

TESIS DE MAGISTER EN ARQUITECTURA

Más allá de las aulas: “La escuela como una solución a la escasez hídrica en la ruralidad mediante el diseño y la captación de aguas lluvias en Curacautín, Región de La Araucanía"

alumno: Catalina Luz González Azúa

profesor:Diego Palma

profesor tutor: Javier del Rio

mención:Diseño y construccion sustentable

16.12.2024

Universidad del Desarrollo
Universidad de Excelencia

MÁS ALLÁ DE LAS AULAS: “LA ESCUELA COMO UNA SOLUCIÓN A LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA RURALIDAD MEDIANTE EL DISEÑO Y LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CURACAUTÍN, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA"

POR: CATALINA LUZ GONZÁLEZ AZUA

Tesis presentada a la Facultad de Arquitectura y Arte de la Universidad del Desarrollo para optar al título profesional de Arquitecto con mención en Diseño Sustentable y al grado de Magister en Arquitectura con mención en Diseño y Construcción Sustentable

PROFESOR GUÍA:

Arquitecto UC, Magister Arq UC

PGC Sustainability Harvard University

Jefe Dipl Arq Sustentable UC

Diego Palma

PROFESOR TUTOR:

Arquitecto UC

Javier del rio Ojeda

ENERO 2025

CONCEPCIÓN

Universidad del Desarrollo
Universidad de Excelencia

CALIFICACIÓN FINAL (100%)

El resultado de la evaluación determina que el proyecto presentado es:

aprobado/reprobado: APROBADA

con nota (escrita): CINCO COMA SIETE

porque (tiene/no tiene): TIENE

el desarrollo integral necesario para completar la actividad de grado del Programa de Magíster en Arquitectura,

5,7

Nota final con 1 décima (aproximar)

firma

PIERO MAZZARINI

PRESIDENTE COMISIÓN

firma

M.CONSTANZA GONZÁLEZ

COMISIÓN 1

firma

ALESSANDRA SANDOLO

COMISIÓN 2

firma

DIEGO PALMA

PROFESOR GUÍA

p.p. FELIPE SEPULVEDA

INDIDICE

0. ABSTRACT 5

I. FORMULACION DE PROYECTO

1.2. Problema de investigación. 6
1.3. Preguntas de investigación. 7
1.4. Hipótesis. 7
1.5. Objetivos. 7
1.6. Metodología. 8

CAPÍTULO I: LA RURALIDAD Y EL AGUA

1.-Cambio Climático y su Impacto en la Ruralidad.

1.1.1. Efectos del cambio climático en las zonas rurales. . 10
1.1.2. Causas de la escasez hídrica en las zonas rurales.. 14
1.1.3. Regiones más afectadas por la escasez hídrica. 19
1.1.4. Situación actual del acceso al agua potable en la ruralidad. 21

CAPÍTULO II: EL ROL DE LAS ESCUELAS EN LA RURALIDAD

1.-Importancia de las Escuelas Rurales

2.1.1. Conociendo la escuela rural. 26
2.1.2. Impacto educativo y social de las escuelas rurales. 29

2.-Impacto de la escasez hídrica en las escuelas rurales

2.2.1. Situación actual sobre la escasez de agua potable en escuelas rurales. 35
2.2.3. Condiciones de los sistemas de abastecimiento hídrico en las escuelas rurales. 39

CAPITULO III: DEL PROBLEMA AL TERRITORIO.

1.-Region de la Araucanía

1.3.1. Contexto Geográfico “Entre Montañas y Ríos”. 46
1.3.2. La Araucanía como enclaves de las crisis hídricas en las comunidades rurales. 50

2.-Caso de estudio, comuna de Curacautín, escuela rural Lefuco.

2.2.1. El territorio. 53
2.2.2. La escuela. 59

CAPÍTULO IV: CAPTACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS.

1.- Captación de Aguas lluvias

4.1.1. Estrategias tradicionales, métodos y beneficios de la captación de aguas lluvias……..62
4.1.2. El agua en la arquitectura: referentes y estrategias integradas……70

2.-Reutilización de Aguas Grises

4.2.1. Definición y métodos de tratamiento de aguas grises……77
4.2.3. Beneficios y aplicaciones de la reutilización de aguas grises……..82

CAPITULO V: El PROYECTO

5.2. Estrategias proyectuales. ……..89
5.3 Estimación de captación de aguas lluvias y demandas……..96

CAPITULO VI: CONCLUSIONES……..101

BIBLIOGRAFIA

ABSTRACT

PALABRAS CLAVE: Ruralidad-Escasez de agua potable-agua-comunidad- Estrategias de diseño-Captación de aguas lluvias.

El cambio climático cada vez afecta más a la sociedad actual producto de las variaciones climáticas. Una de estas son las precipitaciones, las cuales afecta directamente a las poblaciones más vulnerables que son los sectores rurales. Esta situación compromete la calidad de vida y el bienestar de los vecinos, así como de la comunidad educativa de estas zonas, donde el 40% depende de fuentes informales de agua.

El manejo del agua potable se ve enfrentado por la escasez hídrica. Los vecinos y estudiantes son de los más afectados, presenciando el cierre de estas escuelas en zonas remotas, lo que priva a las comunidades cercanas a la educación y generando un impacto negativo en el tejido social. Las escuelas rurales son una parte esencial de estas localidades, ya que no solo proporcionan educación, sino que también actúan como centros comunitarios y puntos de encuentro para los vecinos.

Esta investigación tiene como objetivo conocer los desafíos de la ruralidad y la escasez hídrica. Entendiendo que las escuelas rurales no solo tienen un enfoque educacional, sino que también Un potencial como centros de revitalización cultural y desarrollo comunitario.

Para abordar esta problemática, se plantea el diseño de una escuela rural que no solo funcione como un espacio educativo, sino también como un nodo estratégico para la captación y distribución de aguas lluvias. Este proyecto busca garantizar el acceso a agua potable para los estudiantes y algunas familias de la localidad, mejorando su calidad de vida, reduciendo su dependencia de fuentes informales y asegurando la continuidad de la educación en un entorno seguro.

