detallada de este modelo se encuentra en anexo 7.

Este modelo se presenta como una alternativa ante fenómenos de sobredispersión porque asume que  $Var[Y] > E[Y]$ . La estimación de los coeficientes, al igual que en la regresión de Poisson, se hace por máxima verosimilitud, suponiendo independencia entre observaciones.

La interpretación de los coeficientes al igual que en la regresión de Poisson, se hace por medio del *riesgo relativo* (ver anexo 6), esta razón que indica cuánto es más probable tener el atributo que mide la variable respuesta si se tiene el atributo  $x$  que si no se tiene, dado que las demás variables están controladas. La interpretación es similar para variables continuas.

Una variable explicativa es estadísticamente significativa si se logra rechazar la hipótesis nula  $H_0 : \beta = \mathbf{0}$ . La hipótesis se evalúa a través del estadístico de Wald que se define por  $(\beta_k^* / EE(\beta_k^*))^2$  y que bajo  $H_0$  se distribuye ji-cuadrado con un grado de libertad. A veces se usa el estadístico  $\beta_k^* / EE(\beta_k^*)$  que se distribuye  $N(0,1)$  si la hipótesis nula es cierta.

La significancia global del modelo se examina por medio de la *razón de verosimilitudes* ji-cuadrado entre un modelo nulo (que no incluye ninguna variable explicativa) y uno completo (que incluye las  $p$  covariables). La hipótesis nula es  $H_0 : \beta_1 = \dots = \beta_p = \mathbf{0}$  y el estadístico de prueba es:

$$(12) \chi_0^2 = -2 \ln \left[ \frac{L_0}{L_p} \right] \sim \chi_{(p)}^2$$

En la tabla 10 se muestra la salida de la regresión Binomial Negativa en la que la variable dependiente es el número de veces que el jugador decidió no conservar.

El valor del estadístico de *razón de verosimilitud* –expresión(11)– para este modelo es 176 que se distribuye ji-cuadrado con 10 grados de libertad, a éste se le asocia un valor de probabilidad muy cercano a cero lo que permite rechazar la hipótesis nula y concluir que globalmente el ajuste es bueno. Los coeficientes individualmente son examinados mediante el estadístico de Wald, para este modelo los coeficientes que resultaron significativos fueron las hectáreas de tierra en las que habita, el índice de disponibilidad de aguas, las veces que el usuario no paga; del lado de las categóricas resultó significativo teniendo como referencia la comunicación, el juego con línea base y con multas altas, y, teniendo como referencia la percepción de un consumo igual al de los demás, la percepción de consumir más que la mayoría.

Tabla 10. Modelo Binomial Negativo. Variable Dependiente: Veces que No Conserva (VNC)

Variable	Beta	EE	Wald	Sig.	RR
Intercepto	0,525	0,171	9,43	0,00	1,69
Hectáreas De Tierra Que Habita	-0,027	0,008	11,39	0,00	0,97
Índice De Disponibilidad De Agua	-0,138	0,044	9,84	0,00	0,87
Veces Que El Usuario No Paga	0,063	0,008	62,02	0,00	1,07
Tipo De Juego					
Línea Base	0,736	0,166	19,66	0,00	2,09
Con multas bajas	-0,193	0,237	0,66	0,42	0,82
Con multas altas	0,425	0,204	4,34	0,04	1,53
Cantidad De Agua Que Consume					
Menos Que La Mayoría	-0,018	0,092	0,04	0,84	0,98
Mas Que La Mayoría	0,603	0,135	19,95	0,00	1,83

Es de anotar que los resultados obtenidos usando el modelo binomial negativo resultaron similares a los obtenidos en el modelo Poisson (ver anexo 6).

Un jugador que tiene una hectárea de tierra más que otro tiene una probabilidad 3%<sup>5</sup> menor de escoger no conservar, lo cual es lo esperado; cuando un individuo habita en un espacio mayor tiene mayor incentivo a conservarla. Sucede lo mismo con el índice de disponibilidad de agua: quien incrementa el índice en una unidad disminuye la probabilidad de escoger fincas no sostenibles en un 13%; cuando hay mayor disponibilidad de agua el agente tenderá a dirigir sus esfuerzos al logro de una calidad

<sup>5</sup> Se obtiene de  $[RR - 1]\%$ . RR es el riesgo relativo.

mayor del agua a la que tiene acceso. Si aumenta en una unidad el número de veces que un usuario decide no contribuir entonces la probabilidad de que un jugador decida no conservar aumenta 7%. La posibilidad aumentar las ganancias si todos en el grupo son recíprocos, se convierte en un fuerte incentivo a producir bajo sistemas de producción sostenibles.

Para las variables que tienen más de dos categorías los coeficientes se interpretan de una manera diferente. Si una variable tiene tres categorías es suficiente con crear dos variables dummy para representar las observaciones, pues la categoría faltante se toma de referencia para comparar las variables dummy construidas.

Para la variable *Tipo de Juego* se ha dejado como referencia los juegos con comunicación, y confirma lo que se ha venido diciendo a lo largo de este trabajo, el papel de la comunicación es clave para impedir la degradación de la cuenca de Fúquene; el riesgo relativo que acompaña a los juegos de línea base se interpreta así: en un juego de línea base, la probabilidad de elegir un mayor número de veces fincas no sostenibles con relación a los juegos en donde existe comunicación es dos veces mayor. En juegos donde se imponen multas con un valor alto, la probabilidad de elegir fincas no sostenibles es 1,53 veces la probabilidad que se tiene en juegos con comunicación. El coeficiente (beta) que acompaña a juegos donde se impone multas de gran bajo no es estadísticamente significativo.

Otra variable categórica es la cantidad de agua que el jugador cree que consume con respecto a los vecinos, si este cree que consume más entonces tiene una probabilidad 83% mayor de no elegir fincas no sostenibles en comparación con quienes creen que consumen igual que sus vecinos.

En el modelo Binomial Negativo el cambio de  $E[Y_i | x_1, \dots, x_p]$  frente a cambios en las variables explicativas se examina mediante la derivada parcial con respecto a estas variables; a esta cantidad se le llama *efecto marginal*. Derivando la expresión (2) con

respecto a la variable  $x_k$  (se usa la regla de la cadena) se tiene que el efecto marginal de esta variable sobre el valor esperado de la variable de conteo modelada es:

$$(3) \frac{\partial E[Y_i | x_1, \dots, x_p]}{\partial x_k} = \frac{\partial \exp\left(\beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_{ik} x_{ik}\right)}{\partial \left(\beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_{ik} x_{ik}\right)} * \frac{\partial \left(\beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_{ik} x_{ik}\right)}{\partial x_k} = \beta_k \exp\left(\beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_{ik} x_{ik}\right)$$

El valor del efecto marginal, por ser el modelo Binomial Negativo no lineal, no sólo depende del coeficiente sino del valor esperado que es función de las variables independientes y no se puede interpretar como el cambio del valor esperado por cambio en una unidad de la variable explicativa<sup>6</sup>. Se usa con frecuencia la media de estas variables para encontrar el valor del efecto marginal.

