

Tarea 3

Carolina Concha Ramírez

1. Formulación de hipótesis

En Chile, los derechos de aprovechamiento de agua constituyen el mecanismo legal de administrar y racionalizar el uso del recurso hídrico, específicamente corresponden a la otorgación sobre el uso y goce temporal de las aguas a algún titular, quien podrá usar, gozar y disponer de estas, estando establecido específicamente el caudal solicitado y la cuenca y subcuenca hidrográfica asociada (Código de Aguas, 1981).

Estos derechos pueden ser solicitados por distintos tipos de actores, siendo los principales solicitantes entidades jurídicas y personas naturales y, en menor medida, comunidades y agrupaciones sociales. Cada uno de estos actores va a diferir sustancialmente en las motivaciones para acceder a los derechos, en las escalas y tipo de uso. Las personas naturales suelen acceder a derechos de menor caudal, utilizados principalmente para uso personal o riego agrícola. Por otro lado, las entidades jurídicas, generalmente empresas, concentrarán derechos de mayor caudal, utilizando principalmente dentro de sus procesos productivos, para saneamiento o riego a gran escala.

Estas diferencias se verán representadas principalmente por una mayor variabilidad en el uso de cuencas. En el caso de los derechos otorgados a entidades jurídicas, tenderán a concentrarse en un número limitado de cuencas estratégicas que cuenten con mayor caudal, mientras que, para los derechos otorgados a personas naturales, esta concentración es menor relevante, presentando una mayor dispersión y diversidad en las cuencas asociadas a sus derechos.

En el actual escenario de escasez hídrica y reformas al Código de Aguas, orientadas a priorizar el consumo humano y la gestión sustentable, resulta fundamental comprender las distintas dinámicas observadas en la gestión del recurso hídrico para los diferentes actores involucrados, permitiendo identificar desigualdades en la asignación de derechos, hacer más eficiente el proceso de fiscalización y orientar las reformas hacia un uso más equitativo. Bajo esta perspectiva, se propone un análisis de redes diferenciado para ambos tipos de solicitantes, donde se espera que cada subred presente propiedades estructurales diferenciadas, reflejando tanto las escalas de consumo como las estrategias de acceso.

Frente a eso, se propone como hipótesis que la subred de personas naturales y la subred de entidades jurídicas presenten propiedades estructurales distintas, dado principalmente porque las personas naturales tienden a poseer derechos más dispersos y de menor volumen, mientras que las entidades jurídicas acumulan múltiples derechos y participan en intercambios estratégicos de estos. En términos de propiedades de red, esto sugiere diferencias en la distribución de grados de ambas redes, clusterización y número de triadas, siendo estos dos últimos mayores para el caso de la subred de personas naturales, en comparación a la subred de entidades jurídicas.

2. Diseño metodológico del testeo

El procedimiento consistió en tres pasos principales: (i) la separación de la red original en dos subredes; (ii) la estimación de métricas estructurales y distribución de grado para cada subred, y (iii) la comparación de estas métricas con aquellas obtenidas a partir de redes aleatorias generadas mediante modelos nulos.

La separación de la red se realizó según el tipo de solicitante (personas naturales y entidades jurídicas) con el fin de comprobar la hipótesis planteada. La estimación de métricas se utilizó para evaluar sus principales diferencias estructurales. La comparación con modelos nulos consideró específicamente redes aleatorias (Erdos-Renyi) y libres de escala (Barabasi-Albert). En cada caso la metodología utilizada fue de bootstrapping, realizando un total de 500 redes simuladas, con el fin de evaluar si los resultados obtenidos para las redes observadas se encuentran dentro de los intervalos obtenidos para estas.

3. Resultados del análisis

Las métricas calculadas para cada subred se muestran en la tabla I. La figura 1 y figura 2 muestran la comparación de la distribución de grados para ambos tipos de subredes.