Además, se considerarán las características climáticas de la zona para implementar estrategias de diseño que no solo maximicen la eficiencia en la captación del agua, sino que también aseguren el confort térmico de los estudiantes en los espacios educativos, a través de estrategias pasivas que regulen la temperatura interior, optimicen la ventilación natural y el aprovechamiento de la luz solar.

De este modo, el proyecto no solo enfrenta la escasez hídrica, sino que también fortalece la cohesión social, beneficiando a los estudiantes y a las familias de la localidad al transformar la escuela en un punto de encuentro y colaboración comunitaria.

PROBLEMÁTICA

La carencia de acceso a agua potable en las zonas rurales en Chile representa un desafío para el desarrollo de estas comunidades, afectando no solo en el bienestar, sino también en su desarrollo económico, social y cultural. A pesar de las mejoras realizadas a través del programa de agua potable rural (APR), el 47,2% de la población rural aún depende de fuentes informales de agua, como pozos, ríos, vertientes y camiones aljibes. Esta situación no solo limita el acceso a un recurso esencial para el día a día, sino que también tiene un impacto directo en la planificación y desarrollo de infraestructuras habitacionales y comunitarias (Fundación Amulén, 2020).

El sur de nuestro país es uno de los afectados, en temas de acceso formal al agua potable, ya que existe una brecha entre ruralidad y las comunidades más vulnerables, lo que impacta directamente en la calidad de vida de los habitantes de las localidades rurales. Esta situación obliga a las comunidades a depender de fuentes informales de agua, lo que no solo compromete el acceso a un recurso esencial, sino que también repercute negativamente en las construcciones por las limitaciones del suministro de agua, resultando en soluciones improvisadas y precarias.

Además, la escasez y mala calidad del agua no solo afectan las infraestructuras de estas comunidades, sino que también tienen un impacto directo en la salud y la educación de sus habitantes. Cerca del 40% de las escuelas rurales, lo que equivale a más de 1.350 Establecimientos, dependen de fuentes informales de agua, según el Censo 2017. Este escenario repercute en el riesgo de contaminación y enfermedades transmitidas por el agua, provocando el cierre de estas o mal funcionamiento de las escuelas, privando a las comunidades de un acceso a la educación, por lo que los estudiantes se ven obligados a caminar o recorrer largas distancias hasta las ciudades más cercanas para poder continuar sus estudios.

Entendiendo que las escuelas rurales funcionan no solo como espacios educativos, sino también como centros comunitarios, su cierre tiene consecuencias significativas para el desarrollo social de la comunidad. Por ello, es fundamental considerar estas escuelas como núcleos para el desarrollo comunitario, garantizando que cuenten con acceso a fuentes mejoradas de agua que permitan su operación óptima y segura para la comunidad. Esto resalta la necesidad de desarrollar soluciones arquitectónicas que integren sistemas sostenibles de captación y gestión del agua para garantizar el funcionamiento óptimo de las escuelas y su rol en la comunidad

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo puede el diseño de una escuela rural, en contextos de escasez hídrica, integrar sistemas de captación y gestión de agua para garantizar el acceso al agua potable y promover espacios de encuentro y participación para estudiantes y vecinos?

HIPOTESIS

La implementación de estrategias de diseño en la formulación de una escuela rural, como sistemas de captación de aguas lluvias, gestión eficiente del recurso hídrico y diseño pasivo adaptado a las condiciones climáticas locales, permitirá proveer acceso formal al agua potable y mejorar el bienestar de los estudiantes y vecinos. Estas estrategias ayudarán a que la escuela se convierta en un punto clave para el desarrollo rural, integrando espacios diseñados para el encuentro y la participación comunitaria, promoviendo la identidad cultural en contextos de escasez hídrica.

OBJETIVO GENERAL

Formular una propuesta de diseño para una escuela rural que integre estrategias de captación y gestión del agua, adaptadas a las condiciones climáticas y geográficas locales, con el propósito de mitigar la escasez hídrica y contribuir al bienestar y desarrollo de las comunidades rurales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Evaluar los efectos del cambio climático en las zonas rurales y su impacto en el acceso al agua potable y la calidad de vida de las comunidades.

2. Analizar el estado actual del acceso al agua potable en las zonas rurales, identificando las principales limitaciones y desafíos en la gestión hídrica.

3. Investigar cómo las estrategias de captación de aguas lluvias y gestión eficiente del agua pueden integrarse en el diseño arquitectónico para beneficiar a las comunidades rurales.

4. Formular una propuesta para una escuela rural ubicada en la comuna de Curacautín, en la Región de La Araucanía, que aborde las problemáticas planteadas en la investigación. La propuesta integrará sistemas de captación y gestión del agua, adaptados a las condiciones climáticas y geográficas locales, e incluirá espacios diseñados específicamente para fomentar el encuentro y la participación de estudiantes y vecinos, promoviendo su bienestar y desarrollo comunitario.

METODOLOGIA

Esta investigación combina un enfoque cualitativo y cuantitativo, permitiendo un análisis integral de la problemática de la escasez hídrica en zonas rurales de Chile. Inicialmente, se desarrolla un análisis global de los efectos del cambio climático y la situación del agua potable en las comunidades rurales, para luego focalizarse en el caso específico de la comuna de Curacautín, en la Región de La Araucanía.

INVESTIGACIÓN TEÓRICA

1.1. Estudio general sobre la escasez hídrica en zonas rurales: Se realizará una revisión bibliográfica y de fuentes confiables, abordando las causas y efectos de la escasez hídrica en las comunidades rurales, con un análisis de las regiones más afectadas y los factores geográficos, climáticos y socioeconómicos que inciden en la problemática.

1.2. Revisión de estrategias hídricas aplicables: Se explorarán estrategias de captación de aguas lluvias y reutilización de aguas grises, priorizando aquellas que puedan ser implementadas en contextos rurales similares.