En la tabla 11 se presentan los coeficientes de máxima verosimilitud del mejor modelo Binomial Negativo para la variable respuesta *Número de Veces que los Jugadores deciden NO Pagar* (VNP), en este caso ganaderos y usuarios.

Tabla 11. Modelo Binomial Negativo. Variable Dependiente: Veces que No Paga (VNP)

Negative Binomial Regression	
Maximum Likelihood Estimates	
Dependent variable	VNP
Weighting variable	ONE
Number of observations	64
Iterations completed	23
Log likelihood function	-155.8600
Restricted log likelihood	-159.4449
Chi-squared	7.169840
Degrees of freedom	1
Significance level	.7413940E-02

Variable	Beta	EE	Wald	Sig.	RR
Intercepto	-0.968	0.34	8.06	0.00	0.38
Años Que Ha Habitado En La Cuenc	0.022	0.01	19.36	0.00	1.02
Hectáreas De Tierra Que Habita	0.136	0.02	38.21	0.00	1.15
Índice De Disponibilidad De Agua	-0.197	0.08	6.22	0.01	0.82
Veces Que El Ganadero No Conserva	0.074	0.02	15.17	0.00	1.08
Trabaja En Otra Finca	1.005	0.20	24.51	0.00	2.73
Tipo De Propiedad					
Arrendatario	0.896	0.25	12.54	0.00	2.45
Viviente	0.342	0.18	3.53	0.06	1.41
Cantidad De Agua Que Consume					
Menos Que La Mayoría	0.802	0.18	20.30	0.00	2.23
Mas Que La Mayoría	0.978	0.27	13.02	0.00	2.66
Cuánto Cree Que Existirá La Cuenca?					
De 30 A 50 Años	0.475	0.26	3.44	0.06	1.61
De 50 A 70 Años	0.624	0.22	7.90	0.00	1.87

<sup>6</sup> Para variables dummy este cálculo no tiene sentido.

La regresión realizada cuando la variable dependiente es *veces que no paga* siguiendo el modelo binomial negativo nos muestra que las variables independientes que resultaron significativas al 5% en este modelo fueron los años habitando la cuenca, las hectáreas de tierras en las que habita, el índice de disponibilidad de agua, el número de veces que un ganadero decide no conservar y si trabaja en otra finca. Dentro de las variables categóricas independientes resultaron significativas el tipo de propiedad y las variables de percepción que explican la intensidad de veces que un jugador decide no pagar son la cantidad de agua que consume con relación a los demás y la percepción sobre cuanto durará la cuenca.

Contrastando el riesgo relativo de estas variables bajo el modelo de Poisson contra los resultados del modelo Binomial negativo, se observa que es semejante en los dos modelos. No obstante, el tipo de juego, los años de educación y las personas que trabajan en el hogar quedan esta vez por fuera del modelo.

Cuando aumenta en una unidad los años que ha habitado en la cuenca, la hectáreas en las que habita y las veces que los ganaderos deciden no conservar, la probabilidad de no pagar por la conservación aumenta en 2% 15% y 8% respectivamente, cuando una persona más trabaja en otra finca aumenta en 2.73 veces la probabilidad de no pagar. Cuando el índice de disponibilidad de agua aumenta en una unidad, la probabilidad de que no paguen por la conservación disminuye en 18%. Del lado de las variables categóricas, la condición de arrendatario con respecto a un propietario, aumenta la probabilidad de no pagar en 2.45 veces. La percepción sobre la cantidad de agua que consume con respecto a los demás, nos dice que el concebir que se consume mayor o menor cantidad de agua aumenta la probabilidad de no pagar con relación a creer que se consume igual cantidad de agua. Y por último, si el jugador cree que la cuenca existirá más de 50 años aumenta la probabilidad de no contribuir con respecto a un jugador que perciba que la cuenca durará de 1-30 años.

Al realizar el análisis de correlación de las variables explicativas de los dos modelos (ver tabla 12), y siguiendo el método de VIF (Variante Inflation Factor) (ver anexo 7) se encontró que ningún elemento de la diagonal de la matriz VIF es mayor a 10. Por lo tanto, no existen problemas de multicolinealidad y explican de forma adecuada la variable explicada, en este caso, *No Conservar y No Pagar*.



Tabla 12. Matriz de correlaciones (Coeficiente de Pearson)

	HECTÁREAS DE TIERRA QUE HABITA	ÍNDICE DE DISPONIBILIDAD DE AGUA	VECES QUE NO CONTRIBUYE EL USUARIO	AÑOS QUE HA HABITADO EN LA CUENCA	VECES QUE NO CONSERVA EL GANADERO
HECTÁREAS DE TIERRA QUE HABITA	1				
ÍNDICE DE DISPONIBILIDAD DE AGUA	0	1			
VECES QUE NO CONTRIBUYE EL USUARIO	-0.05	0	1		
AÑOS QUE HA HABITADO EN LA CUENCA	-0.07	0.05	0.03	1	
VECES QUE NO CONSERVA EL GANADERO	-0.08	-0.06	0.48*	0	1

\* Correlaciones significativas al 1% (2-colas)

## 6. Conclusiones y recomendaciones

Los resultados validan la hipótesis de este trabajo, los factores que determinan la conservación de la cuenca de Fúquene dependen tanto de características individuales de los agentes como del grado de comunicación que pueda haber entre ellos.

La comunicación es un factor clave para llegar a acuerdos que permitan solucionar los problemas de degradación que están ocurriendo en la cuenca de Fúquene. La disminución en los contaminantes que llegan a este sistema hídrico y el problema de sedimentos se pueden alcanzar cuando tanto agricultores como ganaderos conciertan la implementación de fincas sostenibles ambientalmente. El pago por conservar que hagan los usuarios, representa a su vez un incentivo para que los pobladores en la parte alta y media de la cuenca implementen el sistema de fincas sostenibles. Lo cual, dado el impacto positivo de la comunicación, indica que el propiciar espacios de comunicación y diálogo entre los diferentes sectores de la cuenca puede derivar en un aumento del bienestar social para todos los agentes que interactúan en la cuenca.

Los resultados muestran que cuando un individuo tiene una hectárea más de tierra y mayor disponibilidad de agua, su probabilidad de no conservar disminuye, expresando la conciencia de las personas sobre la necesidad de conservación de la cuenca, a mayor calidad y cantidad hídrica de la cuenca mayor bienestar individual.

De otro lado, y de acuerdo a los resultados del modelo usado para explicar las veces que los agentes no conservan se observa que el pago de una multa alta puede provocar el efecto contrario en términos de objetivos ambientales, es decir, la creación o imposición de una multa alta en dinero para las personas que deciden contaminar o degradar, puede

ir en contravía a los objetivos en el sentido que los habitantes de la cuenca legitiman el derecho a contaminar por medio del pago.