Tabla I. Métricas por subred

	<i>Subred entidades Jurídicas</i>	<i>Subred Personas Naturales</i>
<i>Nodos</i>	3 176	6 973
<i>Aristas</i>	380 572	1 251 936
<i>Diámetro</i>	122	41
<i>Densidad</i>	0.0755	0.0515
<i>Clusterización media</i>	0.8424	0.8802
<i>Clusterización global</i>	0.6736	0.4432
<i>Asortatividad</i>	0.2075	-0.2758

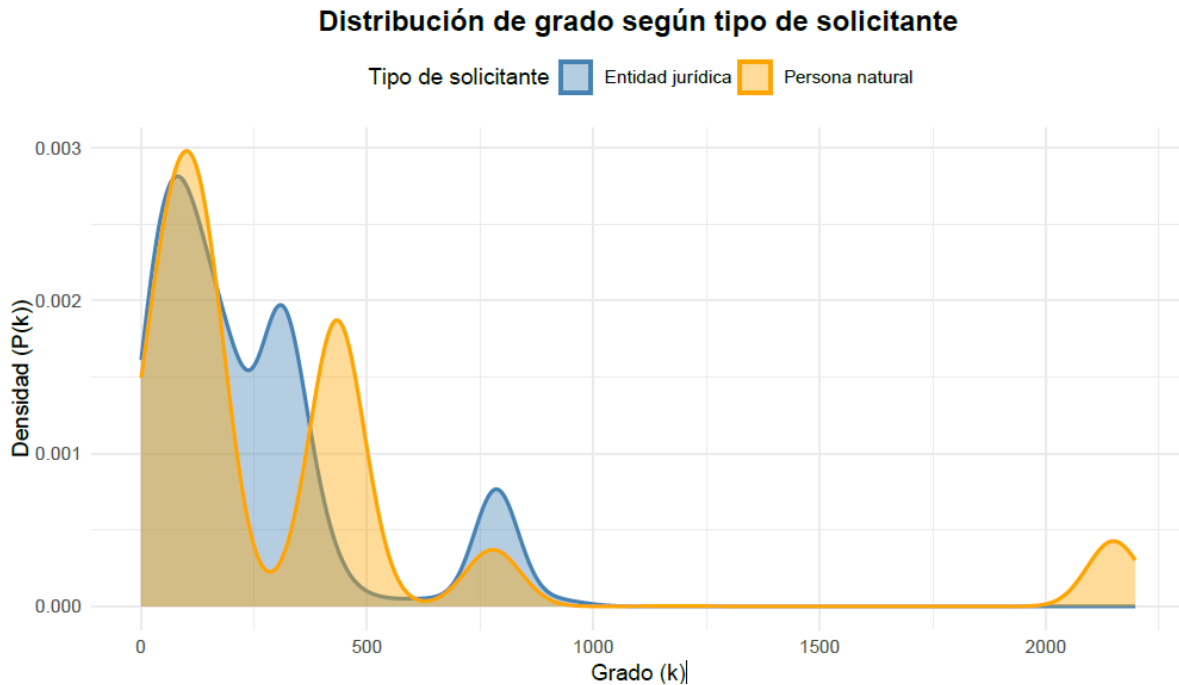


Fig. 1 Distribución de grado según tipo de solicitante

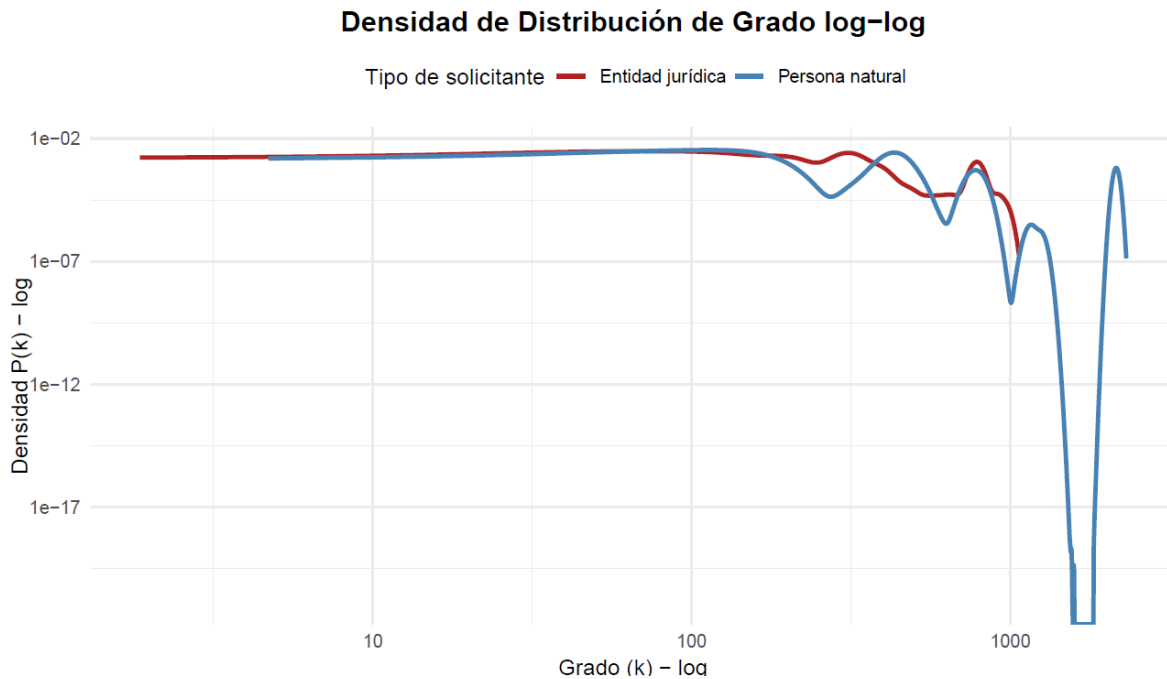


Fig. 2 Distribución de grado según tipo de solicitante escala log-log

A partir de las métricas se observa que la subred de personas naturales presenta un mayor número tanto de nodos como de aristas, lo que indica que la mayor parte de los solicitantes corresponde a este grupo, siendo más que el doble de actores en comparación a entidades jurídicas. Si bien, el número de aristas es aproximadamente el

triple en el caso de personas naturales, la densidad presentada para la red de entidades jurídicas es mayor, por lo que, considerando el número total de enlaces posibles, esta presentaría una mayor cohesión (7,6%).

Por otro lado, el valor del diámetro es cuatro veces mayor en el caso de la subred de entidades jurídicas, donde, dado el valor de la densidad, podría indicar una alta presencia de nodos periféricos con conectividad muy baja, los que requieren un gran número de intermediarios para conectarse con otros nodos, y nodos centrales altamente conectados entre sí. Esta estructura estaría de forma más marcada que en el caso de la subred de personas naturales.

En ambos casos se muestra una alta clusterización media, lo que evidencia la formación de grupos densamente conectados. Sin embargo, el valor de clusterización global disminuye en ambos casos, lo que indica que esta conexión no integra a toda la red. Esto hace sentido considerando la naturaleza de los datos, donde probablemente se formen clusters por las distintas zonas geográficas donde se encuentran las cuencas, siendo más difícil que se conecten solicitantes de cuencas más alejadas.