1.3. Focalización en la Región de La Araucanía y Curacautín: A partir de los datos recopilados en el análisis inicial, se seleccionará la Región de La Araucanía como área de enfoque debido a su alto nivel de efectos por la escasez hídrica. La comuna de Curacautín será definida como caso de estudio específico, justificando su elección por la relevancia de sus condiciones geográficas, climáticas y sociales en relación con la problemática.

EVALUACIÓN DEL ENTORNO Y ANÁLISIS DE NECESIDADES

2.1. Análisis del contexto climático y territorial: Se evaluarán las características del clima, de Curacautín para identificar oportunidades y limitaciones relacionadas con la implementación de sistemas de captación y gestión del agua.

2.2. Estudio de las escuelas rurales de Curacautín: Se realizará un análisis de las condiciones actuales de abastecimiento hídrico y de infraestructura en las escuelas rurales de la comuna. Este estudio permitirá comprender las problemáticas generales de la educación rural en Curacautín y justificar la selección de la comunidad rural de Lefuco como el lugar más representativo para el caso de estudio.

ENTREVISTAS Y ENCUESTAS

4.1. Conocimiento de la Comunidad: Se realizarán entrevistas y encuestas a actores clave de la comunidad educativa, como directores, docentes, estudiantes y vecinos. Estas actividades

identificarán las necesidades específicas en relación con el acceso al agua potable y el uso de los espacios escolares**.**

4.2. Análisis de Resultados: Los datos cualitativos y cuantitativos obtenidos serán analizados para identificar patrones y prioridades, que guiarán la propuesta arquitectónica y las estrategias de diseño.

CAPITULO I: LA RURALIDAD Y EL AGUA

1.-Cambio Climático y su Impacto en la Ruralidad.

El cambio climático ha provocado una serie de alteraciones en las precipitaciones, con graves consecuencias para las zonas rurales en Chile. Según la Dirección Meteorológica de Chile, el déficit de precipitaciones hasta la fecha es un 25% mayor que en 2018 y un 38% por debajo del promedio histórico. En 2022, las precipitaciones promedio en Chile alcanzaron solo 567 mm (Fig. 1, 2), lo que representa un déficit anual del 22%, situando ese año como el decimotercero más seco en el período 1961-2022.

También se destaca que 2022 no solo fue uno de los años más secos, sino que también se observa una tendencia preocupante de disminución de 26 mm por década en la precipitación total a nivel nacional, equivalente a una reducción del 4% por década. Esta tendencia se ve agravada en regiones críticas como Valparaíso y Metropolitana, donde los déficits de precipitación superan el 50%, lo que intensifica los desafíos de disponibilidad de agua para las comunidades rurales, afectando tanto al riego agrícola como al consumo humano (Dirección Meteorológica de Chile, 2022, p. 23)

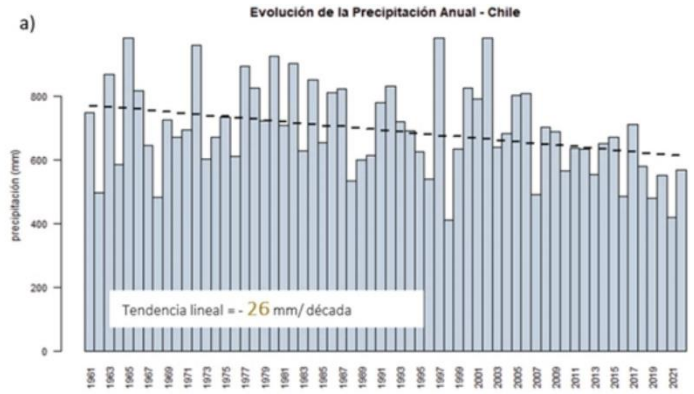


Fig.1: Precipitación total anual para Chile continental en milímetros (promedio anual de 200 estaciones) y línea segmentada de tendencia lineal (reporteEvolucionClima2022)

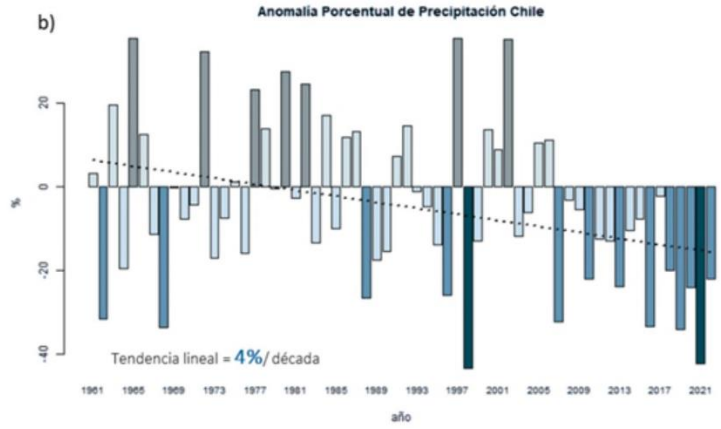


Fig2: Anomalía porcentual de precipitación total anual respecto al promedio 1961-1990. Barras en tonos verdes representan valores positivos (superávit) y tonos cafés valores negativos (déficit) (reporteEvolucionClima2022)

Esta situación resalta una realidad alarmante que repercute directamente en las zonas rurales, como se menciona anteriormente, por cambios en los patrones de lluvia, lo que han generado periodos de precipitación más irregulares, caracterizados por sequías prolongadas y severas que impactan directamente en la disponibilidad de agua.

El cambio climático afecta a las zonas rurales principalmente por la disminución significativa del agua disponible el riego como para el consumo humano. Esto repercute en la producción agrícola y ganadera, Amenazando la seguridad alimentaria y los medios de vida de estas comunidades.