La percepción sobre justicia a través de la percepción de un consumo mayor que el de la mayoría de personas con respecto a los que creen que consumen igual cantidad que los demás, demuestra que los primeros aumentan su probabilidad de degradar en casi un 83% con respecto a los segundos, lo que podría revelar que cuando un individuo tiene conciencia sobre la ventaja que está teniendo sobre los demás también puede presentar comportamientos de *free rider* y esperar a que los demás decidan producir de forma sostenible.

Ahora, se observó que cuando aumenta el número de veces que un ganadero decide no implantar métodos sostenibles en su finca aumenta la probabilidad de que los individuos no paguen a los demás para la conservación; sucede lo mismo cuando un usuario decide no pagar: aumenta la probabilidad de que las personas que tienen en sus manos realizar esfuerzos conservacionistas decidan no conservar. Esto nos está diciendo que los jugadores son reciprocantes al momento de tomar sus decisiones sobre la conservación de la cuenca.

Los resultados en este caso dan cuenta de la necesidad de políticas de conservación que concienticen a los usuarios y ganaderos y a otros entes implicados con la contaminación de la cuenca sobre la importancia que representa para los agricultores y ganaderos el pago por realizar esfuerzos conservacionistas que redundan en calidad y cantidad de agua para toda la cuenca.

Este trabajo, principalmente nos deja reflexiones interesantes en el caso de imposición multas para la conservación de este recurso de uso común: a pesar que desde la economía tradicional la solución a externalidades negativas es internalizarlas mediante incentivos económicos, en este caso multas, la experiencia en la cuenca de Fúquene, nos dice que la regulación en forma de multas altas para incentivar la implementación de fincas sostenibles tiene el efecto contrario al deseado en términos de política ambiental; los individuos pueden organizarse y gestionar los recursos de los que obtienen beneficios a fin de evitar su destrucción o contaminación, una de las condiciones para

que esto ocurra, es la capacidad que tengan los agentes para comunicarse y lograr acuerdos en beneficio de la colectividad

Aunque en los juegos experimentales no participaron personas vinculadas con los organismos de control estatales, entender los cambios en los procesos regulatorios y la acción que el estado puede ejercer en estos cambios, es de vital importancia para la construcción y monitoreo de herramientas de gestión en la cuenca. Por un lado, el estado puede servir como mediador o concertador en los conflictos que se presentan entre las partes de la cuenca y de otro lado, puede ayudar a disminuir los costos de transacción que surgen en las operaciones de pago por conservación y monitoreo de las actividades conservacionistas, que en la cuenca estarían representadas por la implementación de fincas sostenibles.

Asimismo, el estado debe ser el encargado de la asesoría y seguimiento de los procedimientos que se deben llevar a cabo en cada una de las partes de la cuenca para asegurar su conservación. Todo esto, bajo conceptos de eficiencia financiera y operativa y descentralización del sector público y su inversión.

La descentralización permite distribuir la gestión entre los grupos interesados y establecer un sistema eficaz de control entre los diferentes agentes que actúan en la cuenca, por medio de una mejor rendición de cuentas y una reducción de costos. A su vez, suaviza los impactos que surgen de los conflictos entre los interesados y mejora la participación de estos en la resolución de los problemas hídricos de la cuenca.

## Bibliografía

Agrawal, A., Gupta, K. (2005). “Decentralization And Participation: The Governance of Common Pool Resources in Nepal’s Terai”. *World Development* Vol. 33, No. 7, pp. 1101–1114.

Agresti, A. (1996). *An Introduction to Categorical data Analysis*. John Wiley and Sons.

Apestequia, J. (2005). “Does information matter in the commons?”. *Experimental evidence Journal of Economic Behavior & Organization* Vol. (xxx ) xxx–xxx

Barclay, P. (2004). “Trustworthiness and competitive altruism can also solve the “tragedy of the commons””. *Evolution and Human Behavior* 25 209–220.

Biggs, S.V. (2001). “Linking ecological scales and ecological frameworks for landscape rehabilitation”. *Ecol. Manage. Restor.* 2(1), 28-35.

Buchanan, J., Tullock, G. (1962) *The Calculus of Consent: Logical Foundation of Constitutional Democracy*, University of Michigan Press

Budescu, D., Rapoport, A., Suleiman, R. (1995). “Common Pool Resources Dilemmas Under Uncertainty: Qualitative Test Of Equilibrium Solutions”. *Games and Economic Behavior* 10, 171-201.

Cardenas, J., Carpenter, J. (2003). “Pro-social Behavior in the Global Commons: A North-South Experiment”. *Middlebury College Economics Discussion Paper No. 03-29*

Castillo, D., Saiselb A. (2005). “Simulation of common pool resource field experiments: a behavioral model of collective action”. *Ecological Economics* xx xxx–xxx.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Japan International Cooperation Agency (JICA). *Plan Regional Ambiental para la Laguna de Fúquene*, Bogotá, 1999.

- Salvador, M (2003): "Análisis de Correspondencias", [en línea] *5campus.com*, *Estadística* <<http://www.5campus.com/leccion/correspondencias>> [Junio 20 de 2006]
- Fischer, M., Irlenbusch, B., Sadrieh, A. (2004). "An intergenerational common pool resource experiment". *Journal of Environmental Economics and Management* 48 811–836.
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science* 162, No 1, pp 243-248
- Japan International Cooperation Agency (JICA). (1999) *Plan Regional Ambiental para la Laguna de Fúquene*, Bogotá.
- Libecap, G (2003). State Regulation of Open-Access, Common-Pool Resources *Working Paper No. 19 ICER*.
- Long, S. (1997). *Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables*. SAGE Publications.
- Maya, D., Castillo, D., Ramos, P., Roldán, A. (2004). *Análisis de la acción colectiva para el Manejo de cuencas Estudio piloto-cuenca de la Laguna de Fúquene*. Universidad Javeriana, Colombia.
- Milinski, M., Semmann, D., Krambeck, H.-J. (2002). "Reputation solve the 'tragedy of the commons'". *Nature* 415, 424–426.
- North, D. (1993). *Instituciones, Cambio Institucional y Desempeño Económico*. Fondo de la Cultura.
- Olson, M. (1971). *The Logic of Collective Action*. Harvard University
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. Nueva York, Cambridge University Press.