La mayor diferencia entre ambas subredes se presenta para el caso de asortatividad, donde para el caso de la subred de entidades jurídicas se presentan una asortatividad positiva (0.2075), mientras que en el caso de la subred de personas naturales se presenta una asortatividad negativa (-0.2756). Es decir, en el primer caso (subred de entidades jurídicas) se presentaría homofilia dentro de la red, donde nodos más similares tienden a unirse entre sí, esto puede interpretarse como una concentración de interacciones entre organizaciones con características similares, las que estarían operando dentro de las mismas cuencas, las que probablemente presenten un alto caudal y sean consideradas estratégicas operacionalmente. Por otro lado, en el caso de la subred de personas naturales, se van a tender a presentar estructuras tipo “hubs”, donde nodos altamente conectados van a concentrar muchas conexiones con nodos menos conectados, esto podría indicar la presencia de ciertas personas con una gran concentración de derechos, las que presentarían una importancia dentro de la red.

Esto se complementa con la distribución de grado observada, donde, para el caso de la subred de personas naturales es posible observar un grupo de individuos que destacan por presentar un nivel de grado elevado (sobre 2000), lo que no se presenta para el caso de la subred de entidades jurídicas, donde se observa una mayor concentración de densidad para grados menores.

Al comparar los resultados de las subredes con los obtenidos para los modelos nulos (tabla II) se puede observar que los valores de densidad de las redes empíricas son consistentes con los rangos obtenidos en ambos modelos, indicando consistencia y una comparación controlada, donde las principales diferencias con los modelos se darían en la distribución de los enlaces y no en el número de estos.

Por otro lado, los valores de clusterización para ambos tipos de subred se ubican por sobre los obtenidos para ambos tipos de modelos nulos, lo que indica que la formación de clusters presente no se puede atribuir a procesos aleatorios ni a mecanismos de

preferential attachment, sino que estarían respondiendo a otros factores propios de la naturaleza de los datos, probablemente asociados tanto a la geográfica de las cuencas como a su valor estratégico, sobre todo para el caso de entidades jurídicas.