Para enfrentar estos desafíos, es esencial que las comunidades rurales adopten estrategias de adaptación que les permitan gestionar de manera más eficiente el recurso hídrico. Dentro de los efectos del cambio climático, Un profesional de la Universidad Católica explica que estos se pueden categorizar en dos variables principales: “La primera es el aumento generalizado de la temperatura (Fig. 3.), y digo generalizado porque en el global el promedio va para arriba; y la segunda es el aumento o disminución de las precipitaciones”, asegura. Consecuencias de un fenómeno provocado por acción del ser humano, que se ve manifestado en diferentes lugares del planeta Tierra y Chile no es la excepción (Sustentable UC, 2023)

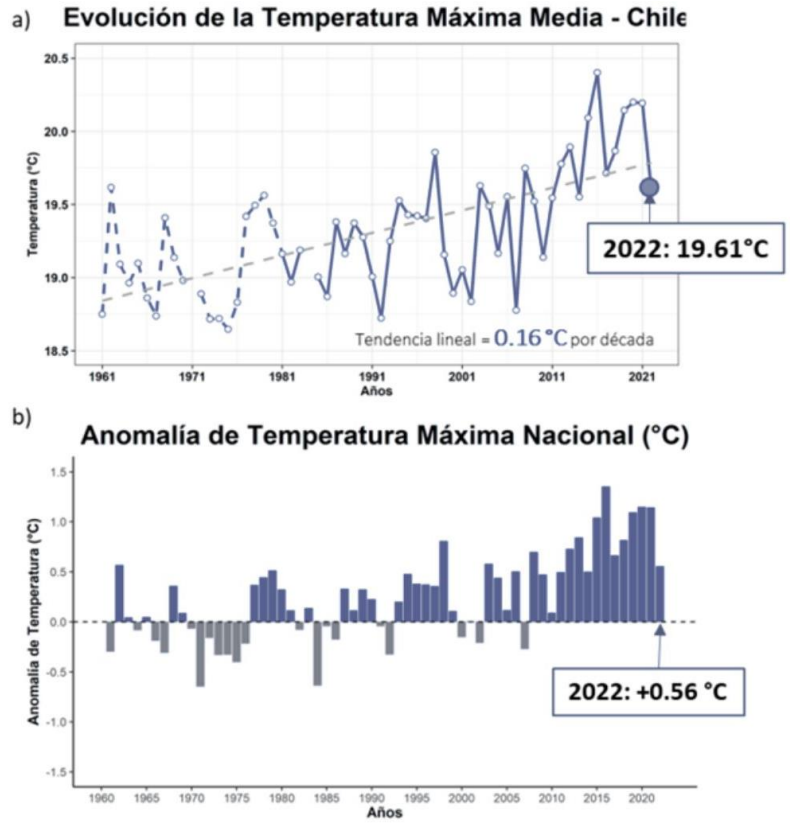


Fig.3: a) Panel superior se representa la evolución del promedio de la TX media en Chile continental, la línea segmentada roja es el promedio de 19 estaciones con sesgo corregido mientras que, la línea continua es el resultado del promedio de 126 estaciones. Línea segmentada gris indica la tendencia lineal. b) El panel inferior indica la TX términos de anomalía (°C) respecto al promedio 1961-1990 (reporteEvolucionClima2022)

En Chile, el impacto del cambio climático se manifiesta de manera particular debido a la geografía única del país, caracterizada por su extensa costa y cordillera. Estos factores amplifican los efectos de los fenómenos climáticos extremos, como lluvias torrenciales que causan deslizamientos de tierra y aluviones, afectando tanto a las ciudades como a las áreas rurales. (Galilea et al., 2020, p. 22-24).

También el cambio climático se ve marcado por los recurrentes desastres naturales, en la última década, se ha observado un incremento significativo en la frecuencia y severidad de los desastres naturales a nivel mundial, muchos de los cuales están estrechamente vinculados al cambio climático. Entre estos desastres, aquellos relacionados con el agua, como inundaciones, sequías prolongadas y tormentas extremas, han dominado la lista, representando más del 50% de las catástrofes globales en los últimos 50 años. (ONU-Hábitat, 2023).

Como se muestran en los indicadores de lluvias y temperaturas, los desastres naturales relacionados con el agua son cada vez más presentes tanto en las áreas urbanas como rurales, representando un desafío creciente para las comunidades rurales en Chile y a nivel global. La implementación de medidas efectivas de adaptación y gestión de riesgos es esencial para proteger a estas comunidades. El reciente sistema frontal que afectó a Chile es un ejemplo claro de este desafío. Las intensas precipitaciones dejaron a más de 21,000 personas damnificadas, 1,610 viviendas destruidas y varias comunidades aisladas debido al corte de caminos y el aumento de los caudales de los ríos, como se evidenció en regiones como Valparaíso y La Araucanía (Fig.4) (La Tercera, 2024).



Fig.4: La Tercera. (2023, agosto 25). Lluvia deja una escuela y 15 viviendas destruidas en La Araucanía

El cambio climático está alterando las zonas rurales (Fig.5.), ya que las variaciones en las precipitaciones y las temperaturas crecientes crean un efecto significativo en el suministro de agua,

tanto para el riego como para el consumo. Esos cambios impactan directamente en la producción tanto de cultivos como de animales, y al mismo tiempo amenazan la seguridad alimentaria y la prosperidad de las poblaciones rurales que dependen de estos recursos básicos. A pesar de las graves cifras sobre la disminución de las lluvias y el aumento de eventos extremos, las acciones parecen estar atrás, haciendo cada vez más vulnerables los sectores rurales.

El análisis presentado evidencia que las estrategias actuales para gestionar los recursos hídricos no son suficientes para enfrentar los desafíos que plantea el cambio climático. Es imperativo replantear de manera fundamental nuestras prácticas y políticas de manejo del agua, adoptando enfoques más sostenibles y resilientes. Las comunidades rurales deben ser equipadas con herramientas y conocimientos que les permitan no solo adaptarse a las condiciones cambiantes, sino también prosperar en un entorno donde los recursos hídricos serán cada vez más escasos. Hay que tener presente cómo actuar e intervenir colectivamente frente a la crisis que se avecina gracias al cambio climático que afectara a las comunidades rurales.



