



XX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Construindo uma Engenharia Decolonial para a Soberania Digital e Popular
29 a 31 de outubro de 2025
Campinas - SP, Brasil

Implementación de um sistema de gestión hídrica territorial como tecnologia social para la resiliência hídrica em la región interior de valparaíso

Sebastean Alejandro Cáceres Guajardo, Universidad de Playa ancha, Chile.

sebasteancg@gmail.com

RELATO DE EXPERIÊNCIA TÉCNICA

EIXO TEMÁTICO: Gestión de recursos hídricos y tecnologías sociales

RESUMO

La región de Valparaíso, Chile, enfrenta una crítica escasez hídrica, agravada por el cambio climático y um modelo de gestión centralizado. Los servicios Sanitarios Rurales (SSR), como el SSR piloto Los Aromos – El Durazno, operan com capacidades limitadas y dependência crítica del Embalse Los Aromos. Este relato presenta la implementación de um Sistema de Gestión hídrica Territorial (SGHT) em dicho SSR, bajo el enfoque de la Economía Social y Solidaria (ESS). El SGHT, co- creado com la comunidad, integra: 1) Um módulo de simulación hídrica (Python) com balance S_{t+1} y método Newton – Raphson para optimizar la asignación $Q_{t\ out}$; 2) Algoritmos de optimización para distribución equitativa; y 3) Uma interfaz comunitária (semáforo hídrico). Los resultados evidencian mayor eficiencia y fortalecimiento. Las simulaciones muestran cobertura del 74% ($94.3m^3/día$) em “verano seco”, assegurando el mínimo vital; pero revelan inviabilidad em “sequía extrema”, donde la asignación ($47.8m^3/día$) cae bajo el mínimo vital ($77m^3/día$), requiriendo medidas extremas.

PALAVRAS-CHAVE: Gestión hídrica. Tecnologia social. Resiliencia. Servicios Sanitarios rurales. Valparaíso.



XX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Construindo uma Engenharia Decolonial para a Soberania Digital e Popular
29 a 31 de outubro de 2025
Campinas - SP, Brasil

CONTEXTO

Em Chile, la región interior de Valparaíso (comunas como Quillota, Petorca, Nogales) se ha visto gravemente afectada por uma sequía prolongada que supera uma década. Esta crisis hídrica obedece tanto a factores climáticos como a um marco legal que, hasta su reforma em 2022, privilegiaba el mercado por sobre la gestión comunitária del agua.

Los Servicios sanitários Rurales (SSR), antes Agua Potable Rural (APR), abastecen a más de 2 millones de personas em Chile, operando com capacidades técnicas y financeiras limitadas. El território piloto de este relato, el SSR Los Aromos – El Durazno, depende criticamente del Embalse los Aromos. Sus vulnerabilidades incluyen: escassa infraestructura de monitoreo real, gobernanza centralizada em directivas com sobrecarga y conflictos latentes entre usos productivos (agrícola) y consumo humano.

Frente a este escenario, surge la necesidad de herramientas tecnológicas sociales que fortalezcan la autonomia comunitária. El SGHT se plantea como uma respuesta desde la ESS, articulando com saberes comunitários (gestión participativa) para avazar hacia la soberania hídrica.

OBJETIVO

Presentar el desarrollo de uma herramienta tecnológica social (SGHT) orientada a la soberania hídrica em comunidades rurales, articulando saberes técnicos (ingeniería) y comunitários (SSR)

DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

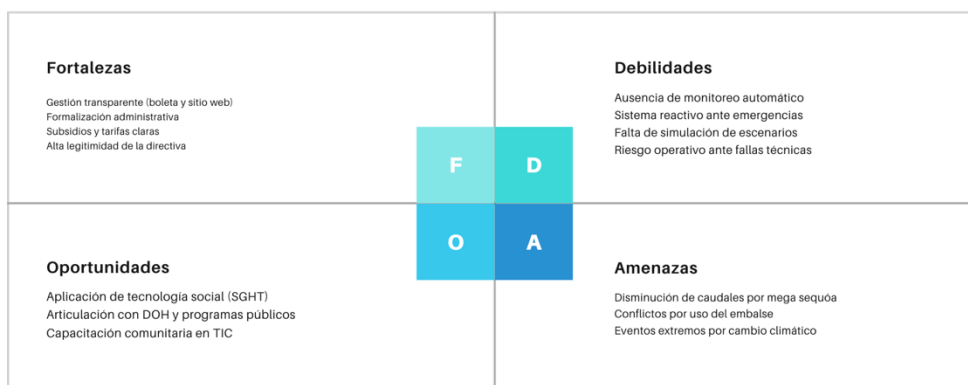
La implementación del SGHT em el SSR Los Aromos – El Durazno se organizo em três fases:

1. **Diagnóstico:** Mediante revisión documental, entrevistas y mapeo participativo, se identificaron vulnerabilidades. La matriz FODA (Tabla 1) destaco como debilidades la ausência de monitoreo automatizado y la falta de simulación de escenarios.

Tabla 1. Matriz FODA del SSR piloto



XX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
 Construindo uma Engenharia Decolonial para a Soberania Digital e Popular
29 a 31 de outubro de 2025
Campinas - SP, Brasil



Fuente: Elaboración propia a partir del diagnóstico SSR Los Aromos – El Durazno (2025)

2. **Diseño del SGHT:** Se co-diseño el sistema (ver esquema conceptual em Figura 5), que integra três módulos principales:

- a. **Módulo de simulación hídrica:** Utiliza um balance hídrico que incorpora almacenamiento (S_t), precipitación (P_t), afluência ($Q_{t\ in}$), Evaporación (ET_t), percolación ($Perc_t$), pérdidas ($Losses_t$) y la descarga programada ($Q_{t\ out}$).

$$S_{t+1} = S_t + P_t + Q_{t\ in} - ET_t - Perc_t - Q_{t\ out} - Losses_t \quad (1)$$

La afluência $Q_{t\ in}$ se estimo com um modelo no lineal calibrado com Newton – Raphson, dado que ET y Perc dependen de S_{t+1} haciendo la ecuación implícita.

La programación se implemento em Python. El objetivo es assegurar um mínimo vital (50 – 60 L/persona/día) y um nível de seguridad (S_{min}).

- b. **Módulo de optimización operativa:** Distribuye el caudal disponible ($Q_{t\ out}$) de manera equitativa entre los distintos sectores de la comunidad, usando algoritmos em Python. La Tabla 2 muestra um ejemplo de asignación, assegurando el mínimo vital y distrinuyendo el excedente.

Tabla 2. Asignación de caudal por sector em escenario de verano seco.

Sector	Personas	Mínimo vital (m³)	Excedente (m³)	Total asignado (m³)
A	375	18,75	12,3	31,05



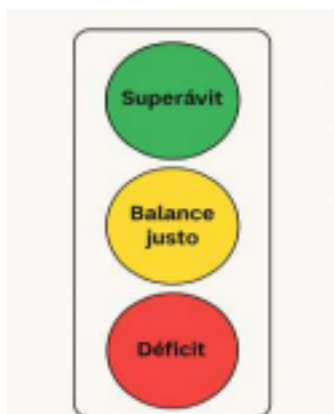
XX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Construindo uma Engenharia Decolonial para a Soberania Digital e Popular
29 a 31 de outubro de 2025
Campinas - SP, Brasil

B	400	20,00	13,1	33,10
C	425	21,25	13,9	35,15
D	340	17,00	11,2	28,20
Total	1540	77,00	50,5	127,5

Fuente: Elaboración propia mediante modelo de optimización (2025)