	<i>Entidad Jurídicas</i>			<i>Personas Naturales</i>		
	Obs	R-E	B-A	Obs	R-E	B-A
<i>Densidad</i>	0.0755	0.0755 [0.0752 – 0.0757]	0.0742 [0.0742 – 0.0742]	0.0515	0.0515 [0.0514 – 0.0516]	0.0510 [0.051 – 0.051]
<i>Clusterización global</i>	0.6736	0.0755 [0.0752 – 0.0757]	0.1655 [0.1651 – 0.1659]	0.4432	0.0515 [0.0514 – 0.0516]	0.128 [0.127 – 0.128]

Si analizamos la distribución de grado de ambos casos (figura 3 y figura 4), las dos redes presentan una mayor similitud con el modelo de Barabasi-Albert en comparación al modelo Erdos-Renyi, siendo esto más marcado para el caso de la subred de entidades jurídicas, lo que podría indicar mecanismos de formación más cercanos a *preferential attachment* en comparación al caso de la subred de personas jurídicas. Sin embargo, en ambos casos la distribución observada no se ajusta completamente a ninguno de los modelos, lo que indica que los procesos generadores de ambas redes serían más complejos, lo que no se pueden explicar óptimamente por ninguno de los dos modelos nulos analizados.

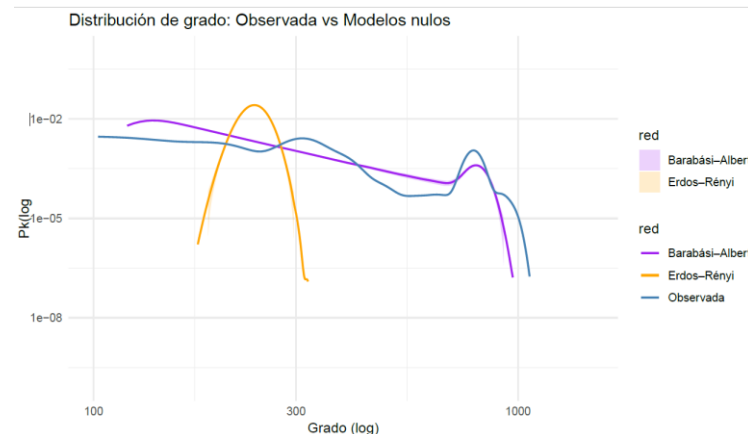
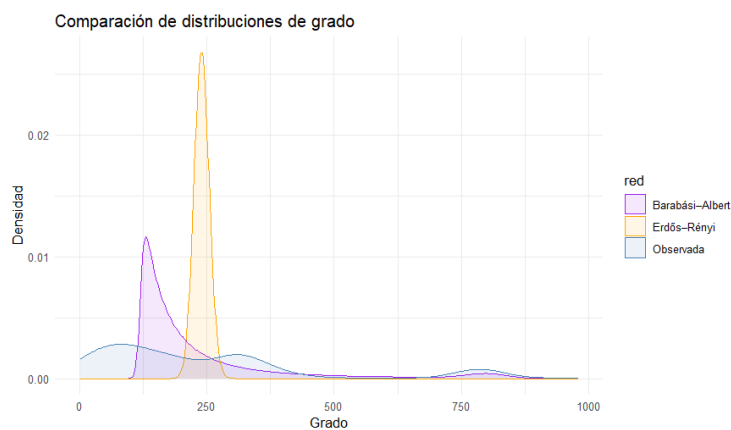


Fig.3 Comparación distribución de grados con modelos nulos – subred entidades jurídicas