Fig.5: BBC News Mundo. (2021, diciembre 10). Mujer junto a un tanque de agua en una zona rural

1.2. Causas de la escasez hídrica en las zonas rurales

La escasez de agua en las áreas rurales es un fenómeno causado por las condiciones climáticas, geográficas y socioeconómicas. Estos factores no solo afectan el suministro de agua en sí, sino que también limitan el acceso de la comunidad a un recurso básico y que, a su vez, hace que las poblaciones rurales sean más vulnerables. En el siguiente apartado se explicará las diferentes causas de la escasez hídrica en las zonas rurales.

-Impacto del Cambio Climático

El cambio climático es una de las principales causas de la escasez de agua en las áreas rurales de Chile. En la región centro-norte, las precipitaciones han disminuido considerablemente, y la sequía ha empeorado en los últimos años. La reducción de las lluvias ha provocado la disminución de los caudales de ríos, lagos y fuentes subterráneas, que son las principales suministradoras de agua para estas zonas. Además de la reducción en las precipitaciones, las temperaturas también han aumentado. Ricardo Vásquez, meteorólogo de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), explica que los gases de efecto invernadero (GEI) se expanden globalmente por la circulación atmosférica y se incorporan en los océanos, generando efectos en todo el planeta. Según Vásquez (2023), “estos gases modifican la temperatura, la acidez del océano, la cobertura de los glaciares y un sinfín de consecuencias climáticas.” Estos cambios resultan en una mayor evapotranspiración y una menor humedad del suelo, complicando la recarga de los acuíferos y reduciendo la disponibilidad de agua superficial. La combinación de temperaturas más altas y menos lluvias está creando un ciclo de escasez de agua que impacta de manera severa a las áreas rurales, donde la infraestructura para la gestión y almacenamiento de agua es insuficiente.



Fig.6: Cambio Climático Chile. (2021). Imagen de la sequía en un campo agrícola [Fotografía]. Recuperado el 4 de septiembre de 2024.

-Falta de Infraestructura y Gestión del Agua

La falta de infraestructura para la gestión del agua es una de las principales causas de la escasez de agua potable en las zonas rurales de Chile. En muchas localidades, especialmente en las regiones del sur, el suministro de agua potable es limitado debido a la dispersión geográfica de las viviendas y la ausencia de servicios formales de agua. Según un informe de la Fundación Amulén (2023), esta carencia de infraestructura persiste incluso en regiones con abundantes lluvias, lo que resalta una contradicción significativa en la gestión del recurso hídrico. Barría, de la Secretaría Técnica de la Universidad de Chile, destaca que muchas comunidades dependen de fuentes informales de agua, sin garantías de inocuidad, lo cual representa un grave riesgo para la salud pública (Fig.7.).

Los sistemas de Agua Potable Rural (APR) son especialmente vulnerables, enfrentando fallas recurrentes, especialmente durante períodos de sequía prolongada. Estas fallas se deben en gran parte a la demanda excesiva que ejercen sobre los sistemas para mantener un suministro constante de agua cuando los niveles de embalses y acuíferos disminuyen. La falta de mantenimiento y la obsolescencia de estas infraestructuras agravan la ineficiencia en la distribución del agua, exacerbando la situación de escasez hídrica. En las zonas cordilleranas, las fallas en los sistemas APR son un problema persistente, como se refleja en el caso reciente de la región de Los Ríos, donde 268 familias podrían enfrentar problemas de acceso al agua debido a estas deficiencias (BioBioChile, 2024).

Además, los sistemas APR, algunos de los cuales datan de 2016-2017, enfrentan serios desafíos tanto administrativos como técnicos. Desde su ejecución inicial, estos proyectos han presentado problemas que han llevado al equipo a alcanzar su vida útil sin el mantenimiento o reemplazo adecuados. También se han reportado dificultades en la gestión financiera, como cuentas impagas con montos elevados, lo cual agrava aún más la situación.



(Fig.7.) Universidad de Chile. (2020, 10 de abril). Privatización del agua, pobreza y falta de agua en Chile [Fotografía]. Universidad de Chile.

Este panorama no solo ilustra las vulnerabilidades inherentes a los sistemas APR, sino que también resalta la urgencia de implementar soluciones sostenibles y definitivas para asegurar el acceso constante al agua potable en comunidades rurales. El caso de la región de Los Ríos evidencia la importancia de una adecuada planificación, ejecución y gestión de los proyectos de agua potable rural, aspectos críticos que deben abordarse para evitar que más comunidades queden desabastecidas en el futuro.

-Sobreexplotación de Recursos Hídricos

La excesiva extracción de recursos hídricos para actividades agrícolas e industriales es un factor clave que agrava la escasez de agua en las zonas rurales. A nivel mundial, la agricultura (Fig.8.) consume aproximadamente el 70% del agua extraída de diversas fuentes, y en Chile, esta cifra llega al 72% del total de la demanda de agua, según las estimaciones más recientes de la Dirección General de Aguas (DGA) (Morales Estay, 2021). Esta alta demanda de agua para riego ha disminuido significativamente la disponibilidad del recurso para otros usos esenciales, como el consumo humano y la conservación de los bosques. Además, la distribución ineficiente del agua ha intensificado la sobreexplotación, un problema que se ve agravado por la expansión urbana y el aumento de la demanda en las ciudades, lo que crea una competencia aún mayor por los limitados recursos hídricos disponibles (Olsson, 2012; ONU-Hábitat, 2016).



(Fig.8) CIPER Chile. (2021, 1 de mayo). En Chile, la agricultura tendría que funcionar con la mitad del agua que usa actualmente [Fotografía].

Este enfoque de gestión del agua ha desventajado a las pequeñas comunidades rurales, favoreciendo a las grandes empresas agrícolas e industriales. Como resultado, muchas comunidades rurales dependen de fuentes de agua informales, como pozos y ríos, que suelen ser menos seguras y más susceptibles a las fluctuaciones causadas por la sequía. Un ejemplo claro de esta problemática se observa en la cuenca del

río Copiapó, en la región de Atacama, donde la sobreexplotación del acuífero ha llevado a una disminución crítica en los niveles de agua subterránea, afectando tanto a la disponibilidad de agua para consumo humano como a la sostenibilidad del ecosistema local (DGA, 2018). En esta región, la competencia por el agua entre la agricultura intensiva y la minería ha superado la capacidad de recarga natural del acuífero, generando un déficit hídrico sostenido y agravando las condiciones de vida de las comunidades rurales, que se ven obligadas a depender de fuentes de agua de menor calidad y menos confiables (Donoso & Melo, 2020).