- Ostrom, E., Walker, J., Gardner, R. (1992). "Covenants With and Without a Sword: Self-Governance is Possible." *American Political Science Review* 86: 404-417.
- Ostrom E., (1998). "A behavioral approach to the rational choice theory of collective action". *American Political Science Review* 92 (1), 1 –22.
- Santos, M. (2000). *Fúquene: El Lecho de la Zorra*. Bogota. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- Schott, S, Buckley, N, S. Mestelman, Muller A. (2002). "Output sharing among groups exploiting common pool resources". *Working Paper 2002-6*, Department of Economics, McMaster University
- Smajgl, A. (2004). "Modelling the effect of learning and evolving rules on the use of common-pool resources,". *Computing in Economics and Finance* 178.
- Swallow, B., Johnson, N., Meinzen-Dick, R. and Knox, A (2005). *The challenges of inclusive cross-scale collective action in watersheds*. submitted to special issue of Agriculture, Ecosystems and the Environment.
- Temstrom, I. (2001). "Cooperation or Conflict in Common Pools". *SSE/EFI Working Papers Series in Economics and Financial no 428 January*.
- Yercan, M. (2003). "Management turning-over and participatory management of irrigation schemes: a case study of the Gediz River Basin in Turkey". *Agricultural Water Management* 62 205–214.
- Varughese, G., Ostrom, E. (2001). "The Contested Role Of Heterogeneity In Collective Action: Some Evidence from Community Forestry in Nepal". *World development* Vol. 29 No 5 pp 747-765 -. (2001)
- [www.car.gov.co](http://www.car.gov.co)
- [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)
- <http://data.princeton.edu/wws509/notes/>

## ANEXO S

### ANEXOS 1. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA

#### Anexo 1.1. Producto y Número de Cabezas por Tipo de Ganadería

Ganadería	Cabezas	Millones de pesos (1998)
<b>Industria lechera</b>		168.214
Vacuno	171.402	165.831
Porcino	29.562	7.464
Ovino	64.400	7.464
<b>Total</b>	<b>265.364</b>	<b>348.973</b>

Datos obtenidos de Santos (2000)

#### Anexo 1.2 Agricultura: Producción por Toneladas y Millones de Pesos

Agricultura	Área (Hectáreas)	Producción anual (ton)	Valor millones de pesos
Papa	16.933	280.000	80.637
Trigo	880	1.985	554
Arveja	1.860	4.045	3.114
Maíz	1.440	11.040	2.760
<b>Total</b>	<b>21.113</b>	<b>297.070</b>	<b>87.065</b>

Datos obtenidos de Santos (2000)

#### Anexo 1.3 Minería: Número y Producción

Minería: Carbón	Minas	Millones de pesos
Pequeña	266	
Mediana	14	
<b>Total</b>	<b>280</b>	<b>13.747.00</b>

Datos obtenidos de Santos (2000)

#### Anexo 1.4. Demanda de agua del sector doméstico, institucional e industrial (m<sup>3</sup>/día)

MUNICIPALIDAD	ÁREA URBANA	ÁREA RURAL	TOTAL
Ubaté	3.790	3.020	6.810
Chiquinquirá	8.563	871	9.434
Otros	4.128	10.417	14.545
<b>Total</b>	<b>16.481</b>	<b>14.308</b>	<b>30.789</b>

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Japan International Cooperation Agency (JICA). *Plan Regional Ambiental para la Laguna de Fúquene*, Bogotá, 1999.

Anexo 1.5. Biomasa de Plantas Acuáticas 1999

Tipo de planta	Área de Crecimiento (hectárea)	Densidad (kg/m <sup>2</sup> )	Biomasa (ton húmeda)
Emergente	899	35,11	315,600
Flotante	697	99,04	690,300
Sumergida	1,204	16,38	197,300
<b>Total</b>	<b>2,800</b>		<b>1,203,200</b>

Datos obtenidos de Santos (2000)

Anexo 1.6. Área de la Superficie de Agua

Fecha	Superficie Has	Planta expandida
1940	3,071	
1955	2,806	265
1963	2,376	430
1978	2,211	165
1983	2,100	111
1989	2,000	100
1993	1,603	397
1999	1,363	240

Datos obtenidos de Santos (2000)

Anexo 1.7. Escorrentía a cargo del contaminante según fuente

Parámetro	DBO	DQO	T-N	T-P
Escorrentía a cargo del contaminante (Kg/día)	2899	11472	1036	131
Rata fuente (%)				
Puntual (Alcantarillado)	29.2	12.3	22.9	21.4
Puntual (Industria)	1.1	0.4	0.8	1.5
No puntual (Ganadería)	65.2	80.6	60.5	75.5
No puntual (Suelo)	4.2	6.5	15.7	1.6
No puntual (Doméstico rural)	0.3	0.2	0.1	0

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Japan International Cooperation Agency (JICA). *Plan Regional Ambiental para la Laguna de Fúquene*, Bogotá, 1999.



Anexo 1.8. Niveles de DBO y DQO

PUNTO DE MONITOREO	DBO	DQO
	(mg/L-O <sub>2</sub> )	(mg/L-O <sub>2</sub> )
Río Hato, antes de la confluencia con el Embalse El Hato	1	2
Río Ubaté, Estación La Boyera	1	3
Río Ubaté, Puente Barcelona	1	3
Río Ubaté antes de la confluencia con la Laguna de Fúquene	26	40
Río Suta, Estación El Pino	4	7
Río Suta, Estación Novilleros	192	332
Río Lenguaaque, antes de la confluencia con el Río Ubaté	7	17
Río Lenguaaque, después de los vertimientos municipales de Lenguaaque	9	22
Río Tibita	1	6
Quebrada Ovejeras	1	6
Quebrada Sutachin	12	19
Quebrada Honda	1	2
Quebrada Ticha	4	10
Quebrada Tagua	2	6
Quebrada Monroy	1	2
Vallado Límite	73	119
Canal Chibaba	96	271
Canal Infante	24	127
Río Susa, antes de la confluencia con la Laguna de Fúquene	135	214
Canal de Acceso, agua proveniente del Río Ubaté, Hacienda Punta de Vega	3	9
Canal Interno, Hacienda Punta de Vega	73	109

Fuente: GTZ

Anexo 1.9. Percepción de las Reglas de la Comunidad sobre el Manejo de los Recursos

Naturales

Recurso	Reglas de la Comunidad		
	Agricultores	Ganaderos	Usuarios
Agua	No talar ni quemar árboles	Arborizar con especies que protejan el agua	No malgastar el agua
	No botar bolsas ni líquidos a los nacimientos	Entre la comunidad vigilar que no se realicen quemas ni talas	Hacer acueductos para aprovechar mejor el agua
	No verter aguas negras a las fuentes de agua	Hacer reservorios con indicaciones técnicas	Reforestar en comunidad
	No usar el agua del acueducto para regadío		Evitar la tala de monte
Tierra	Utilizar medidores para usar de 15 a 20 m <sup>3</sup> de agua	Cuidar el páramo, evitar la siembra de esta zona	No contaminar el agua con empaque y basuras
	Sembrar con bueyes y arado	No botar basura en los ríos	No destruir los páramos
Suelo	Utilizar el estiércol del ganado para abono		No hacer quemas
	No talar árboles		Reforestar individualmente
Bosque			Hacer reservorios
			No tumar árboles
Fauna	No dañar las guaridas de los animales, ni cazar		Podar los árboles para su desarrollo
	hacer las respectivas denuncias		
Páramos	Proteger los nacimientos		
	No quemar los bosques		
Aire	Sembrar árboles		

Fuente: Maya et al (2004)

Anexo 1.10. Percepción de las Reglas del Estado sobre el Manejo de los Recursos Naturales