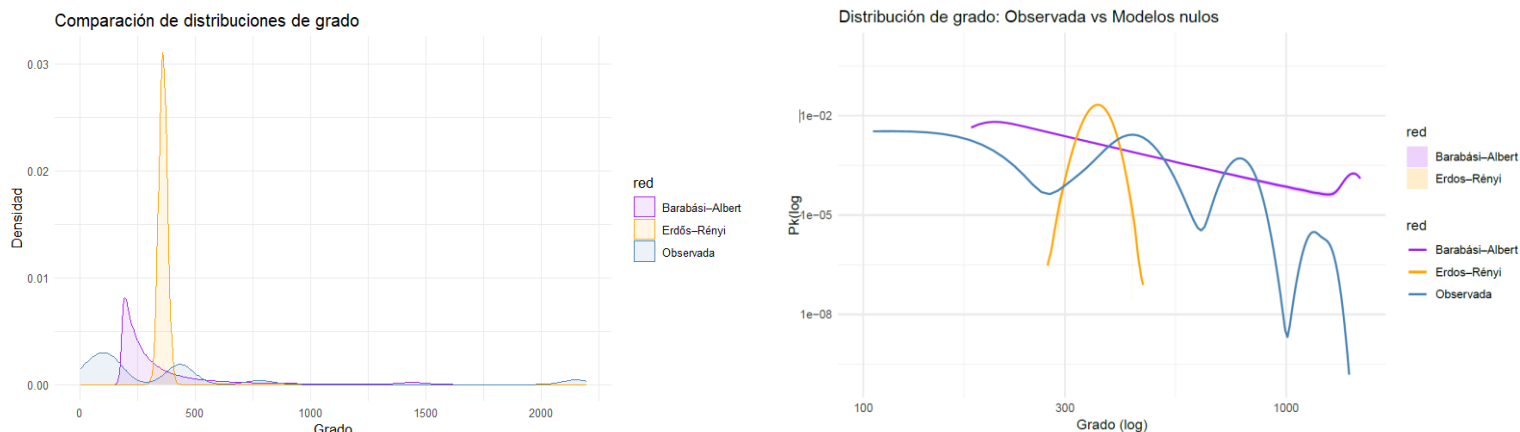


Fig.4 Comparación distribución de grados con modelos nulos – subred personas naturales

Finalmente, analizando los resultados de censo triádico (figura 5 y 6) se puede observar que, en ambos casos el valor de nodos p3 fue mayor en comparación a los modelos nulos, indicando en ambos casos una alta clusterización que no se explica a partir de estos. Por otro lado, para los nodos p2, el número de estos fue menor en comparación a los modelos nulos para la subred de entidades jurídicas, mientras que fue mayor a estos para el caso de la subred de personas naturales.