La continua expansión urbana y la creciente demanda de agua por parte de las ciudades exacerban esta situación, ya que las áreas urbanas tienden a acaparar una proporción significativa de los recursos hídricos, dejando a las zonas rurales con acceso limitado y en condiciones de vulnerabilidad (González-Medina et al., 2018). Con el avance de la urbanización, la presión sobre las fuentes de agua rurales sigue aumentando, afectando tanto la cantidad como la calidad del agua disponible para las comunidades más necesitadas (ONU-Hábitat, 2016).

-**Desigualdad Socioeconómica:**

La desigualdad socioeconómica (Fig. 9) es un factor subyacente clave en la escasez hídrica. Las comunidades más pobres, generalmente ubicadas en áreas rurales, tienen menos acceso a infraestructura básica de agua y dependen en mayor medida de fuentes informales. Según el informe "Sequía en Chile: la brecha más profunda", las comunas rurales de regiones como Coquimbo y Valparaíso presentan alta vulnerabilidad socioeconómica, con más del 80% de sus habitantes perteneciendo a los segmentos D y E, enfrentando severa carencia de agua potable (Fundación Amulén, 2021). Esta situación refleja cómo la escasez hídrica no solo amplifica las desigualdades existentes, sino que impacta desproporcionadamente a las comunidades más vulnerables.

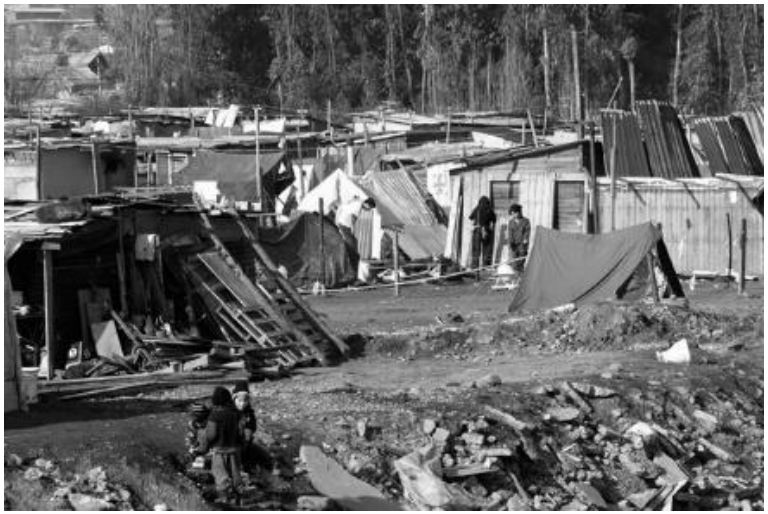


(Fig.9) Gamba. (2020, diciembre). Mujer recolectando agua en botellas de plástico en una zona árida [Imagen].

En La Araucanía, región más pobre de Chile, esta situación es especialmente crítica. La región ha experimentado un déficit

acumulado de precipitaciones desde 2017, lo que ha llevado a niveles de sequía extrema que, combinados con altos índices de pobreza y vulnerabilidad social (Fig.10.), han creado un entorno propenso a desastres como incendios forestales, que han incrementado significativamente en la última década (Manosalva, 2021). Además, se ha observado que solo el 34% de la población rural cuenta con acceso a la red pública de agua, mientras que un 66% depende de aguas superficiales y pozos, lo que aumenta su exposición a la variabilidad climática y reduce su resiliencia frente a la sequía (INE, 2017; Manosalva, 2021).

A pesar de estas condiciones, La Araucanía nunca ha sido oficialmente declarada zona de sequía por la Dirección General de Aguas, lo cual pone en evidencia una falta de reconocimiento y acción institucional adecuada frente a la crisis hídrica que enfrenta la región. Esta omisión contrasta con la aplicación frecuente de medidas de escasez hídrica en otras regiones, como Coquimbo y Valparaíso, y destaca la necesidad de una gobernanza más equitativa y adaptada a las realidades locales para abordar la escasez de recursos hídricos (Manosalva, 2021). La interconexión entre la disponibilidad de recursos hídricos y la inequidad social es clara: las regiones con altos niveles de desigualdad socioeconómica, como La Araucanía, son también las más afectadas por la falta de acceso a agua potable y servicios básicos. Esta situación se ve agravada por políticas históricas, como la entrega perpetua de derechos de aprovechamiento de aguas, que no han considerado adecuadamente las necesidades de las comunidades ni los equilibrios ambientales (Rivera et al., 2019). Así, la escasez de agua se configura no solo como un desafío ambiental, sino como un catalizador de desigualdad que perpetúa la pobreza y limita las oportunidades de desarrollo y prosperidad para los sectores más vulnerables.

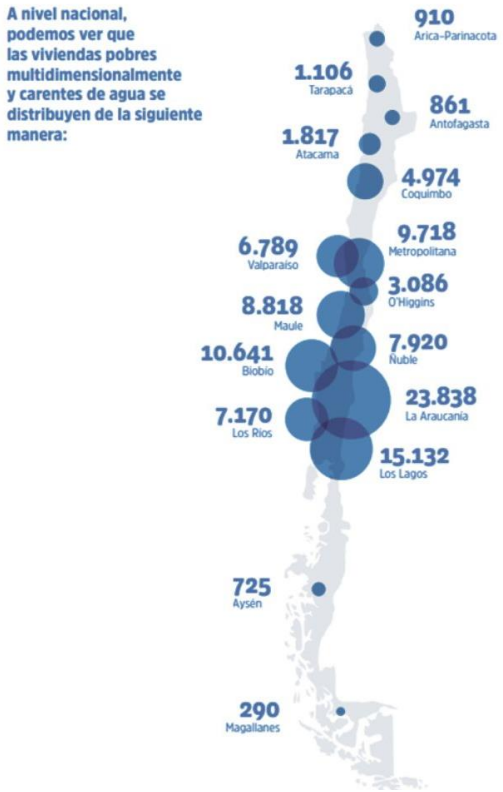


(Fig.10) Tiempo21. (s.f.). Pobreza en La Araucanía, con viviendas precarias y personas en condiciones de vulnerabilidad [Imagen].