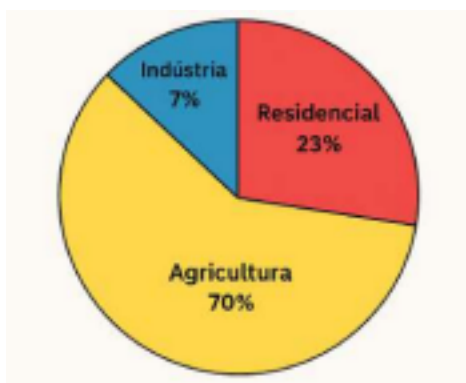
- c. **Módulo de interfaz comunitária:** Uma aplicação sencilla de uso comunitário. Muestra indicadores visuales como el “semáforo hídrico” (Figura 3) y gráficos de consumo (Figura 4), permitiendo a la comunidade entender la toma de decisiones.

Figura 3. Semáforo hídrico del SGHT



Fuente: Elaboración propia para panel de SGHT.

Figura 4. Consumo de agua por sector





XX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Construindo uma Engenharia Decolonial para a Soberania Digital e Popular
29 a 31 de outubro de 2025
Campinas - SP, Brasil

Fuente: Elaboración propia com datos del comitê APR Los Aromos – El durazno (2025)

Figura 5. Esquema conceptual del SGHT.



Fuente: Elaboración propia (2025)

RESULTADOS

La simulación del SGHT se probó bajo três escenarios (Normal, Verano seco, Sequía extrema), definidos por distintos parâmetros de precipitación (P), Afluencia (Qin) y pérdidas (Losses).

Em el escenario normal, el sistema cubre el 100% de la demanda y el almacenamiento crece sostenidamente (Tabla 3).



XX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Construindo uma Engenharia Decolonial para a Soberania Digital e Popular
29 a 31 de outubro de 2025
Campinas - SP, Brasil

Tabla 3. Evolución del almacenamiento em escenario Normal (10 días)

Día	St (m3)	ET(St)	Perc (St)	Agua neta (m3) (At)	Qout (m3)
0	200	40	8	193,7	127,5
1	266,2	43,3	9	189,4	127,5
2	328,1	46,4	9,9	185,4	127,5
3	386	49,3	10,8	181,6	127,5
4	440,1	52	11,6	178,1	127,5
5	490,7	54,5	12,4	174,8	127,5
6	538	56,9	13,1	171,7	127,5
7	582,2	59,1	13,7	168,5	127,5
8	623,2	61,2	14,3	165,2	127,5
9	660,9	63	14,9	162,5	127,5

Fuente: Elaboración propia.

Em el Escenario Verano Seco, el almacenamiento disminuye hasta estabilizarse em el nivel mínimo de seguridad ($S_{min} = 50m^3$). El sistema permite entregar $94m^3/dia$, cubriendo el 74% de la demanda y garantizando el mínimo vital (Tabla 5).

Tabla 5. Evolución del almacenamiento em escenario de Verano seco (10 días).

Día	St (m3)	ET(St)	Perc (St)	Agua neta (m3) (At)	Qout (m3)
0	200	40	8	84,5	127,5
1	157	37,9	7,4	87,3	127,5
2	116,8	35,8	6,8	90,9	127,5
3	80,2	34	6,2	92,3	127,5
4	50	32,5	5,8	94,3	94,3
5	50	32,5	5,8	94,3	94,3
6	50	32,5	5,8	94,3	94,3
7	50	32,5	5,8	94,3	94,3



XX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Construindo uma Engenharia Decolonial para a Soberania Digital e Popular
29 a 31 de outubro de 2025
Campinas - SP, Brasil

8	50	32,5	5,8	94,3	94,3
9	50	32,5	5,8	94,3	94,3

Fuente: Elaboración propia.

Em el Escenario de Sequía extrema, el sistema colapsa rapidamente al nível mínimo S_{min} (Tabla 6). La descarga máxima em equilíbrio es de $47.8m^3/dia$, valor inferior al mínimo vital requerido ($77m^3/dia$). Se concluye que em este escenario el sistema es inviable sin medidas adicionales externas (ej. Reducción de perdidas, transporte externo).