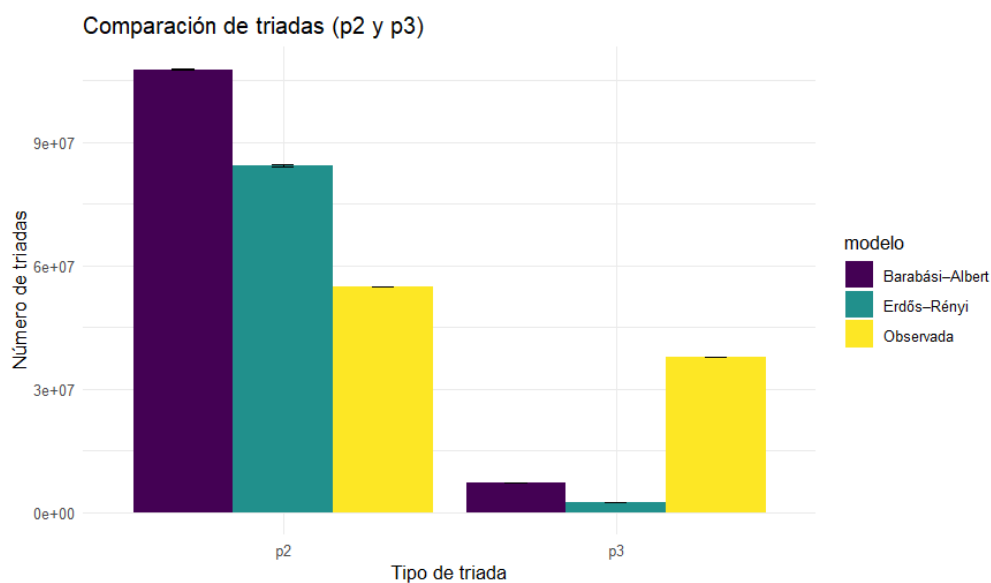


Fig. 5 Censo triádico – subred entidades jurídicas

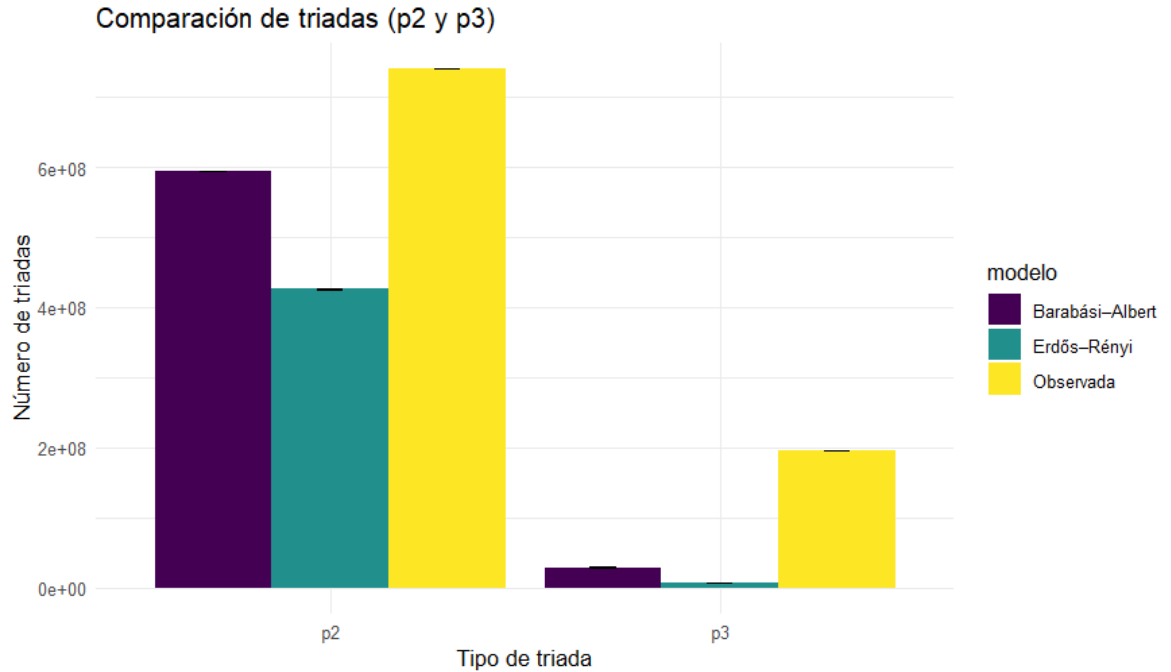


Fig. 5 Censo triádico – subred personas naturales

Con el fin de poder comparar los resultados obtenidos para ambas subredes se obtuvo las proporciones de nodos p2 y p3 en cada caso (tabla III). Se puede observar que ambas proporciones son mayores para la subred de personas naturales, lo que indicaría que esta muestra una mayor generación de triadas en comparación a la subred de entidades jurídicas, reflejando una mayor tendencia a formar grupos cerrados y relaciones recíprocas, probablemente impulsadas y con un mayor predominio de dinámicas comunitarias o familiares, mientras que en el otro caso, dichas relaciones estarían más orientadas a un control estratégico sobre la cuenca, lo que se traduce en una menor formación de triadas y, por ende, menor cohesión de grupos cerrados.

Tabla III Comparación proporciones nodos p2 y p3.

	Subred entidades jurídicas	Subred personas naturales
Proporción nodos p2	17 310	106 229
Proporción nodos p3	11 908	28 179

Los resultados obtenidos muestran diferencias claras entre las subredes de personas naturales y entidades jurídicas, particularmente en la distribución de grados, la asortatividad y la densidad de triadas. Estas diferencias confirman la hipótesis planteada de que ambos tipos de actores responden a procesos estructurales distintos en la asignación y acumulación de derechos de agua. En la práctica, esta información es relevante para la gestión de los recursos hídricos, ya que permite identificar actores centrales y clusters densos que pueden concentrar el control del recurso, anticipar posibles riesgos de escasez o conflicto, y diseñar políticas diferenciadas según el tipo de

actor. Asimismo, conocer estas estructuras facilita la planificación de intervenciones estratégicas y la implementación de mecanismos de cooperación más eficientes, contribuyendo a un manejo más equitativo y sostenible del agua en el país.

Finalmente, es importante considerar las limitaciones presentes dentro del análisis, principalmente el hecho de que los datos obtenidos no logran reflejar la dinámica temporal de la red, sino que el estado actual de esta, el que se puede ver modificado por diversos factores y variar considerablemente de un año a otro. Por otro lado, dada la división de los datos por tipos de solicitantes en dos categorías, no se considera una evaluación del 100% de los actores involucrados, donde algunos de estos no encajaban claramente en ninguna de las dos categorías de análisis, por lo que quedaron excluidos. En tercer lugar, en la comparación con modelos nulos solo fueron considerados redes aleatorias y libres de escala, dejando fuera ciertos modelos, como el de mundos pequeños, con lo que se podría realizar un análisis más exhaustivo de la estructura de la red. Por último, considerar que en este caso particular fueron excluidas ciertas variables contextuales adicionales, como volumen de los derechos, localización geográfica o características de las cuencas, lo que podría influir considerablemente en la interpretación de los resultados.