1.3. Regiones más afectadas por la escasez hídrica.

Dentro de Chile, el acceso al agua potable en las zonas rurales es un problema crítico que se ha agravado debido al cambio climático y la gestión ineficiente de los recursos hídricos. La Región de La Araucanía (Fig.11.) es la más afectada por esta situación, con un 71,1% de su población rural sin acceso a un abastecimiento formal de agua potable, lo que perpetúa la desigualdad y la pobreza en la región (Fundación Amulén, 2020). La dispersión geográfica de la población rural en La Araucanía (Fig.12.) complica significativamente la instalación y el mantenimiento de los sistemas de Agua Potable Rural (APR), incrementando los costos de implementación y haciendo que las soluciones tradicionales sean ineficaces. Muchas comunidades dependen de fuentes informales de agua (Fig.13.), los cuales presentan riesgos de contaminación, exponiendo a las comunidades a enfermedades transmitidas por el agua y perpetuando un ciclo de pobreza y vulnerabilidad.

El estado deficiente de la infraestructura hídrica en La Araucanía es un factor crítico adicional. Los sistemas de APR existentes son insuficientes y en muchos casos obsoletos. La falta de mantenimiento adecuado y de recursos financieros ha llevado a frecuentes interrupciones en el suministro de agua, a menudo no programadas, debido a problemas operacionales, fallas en la

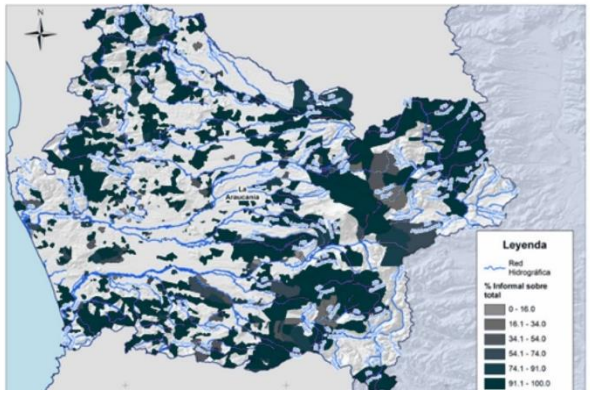


(Fig.11.) Fundación Amulén. (2020). Distribución de viviendas pobres multidimensionalmente y carentes de agua a nivel nacional [Mapa]. En Radiografía del agua rural de Chile: Visualización de un problema oculto (p. 24). Fundación Amulén.

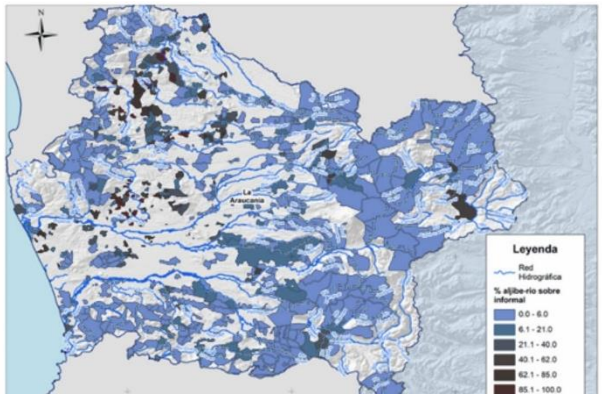
Infraestructura y la antigüedad de los sistemas. Además, la región enfrenta serios desafíos en términos de inversión en infraestructura, con requisitos metodológicos y burocráticos que retrasan la ejecución de proyectos, volviéndolos a veces inviables (Neira Barría, n.d.).

La situación en La Araucanía se debe a una combinación de factores históricos, legales y ambientales. Desde la implementación del Código de Aguas en 1981, que permitió la privatización y mercantilización del agua, ha habido una sobreexplotación de los recursos hídricos por parte de sectores productivos como la agricultura y la industria forestal, afectando las necesidades básicas de las comunidades rurales. Este problema se ha visto agravado por un déficit de precipitaciones persistente desde 2010, con una reducción del 30% en algunas áreas, lo cual ha exacerbado tanto la escasez como la degradación de la calidad del agua disponible (Neira Barría, n.d.).

Aunque La Araucanía posee una alta disponibilidad natural de agua, enfrenta problemas significativos debido a la concentración de derechos de agua en manos de unos pocos y la falta de disponibilidad de estos derechos en las cabeceras de las cuencas. Cambios en los patrones climáticos, como el aumento de la isoterma 0 y la disminución de las precipitaciones, han reducido los caudales de ríos clave como el Imperial y el Bío Bío.



(Fig.12.) Fundación Amulén. (2020). Porcentaje de abastecimiento informal de localidades dispersas para la Región de La Araucanía en el periodo 2014-2018 [Mapa]. En Radiografía del agua rural de Chile: Visualización de un problema oculto (p. 26). Fundación Amulén.



(Fig.13.) Fundación Amulén. (2020). Porcentaje de abastecimiento fuera de la vivienda de la población con fuentes informales para la Región de La Araucanía en el periodo 2014-2018 [Mapa]. En Radiografía del agua rural de Chile: Visualización de un problema oculto (p. 27). Fundación Amulén.