Recurso	Reglas de Estado (Percepción)		
	Agricultores	Ganaderos	Usuarios
Agua	No talar los árboles en el páramo	Dejar 15 metros de ronda en los ríos	Tratar el agua de los acueductos
	Por un árbol talado se deben sembrar 10	No desperdiciar el agua	Pagar tarifa por el consumo de agua
	No usar tractor en zona de páramo	Se prohíbe la tala y si se hace se debe sembrar	No desperdiciar el agua
	Respetar las reservas forestales	el doble de lo que se tala	No contaminar el agua
	No contaminar el agua	Se prohíbe hacer pozos personales para riego	Arborizar con árboles nativos
	Proteger las rondas de los ríos con	que impidan el acceso al agua a los demás	Cuidar los árboles que sembraron
	Árboles nativos		Hacer reservorios
	Pagar tasa retributiva		
Tierra	Proteger la tierra usando abonos verdes	No comercializar el musgo	Hacer labranza mínima
Suelo	Labranza Mínima*	Cultivar pastos forrajeros	Utilizar abonos verdes
	Fumigar sin químicos*	Sembrar directo (matraca)	Hacer labranzas directas
		Usar tractor con arado de chuzo	No usar fungicidas
Bosque	Sacar licencia para talar	Sacar licencia para talar	Pagar las multas por tumbar
		Reforestar con especies nativas	Enseñar a los niños a cuidar y querer la naturaleza
			No quemar ni talar
Fauna	No cazar animales silvestres		
	Se prohíbe el tráfico de animales		
Páramos	No sembrar		
	No tumbar		
Aire	No quemar basuras		
	Clasificar y reciclar		
	No usar fungicidas		
	Tener permiso para minas y chircales		
	Sembrar árboles		

Fuente: Maya et al. (2004)

## ANEXO 2. FUNCIONES DE PAGO

Función de pago para Agricultores (jugadores 1 y 2): Está compuesta por los ingresos que genera la actividad agrícola, la decisión de elegir finca A o B, el pago que hagan los demás jugadores como incentivo para producir sosteniblemente y las externalidades.

$$Y_{1-2} = \alpha + (X_{1-2}) * 1 + \boxed{(1-X_{1-2})} * \beta + \frac{1}{4} \boxed{(P_5+P_6)} A + \frac{1}{2} \boxed{(P_3+P_4)} B$$

Decisión jugador 1 o 2
Pagos a la conservación de los jugadores 3 y 4

↓
↓

Decisión jugador 1 o 2
Pagos a la conservación de los jugadores 5 y 6

Función de pago para los Ganaderos (jugadores 3 y 4): está compuesta por los ingresos que genera la actividad pecuaria, la decisión de elegir finca A o B, el pago que realice a la parte alta de la cuenca por conservar, el pago que recibe de la parte baja de la cuenca por tomar decisiones conservacionistas y las externalidades.

$$Y_{3-4} = \alpha + (X_{3-4}) * 1 + \boxed{(1-X_{3-4})} * \beta + \frac{1}{4} \boxed{(P_5+P_6)} A - \boxed{(2-X_{3-4})} * C - 1 * B$$

Decisión jugador 3 o 4
Decisión de los jugadores 3 y 4 (tipo de finca)

↓
↓

Decisión jugador 3 o 4
Pagos a la conservación de los jugadores 5 y 6

Función de pago para los Usuarios (jugadores 5 y 6): está compuesta por los ingresos de los agentes ubicados en la zona baja, los pagos que realicen a la parte media y alta de la cuenca y las externalidades.

$$Y_{5-6} = \alpha - D * \boxed{(2-X_{3-4})} \boxed{(2-X_{3-4})} E * \boxed{(2-X_{1-2})} - 1 * A + F$$

Decisión jugador 3 o 4 (pagar o no pagar)

↓
↓

Decisión jugador 3 o 4 (tipo de finca)
Decisión de los jugadores 1 y 2 de conservar

Alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ) son constantes determinadas a partir de los ingresos promedio por jornal.

A representa una externalidad positiva para los agricultores y ganaderos por los pagos hechos por los usuarios para la conservación. B es otra externalidad positiva para los agricultores por los pagos hechos para la conservación por parte de los ganaderos y a su vez genera un beneficio para los ganaderos derivada de la mejor calidad de agua que

llegará a la parte media de la cuenca, resultado de una producción agrícola sostenible (C).

D, E y F, significan mejoras en la calidad y cantidad de agua para los usuarios según las decisiones tomadas aguas arriba de manejo de fincas sostenibles o tipo A y de las decisiones de pagar para la conservación por parte de ganaderos.

### **ANEXO 3. VARIABLES USADAS EN LOS MODELOS (A PARTIR DE ENCUESTAS)**

Edad

Género

Años de educación

Años que ha habitado en la cuenca

Hectáreas de tierra que habita

Cabezas de bovinas, caprinas o porcinas

Otros animales (aves, conejos o de labor)

Índice de disponibilidad de agua

Índice de acceso a servicios

Veces que no conserva el agricultor 1

Veces que no conserva el agricultor 2

Veces que no conserva el ganadero 1

Veces que no conserva el ganadero 2

Veces que no contribuye el ganadero 1

Veces que no contribuye el ganadero 2

Veces que no contribuye el usuario 1

Veces que no contribuye el usuario 2

Personas que conforman el hogar

Personas que trabajan en el hogar

Trabaja en otra finca ?

Cantidad de mano de obra familiar

Tiene crédito agropecuario ?

Pertenece a una organización comunitaria ?

Tipo de Juego (1=Línea Base, 2=Comunicación, 3=Imp Bajos y 4=Imp Altos)

Tipo de Jugador (1=Agricultor, 2=Ganadero y 3=Usuario)

Tipo de Propietario (1=Propietario, 2=Arrendatario y 3=Viviente)

Uso de la Finca (1=Agrícola, 2=Pecuario, 3=Recreo, 4=Agropecuario y 5=Pecuario y Recreo)

Parte de la Cuenca en la que Vive (1=Alta, 2=Media y 3=Baja)

Ud Cree que el uso de Fertilizantes/Insecticidas/Herbicidas afecta el Agua de la Cuenca?

Ud cree que su nivel de consumo de agua afecta a quienes viven más abajo ?

Hay Interés por Colaborar en Proyectos de Conservación de los Recursos Naturales ?

Se Puede Confiar en las Personas ?

Existe Ayuda de los Demás ? (1=Altruismo y 0=Egoísmo)

Ve que los Demás sean Justos?