Tabla 6. Evolución del almacenamiento em escenario sequía extrema (10 días).

Día	St (m3)	ET(St)	Perc (St)	Agua neta (m3) (At)	Qout (m3)
0	200	40	8	38	127,5
1	110,5	35,5	6,7	43,8	104,3
2	50	32,5	5,8	47,8	47,8
3	50	32,5	5,8	47,8	47,8
4	50	32,5	5,8	47,8	47,8
5	50	32,5	5,8	47,8	47,8
6	50	32,5	5,8	47,8	47,8
7	50	32,5	5,8	47,8	47,8
8	50	32,5	5,8	47,8	47,8
9	50	32,5	5,8	47,8	47,8

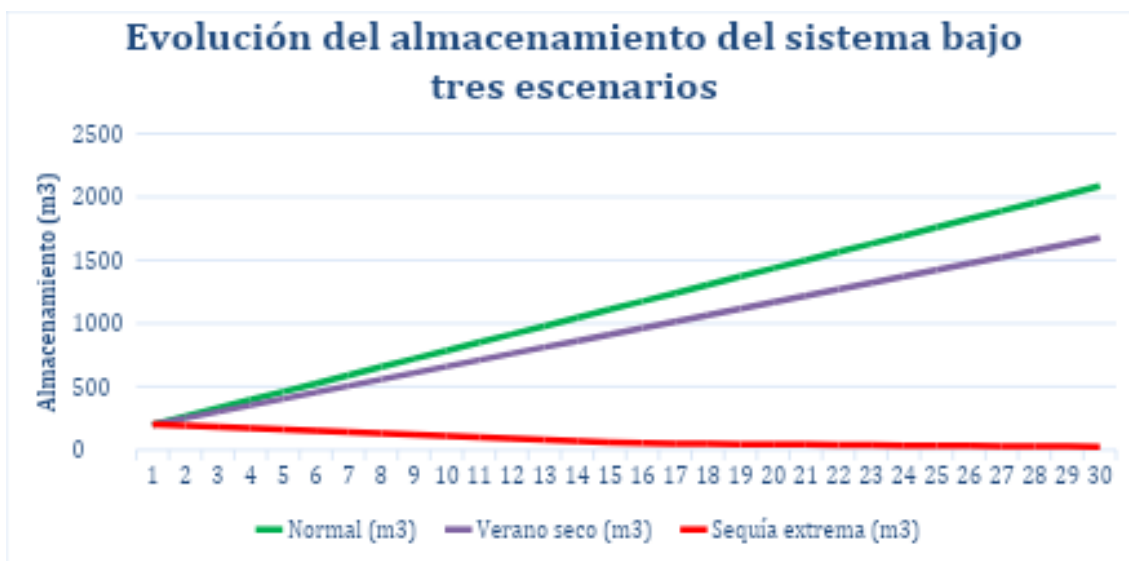
Fuente: Elaboración propia.

La figura 1 y la Figura 2 resumen visualmente la evolución del almacenamiento y la relación entre afluentes y asignaciones em los três escenarios.

Figura 1. Evolución del almacenamiento St (30 días) bajo três escenarios: Normal, Verano seco, Sequía extrema. Las curvas fueron generadas por el módulo de simulación del SGHT incorporando precipitación, afluência estimada. Evotranspiración dependiente del almacenamiento, percolación y perdidas de red.