### Percepción

A Quienes se Aplican las Leyes ? 0=A todos por igual y 1= A unos mas que a otros

Cuánta Agua Cree que Consume con Respecto a la Mayoría ? 1=Menos, 2=Más y 3=Igual

Cómo Cree que son su Pertenencias con Respecto a la Mayoría ? 1=Menos, 2=Más y 3=Igual

Qué Frase Describe Mejor a la Población de la Cuenca ? 1=La mayoría tiene con que vivir, 2=La mayoría tiene dificultad para vivir y unos ... 3=La mayoría tiene con qué vivir y unos pocos.. 4=La mayoría tiene dificultades para vivir, 5=La mayoría tiene más que suficiente

Cuánto Tiempo más Cree que Seguirá Existiendo la Cuenca ? 1=De 10 a 30, 2=De 30 a 50 y 3=De 50 a 70

## **ANEXO 4. CONSTRUCCIÓN DE ÍNDICES**

### **(ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS MÚLTIPLES)**

El *índice de disponibilidad de agua* se construyó a partir de las siguientes variables:

- Disponibilidad Permanente del Río (1=Si y 0=No)
- Disponibilidad Permanente de la Quebrada (1=Si y 0=No)
- Disponibilidad Permanente del Nacimiento (1=Si y 0=No)

El primer eje del análisis de correspondencias resume cerca del 40% de la variabilidad de los datos, si se tiene en cuenta los dos primeros ejes se concentra el 73%. El índice se crea con las ponderaciones del primer factor, la siguiente tabla muestra estos valores.

CAPITAL CULTURAL		
Variables	Categorías	Ponderación
Disponibilidad Permanente del Río	SI	-0,318
	NO	0,024
Disponibilidad Permanente de la Quebrada	SI	1,731
	NO	-0,349
Disponibilidad Permanente del Nacimiento	SI	1,645
	NO	-0,350

**Fuente:** Cálculos a partir de la encuesta

El *índice de acceso a servicios públicos* se construye con base en la siguiente información de la encuesta:

- ¿Tiene sanitario?
- ¿Tiene pozo séptico?
- ¿Tiene acueducto?
- ¿Tiene alcantarillado?
- ¿Tiene gas?
- ¿Cómo maneja las basuras?

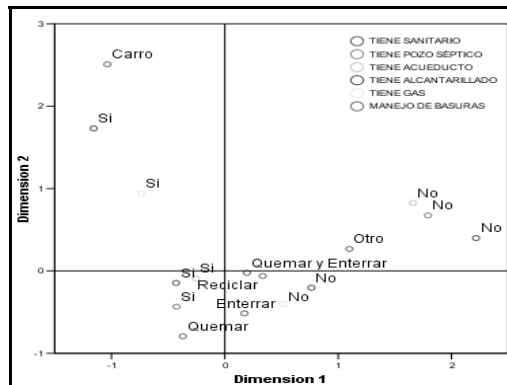
Abajo en la tabla se muestran los ponderadores correspondientes a la formación del primer eje factorial, este resume el 45% de la variabilidad de los datos.

CAPITAL CULTURAL		
Variables	Categorías	Ponderación
¿Tiene sanitario?	SI	0,430
	NO	-2,218
¿Tiene pozo séptico?	SI	0,425
	NO	-1,793
¿Tiene acueducto?	SI	0,255
	NO	-1,660
¿Tiene alcantarillado?	SI	1,156
	NO	-0,764
¿Tiene gas?	SI	0,740
	NO	-0,513
Cómo maneja las basuras	OTRO	-1,099
	QUEMAR	0,371
	ENTERRAR	-0,174
	QUEMAR Y ENTERRAR	-0,195
	RECICLAR	-0,334
	CARRO	1,036

**Fuente:** Cálculos a partir de la encuesta

En el plano factorial (bi-plot) se observa que las personas a quienes un carro les recoge la basura y, además, cuentan con el servicio de alcantarillado y gas tienden a reunirse en el extremo superior izquierdo del plano (segundo cuadrante). Quienes no cuentan con acueducto, pozo séptico y sanitario comparten el rasgo de manejo de basura mediante

otros métodos, se ubican en el primer cuadrante del plano. Los que no tienen ni alcantarillado ni gas se asocian más con quemar o enterrar las basuras, estos se ubican en el cuarto cuadrante. Las categorías cercanas al centro de gravedad del plano (el corte entre los dos ejes) no tiene poder discriminante, es decir, no es posible con estos atributos separar por grupos de individuos a los elementos de la muestra.



**ANEXO 5. ANALISIS DE CORRESPONDENCIA MULTIPLES (Tomado de Salvador Figueras, M (2003))**

Se aplica a tablas de contingencias en las que por filas se tienen n individuos y por columnas s variables categóricas con  $p_i$   $i=1, \dots, s$  categorías mutuamente excluyentes y exhaustivas.

La tabla de datos tiene, por lo tanto, la forma:

$$(4) Z = [Z_1, Z_2, \dots, Z_s]$$

con  $Z_i$  matriz  $n \times p_i$  de forma que

$$z_{ij} = 1 \text{ si el individuo } i\text{-ésimo ha elegido la modalidad } j$$

$$z_{ij} = 0 \text{ si el individuo } i\text{-ésimo no ha elegido la modalidad } j$$

con  $i=1, \dots, n$  y  $j=1, \dots, p=p_1 + p_2 + \dots + p_s$

El Análisis de Correspondencias Múltiples se basa en realizar un Análisis de Correspondencias sobre la llamada matriz de Burt:

$$B = Z'Z$$

Dicha matriz se construye por superposición de cajas. En los bloques diagonales aparecen matrices diagonales conteniendo las frecuencias marginales de cada una de las variables analizadas. Fuera de la diagonal aparecen las tablas de frecuencias cruzadas correspondientes a todas las combinaciones 2 a 2 de las variables analizadas

Se toman como dimensiones aquellas cuya contribución a la inercia supera  $1/p$ .

**Distancias  $\chi^2$**

En este caso vienen dadas por las expresiones

$$5) \quad d^2(j,j') = \sum_{i=1}^n n \left( \frac{Z_{ij}}{Z_{.j}} - \frac{Z_{ij'}}{Z_{.j'}} \right)^2 \quad \text{distancia entre modalidades}$$

$$6) \quad d^2(i,i') = \frac{1}{S} \sum_{j=1}^p \frac{n}{Z_{.j}} (z_{ij} - z_{i'j})^2 \quad \text{distancia entre individuos}$$

### ANEXO 3. Modelo Poisson

#### Regresión Poisson.

La distribución de Poisson tiene la siguiente forma:

$$(7) \quad f(y) = \begin{cases} \frac{e^{-\lambda} \lambda^y}{y!} & \text{para } y = 0, 1, 2, \dots \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

El parámetro lambda es no negativo. Si una variable aleatoria  $Y$  sigue esta distribución entonces su valor esperado y varianza son iguales a este parámetro.  $E[Y] = Var[Y] = \lambda$ . A lambda se le conoce como *tasa promedio de ocurrencia* o en lenguaje epidemiológico como *tasa de incidencia* que hace referencia a la rapidez con que un evento ocurre.

La regresión de Poisson propone explicar la media de una variable de conteo como una función de  $p$  variables explicativas:

$$(8) \quad E[Y_i | x_1, \dots, x_p] = \lambda_i = \exp\left(\beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_{ik} x_{ik}\right)$$

Se asume la función exponencial con el fin de garantizar que la variable respuesta sea no negativa como ocurre con las variables de conteo. En la estimación de los coeficientes de la expresión (8) no es necesario exigir el supuesto de homocedasticidad (varianza constante), pues en los datos que se distribuyen de manera Poisson o Binomial la varianza es una función de la media.

Los coeficientes de la expresión (8) se estiman por el método de *máxima verosimilitud*. Cada valor muestral  $y_i$  en una muestra aleatoria de tamaño  $n$  es la realización de la variable aleatoria  $Y$  que se asume sigue una distribución como la de expresión (1). Si las observaciones en la muestra son independientes la función de máxima verosimilitud  $L$  en este modelo de regresión se expresa por:

$$(9) \quad L(y_1, \dots, y_n | \beta_1, \dots, \beta_p) = \prod_{i=1}^n \left( \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^{y_i}}{y_i!} \right)$$

Por conveniencia es preferible trabajar con el logaritmo natural de (9):



$$(10) \ln L(y_1, \dots, y_n | \beta_1, \dots, \beta_p) = \sum_{i=1}^n \left[ -\exp\left(\beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_{ik} x_{ik}\right) + y_i \left(\beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_{ik} x_{ik}\right) - \ln y_i! \right]$$

Como el logaritmo es una transformación monótona, los coeficientes que maximizan (10) son los mismos que maximizan la función de verosimilitud. Los coeficientes que satisfacen  $\partial \ln L(\cdot) / \partial \beta_i = \mathbf{0}$  son los *estimadores de máxima verosimilitud* de (3). De esta condición de primer orden se tiene:

$$(11) \sum_{i=1}^n \left[ y_i - \exp\left(\beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_{ik}^* x_{ik}\right) \right] x_{ik} = \mathbf{0} \quad \text{donde } \beta_{ik}^* \text{ es el coeficiente de máxima verosimilitud para la } k\text{-ésima variable.}$$

De la expresión anterior se concluye que los residuales de la regresión estimada por máxima verosimilitud son *ortogonales* a cada variable explicativa.

Suponiendo que  $k-1$  variables en el modelo permanecen constantes y la  $k$ -ésima variable explicativa  $x$  es binaria tal que toma el valor uno si se presenta un atributo de interés y el valor cero si no lo tiene, entonces a partir de (8):

$$(12) \lambda(x=1) = e^{\beta_0} e^{\beta^*}$$

$$(13) \lambda(x=0) = e^{\beta_0}$$

Reemplazando (12) en (13) y reorganizando términos se consigue:

$$(14) e^{\beta^*} = \frac{\lambda(x=1)}{\lambda(x=0)}$$

La expresión (14) se conoce como *riesgo relativo* y de este modo se interpretan los coeficientes de la regresión de Poisson, en este caso, la razón indica cuánto es más probable tener el atributo que mide la variable respuesta si se tiene el atributo  $x$  que si no se tiene y dado que las demás variables están controladas. La interpretación es similar para variables continuas.

$$(15) e^{\beta^*} = \frac{\lambda(X=x+1)}{\lambda(X=x)}$$

En (15) la variable explicativa está en escala de intervalo o de razón, acá se señala cuánto es más probable tener el atributo que mide la variable respuesta si la variable explicativa se incrementa en una unidad.

En muestras suficientemente grandes los estimadores de máxima verosimilitud se encuentran normalmente distribuidos, en consecuencia es posible construir un intervalo de confianza para el riesgo relativo:

(16)  $\exp[\beta_k^* \mp z_{1-\alpha/2} EE(\beta_k^*)]$  donde  $z_{1-\alpha/2}$  es el percentil de una distribución normal estándar a un nivel de significancia  $\alpha$  y  $EE(\beta_k^*)$  es el error estándar del coeficiente estimado.

Una variable explicativa es estadísticamente significativa si se logra rechazar la hipótesis nula  $H_0 : \beta = \mathbf{0}$ . La hipótesis se evalúa a través del estadístico de Wald que se define por  $(\beta_k^* / EE(\beta_k^*))^2$  y que bajo  $H_0$  se distribuye ji-cuadrado con un grado de libertad. A veces se usa el estadístico  $\beta_k^* / EE(\beta_k^*)$  que se distribuye  $N(\mathbf{0},1)$  si la hipótesis nula es cierta.

La significancia global del modelo se examina por medio de la *razón de verosimilitudes* ji-cuadrado entre un modelo nulo (que no incluye ninguna variable explicativa) y uno completo (que incluye las  $p$  covariables). La hipótesis nula es  $H_0 : \beta_1 = \dots = \beta_p = \mathbf{0}$  y el estadístico de prueba es:

$$(17) \chi_0^2 = -2 \ln \left[ \frac{L_0}{L_p} \right] \sim \chi_{(p)}^2$$

La razón de verosimilitud bajo  $H_0$  se distribuye ji-cuadrado con  $p$  grados de libertad, a un nivel de significancia  $\alpha$  se rechaza la hipótesis nula si y sólo  $\Pr(\chi^2 \geq \chi_0^2) < 1 - \alpha$ . La expresión (11) es una medida de discrepancia entre los valores observados y los ajustados por el modelo. Gráficamente puede examinarse el ajuste global mediante un plano que relacione los valores predichos con los observados, o si no mediante los residuales de Pearson que, bajo la hipótesis de que el modelo es el correcto, tienen una variabilidad mucho menor a la de una normal estándar. El residual de Pearson se define así:

$$(18) e_i = \frac{y_i - \mu_i^*}{\sqrt{\mu_i^*}} \text{ donde } \mu_i^* \text{ son los valores ajustados por el modelo.}$$

Los puntos influyentes gráficamente se detectan relacionando los valores ajustados por el modelo y los residuos, los puntos que se alejen del conjunto de datos son candidatos a observaciones influyentes.

El contraste de Pearson está basado en la expresión (12) y sirve también para juzgar si el modelo es globalmente significativo, este test se define así:

$$(19) \chi_{Pearson}^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 \sim \chi_{(n-p)}^2$$

Bajo  $H_0$  se distribuye ji-cuadrado con  $n - p$  grados de libertad, a un nivel de significancia  $\alpha$  se rechaza la hipótesis nula si y sólo  $\Pr(\chi_{Pearson}^2 \geq \chi_0^2) < 1 - \alpha$ .

La *multicolinealidad* se verifica de la misma manera como se hace en la regresión lineal. Como se mencionó arriba no es preciso examinar homocedasticidad, pero si que

la varianza de la variable respuesta sea muy semejante a su media. En los casos en que sea mayor o menor se habla de *sobredispersión*<sup>7</sup> y *subdispersión* respectivamente, y es preciso introducir una corrección a los errores estándar de los coeficientes o si no estimar una *regresión binomial negativa* (Agresti 1996, 93). La corrección que propone Agresti supone que la varianza es proporcional a la media, si esto es así y el modelo Poisson es el más adecuado para los datos, entonces la razón entre el valor del estadístico de prueba de Pearson y sus grados de libertad es un estimador de dicha constante de proporcionalidad.