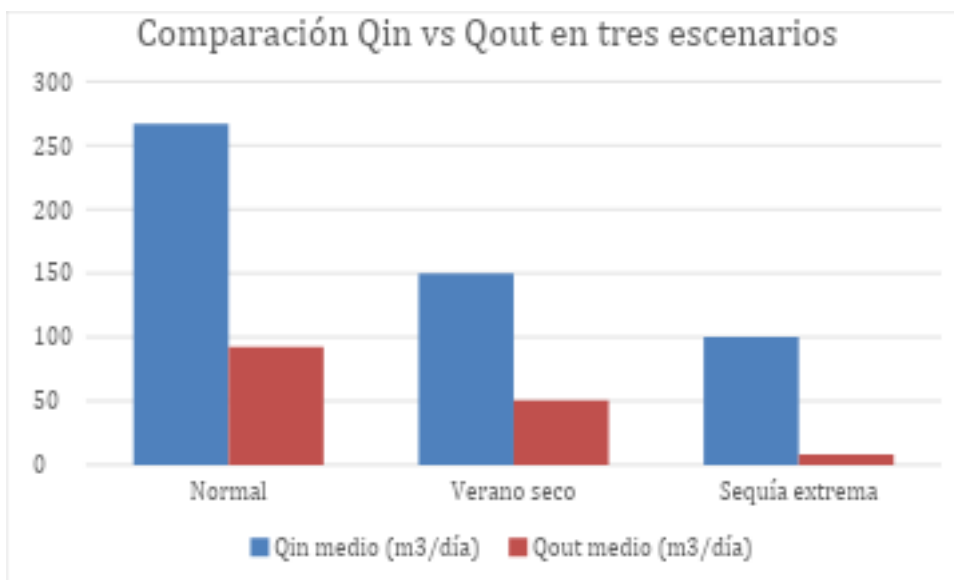


XX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Construindo uma Engenharia Decolonial para a Soberania Digital e Popular
29 a 31 de outubro de 2025
Campinas - SP, Brasil



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Comparación entre afluências medias (Q_{in}) y asignaciones medias (Q_{out}) para cada escenario.



Fuente: elaboración propia.



XX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
Construindo uma Engenharia Decolonial para a Soberania Digital e Popular
29 a 31 de outubro de 2025
Campinas - SP, Brasil

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meu mais profundo agradecimento àqueles que tornaram esta pesquisa possível. Em primeiro lugar, ao meu professor orientador, por sua confiança e por me incentivar a enfrentar este desafio; sua orientação foi fundamental.

Um agradecimento especial à comunidade do SSR Los Aromos – El Durazno. Sua sabedoria territorial e disposição para a co-criação foram a alma deste projeto; esta tese pertence tanto a eles quanto a mim.

No plano pessoal, este caminho foi de enorme exigência. Eu não teria conseguido sem o apoio incondicional do meu tio Francisco. Obrigada por sua paciência infinita, por ser um pilar fundamental neste processo e por me lembrar do meu propósito e das minhas capacidades quando o cansaço me vencia.

À minha filha Emma, minha maior inspiração e o motor da minha vida. Cada hora dedicada a este trabalho foi com a esperança de construir um futuro mais justo e resiliente para você. Sua luz me guiou nos dias mais difíceis.

Finalmente, agradeço a todos que acreditaram em mim e me incentivaram a nunca baixar os braços. Esta conquista não é apenas acadêmica, é a culminação de um esforço coletivo e pessoal. Muito obrigada.

REFERÊNCIAS

BAUER, C. J. Bringing water markets down to earth: The political economy of water rights in Chile, 1976-95. **World Development**, v. 25, n. 5, p. 639-656, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(96\)00129-3](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(96)00129-3). Acesso em: 27 jul. 2025.

CHACÓN ZENTENO, M. J. **Programa de agua potable rural: análisis de la gestión ante problemas de abastecimiento y saneamiento en Bahía Mansa, zona sur de Chile**. 2022. Tese (Magíster) – Universidad de Chile, Santiago, 2022. Disponível em: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/191478>. Acesso em: 27 jul. 2025.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). **Informe hidrometeorológico semanal: Embalse Los Aromos – 27 de junio de 2023**. [Santiago]: Ministerio de Obras Públicas, 2023. Disponível em: <https://dga.mop.gob.cl>. Acesso em: 27 jul. 2025



XX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Construindo uma Engenharia Decolonial para a Soberania Digital e Popular

29 a 31 de outubro de 2025

Campinas - SP, Brasil