Para hacer las pruebas de significancia individual ya no se considera el error estándar del modelo original sino aquel que está corregido por el factor de escala que produce la sobredispersión:

$$(20) \quad EE_c(\beta_k^*) = EE(\beta_k^*) * \sqrt{\frac{\chi_{Pearson}^2}{n-p}}$$

La estimación de la constante de proporcionalidad entre la varianza y la media es de 3,31 (la varianza es 3,31 veces la media) se obtiene mediante la razón  $\frac{\chi_{Pearson}^2}{n-p}$ . Los coeficientes individualmente son examinados mediante el estadístico de Wald que incorpora el factor de corrección por sobredispersión, este valor se obtiene de la raíz cuadrada de la constante de proporcionalidad estimada.

(21)  $\exp[\beta_k^* \mp z_{1-\alpha/2} EE(\beta_k^*)]$  donde  $z_{1-\alpha/2}$  es el percentil de una distribución normal estándar a un nivel de significancia  $\alpha$  y  $EE(\beta_k^*)$  es el error estándar del coeficiente estimado.

Una variable explicativa es estadísticamente significativa si se logra rechazar la hipótesis nula  $H_0 : \beta = \mathbf{0}$ . La hipótesis se evalúa a través del estadístico de Wald que se define por  $(\beta_k^* / EE(\beta_k^*))^2$  y que bajo  $H_0$  se distribuye ji-cuadrado con un grado de libertad. A veces se usa el estadístico  $\beta_k^* / EE(\beta_k^*)$  que se distribuye  $N(\mathbf{0},1)$  si la hipótesis nula es cierta.

La significancia global del modelo se examina por medio de la *razón de verosimilitudes* ji-cuadrado entre un modelo nulo (que no incluye ninguna variable explicativa) y uno completo (que incluye las  $p$  covariables). La hipótesis nula es  $H_0 : \beta_1 = \dots = \beta_p = \mathbf{0}$  y el estadístico de prueba es:

---

<sup>7</sup> Gurmú (1991) ofrece un contraste para verificar la existencia de sobredispersión.

$$(22) \chi_0^2 = -2 \ln \left[ \frac{L_0}{L_p} \right] \sim \chi_{(p)}^2$$

La razón de verosimilitud bajo  $H_0$  se distribuye ji-cuadrado con  $p$  grados de libertad, a un nivel de significancia  $\alpha$  se rechaza la hipótesis nula si y sólo  $\Pr(\chi^2 \geq \chi_0^2) < 1 - \alpha$ . La expresión (11) es una medida de discrepancia entre los valores observados y los ajustados por el modelo. Gráficamente puede examinarse el ajuste global mediante un plano que relacione los valores predichos con los observados, o si no mediante los residuales de Pearson que, bajo la hipótesis de que el modelo es el correcto, tienen una variabilidad mucho menor a la de una normal estándar. El residual de Pearson se define así:

$$(23) e_i = \frac{y_i - \mu_i^*}{\sqrt{\mu_i^*}} \text{ donde } \mu_i^* \text{ son los valores ajustados por el modelo.}$$

Los puntos influyentes gráficamente se detectan relacionando los valores ajustados por el modelo y los residuos, los puntos que se alejen del conjunto de datos son candidatos a observaciones influyentes.

El contraste de Pearson está basado en la expresión (23) y sirve también para juzgar si el modelo es globalmente significativo, este test se define así:

$$(24) \chi_{Pearson}^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 \sim \chi_{(n-p)}^2$$

Bajo  $H_0$  se distribuye ji-cuadrado con  $n - p$  grados de libertad, a un nivel de significancia  $\alpha$  se rechaza la hipótesis nula si y sólo  $\Pr(\chi_{Pearson}^2 \geq \chi_0^2) < 1 - \alpha$ .

## ANEXO 6. Regresión Binomial Negativa

La función de distribución de probabilidad de una variable aleatoria  $Y$  que se comporta como una binomial negativa es:

$$(25) f(y) = \begin{cases} \frac{\Gamma(y + \nu)}{\Gamma(\nu)\Gamma(y + 1)} p^\nu (1 - p)^y & \text{si } y = 0, 1, 2, \dots \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Donde  $\nu = 1, 2, \dots$  (el inverso de  $\nu$  se conoce como *parámetro de sobredispersión* y da cuenta de la proporcionalidad entre la varianza y la media)<sup>8</sup>.  $\lambda > 0$  (el parámetro lambda tiene la misma interpretación que en la distribución Poisson como la *tasa promedio de ocurrencia*),  $p = \left(\frac{\nu}{\nu + \lambda}\right)$  y  $\Gamma(\cdot)$  es la *función gamma* que se define con o:

$$\Gamma(t) = \int_0^{\infty} x^{t-1} e^{-x} dx \quad \forall t > 0$$

El valor esperado y la varianza de  $Y$  que sigue la distribución (1) son respectivamente:

$$(26) E[Y] = \lambda \quad \&$$

$$(27) Var[Y] = \lambda + \frac{\lambda^2}{\nu}$$

Se comprueba fácilmente que  $Var[Y] > E[Y]$ , esta propiedad es la que permite modelar variables aleatorias de conteo donde se presenta el fenómeno de sobredispersión.

Se asume que el valor esperado es una función de unas variables independientes:

$$(28) E[Y_i | x_1, \dots, x_p] = \lambda_i = \exp\left(\beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_{ik} x_{ik}\right)$$

Pero la varianza ahora es:

$$(29) Var[Y_i | x_1, \dots, x_p] = \exp\left(\beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_{ik} x_{ik}\right) \left[ 1 + \frac{\exp\left(\beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_{ik} x_{ik}\right)}{\nu} \right]$$

La estimación de los coeficientes también se hace por máxima verosimilitud, suponiendo independencia entre observaciones, esta se expresa como:

$$(30) L(\beta_1, \dots, \beta_p | x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_n) = \prod_{i=1}^n \left( \frac{\Gamma(y_i + \nu)}{\Gamma(\nu)\Gamma(y_i + 1)} p^\nu (1-p)^{y_i} \right)$$

## ANEXO 7. MATRIZ VIF (Variance Inflation Factor)

Inversa de la matriz de correlaciones

	HECTÁREAS DE TIERRA QUE HABITA	ÍNDICE DE DISPONIBILIDAD DE AGUA	VECES QUE NO CONTRIBUYE EL USUARIO	AÑOS QUE HA HABITADO EN LA CUENCA	VECES QUE NO CONSERVA EL GANADERO
HECTÁREAS DE TIERRA QUE HABITA	1.02				
ÍNDICE DE DISPONIBILIDAD DE AGUA	0.00	1.01			
VECES QUE NO CONTRIBUYE EL USUARIO	-0.05	-0.04	2.55		
AÑOS QUE HA HABITADO EN LA CUENCA	0.07	-0.04	-0.06	1.02	
VECES QUE NO CONSERVA EL GANADERO	0.07	0.08	-0.53	0.04	1.35

<sup>8</sup> Si  $\nu^{-1} \rightarrow \infty$ , la variable  $Y$  tiende en probabilidad a una distribución Poisson.