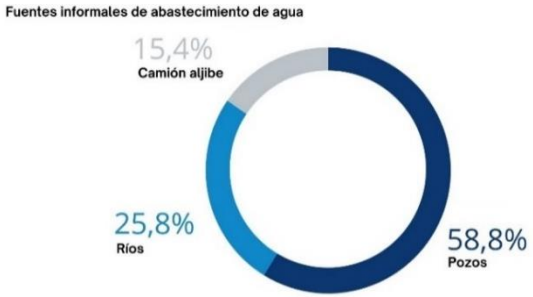
Adicionalmente, la calidad del agua se ha deteriorado en la cuenca del río Imperial y el lago Villarrica debido a la contaminación derivada de actividades agroindustriales y urbanas (Neira Barría, n.d.). En este contexto de crisis hídrica, la situación es particularmente grave en las áreas rurales, donde la falta de acceso a redes públicas de agua afecta al 22% de la población regional, y muchas comunidades dependen de camiones aljibe para su abastecimiento de agua potable.

Otras regiones también enfrentan desafíos significativos en cuanto al acceso al agua potable. En Los Lagos, un 64% de la población rural depende de fuentes informales de agua, a pesar de la abundancia de recursos hídricos superficiales, debido principalmente a la falta de infraestructura adecuada para tratar y distribuir el agua potable (La Tercera, 2019). En la Región del Biobío, el 68% de la población rural carece de acceso a sistemas formales de agua potable y enfrenta interrupciones frecuentes y problemas de infraestructura. La sobreexplotación de los recursos hídricos agrava la situación, especialmente durante los períodos de sequía. En la Región de Los Ríos, un 62% de la población rural depende de fuentes informales como pozos y ríos, complicando la implementación de soluciones de abastecimiento debido a la geografía montañosa y la dispersión de las comunidades rurales, exponiendo a muchas comunidades a agua contaminada y serias implicaciones para la salud pública (Fundación Amulén, 2020).

A pesar de la abundancia de fuentes naturales de agua en regiones como La Araucanía, que cuenta con ríos, lagos y una alta disponibilidad hídrica en comparación con el norte de Chile, el problema radica en la gestión ineficiente y desigual de estos recursos. A diferencia de las regiones del norte, donde la escasez de agua está directamente ligada a la aridez y falta de precipitaciones, en el sur del país el desafío principal es la distribución y manejo adecuado del agua disponible. La privatización, la sobreexplotación por parte de sectores productivos, y la falta de infraestructura adecuada han creado un panorama donde la abundancia no se traduce en acceso equitativo para todas las comunidades, especialmente las rurales.

1.4. Situación actual del acceso al agua potable.

El acceso al agua potable en las zonas rurales de Chile refleja una paradoja preocupante ya que el país es conocido por sus grandes recursos naturales, muchas comunidades aún enfrentan la lucha diaria por obtener agua segura. A pesar de los avances en infraestructura y políticas públicas, el desarrollo no ha llegado equitativamente a todas las regiones. En las áreas rurales, la dependencia de fuentes informales como pozos, ríos y camiones aljibes (Fig.14.), La fuente informal más importante a nivel nacional es agua subterránea (58,8%), seguida de fuentes superficiales (25,8%) y, por último, camiones aljibes (15,4%).no solo limita la calidad de vida de sus habitantes, sino que también los expone a riesgos sanitarios significativos, perpetuando un ciclo de pobreza y desigualdad que parece inquebrantable (Fundación Amulén, 2020).



(Fig. 14.) Fundación Amulén. (2017). Fuentes informales de abastecimiento de agua [Gráfico]. En *Radiografía del agua rural de Chile: Visualización de un problema oculto* (p. 39). Fundación Amulén

Este desafío no es simplemente una cuestión de infraestructura deficiente; también refleja una gestión del agua que históricamente ha favorecido intereses económicos sobre las necesidades humanas básicas. Las comunidades rurales, que deberían ser destacadas por sus recursos naturales de los recursos hídricos, a menudo se encuentran marginadas en la distribución del agua potable. Esta situación subraya la urgente necesidad de repensar cómo se gestiona y distribuye este recurso vital, asegurando que todos los chilenos, independientemente de su lugar de residencia, tengan acceso al agua potable como un derecho fundamental y no un privilegio de pocos (Heinrich Böll Stiftung, 2024).

En Chile, el desarrollo económico ha sido desigual, afectando especialmente a las zonas rurales, donde la falta de acceso a servicios básicos como el agua es evidente. Según la Fundación Amulén, aproximadamente 383,204 viviendas rurales carecen de acceso a agua potable, afectando a cerca de un millón de personas (Fundación Amulén, 2020). Esta situación es particularmente grave en las regiones del sur del país, como La Araucanía, donde el 71% de la población rural no tiene acceso a un sistema formal de abastecimiento de agua potable, una problemática que también se replica en la región del Biobío, Los Lagos y Los Ríos (Fundación Amulén, 2020).

Esta situación no solo afecta directamente a los hogares, sino que también tiene un impacto profundo en la salud pública. El saneamiento deficiente y el uso de agua contaminada están relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, la disentería, la hepatitis A y la fiebre tifoidea. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), 361,000 niños menores de cinco años mueren cada año a causa de la diarrea. Anthony Lake director ejecutivo de UNICEF resalta que “El agua potable, el saneamiento eficaz y la higiene son fundamentales para la salud de cada niño y cada comunidad, y por lo tanto son esenciales para construir sociedades más fuertes, más saludables y equitativas”. (Agua.org.mx, 2024).

En las zonas rurales, el abastecimiento de agua depende en gran medida de fuentes informales (Fig.15.), las cuales no siempre garantizan la calidad del agua, por ejemplo, estudios en la comuna de Curacautín, en la Región de La Araucanía, revelaron que un alto porcentaje de los estudiantes estaban infectados con entero parásitos debido a la mala calidad del agua disponible, lo que subraya los graves riesgos para la salud asociados con estas fuentes no reguladas (Baumert, Alberti, Serra & Orellana, 2005). Además, el agua de pozos y otras fuentes superficiales puede estar contaminada con nitratos y otros químicos derivados de la actividad agrícola, lo que representa un riesgo adicional para la salud pública (Espinoza, 2020).



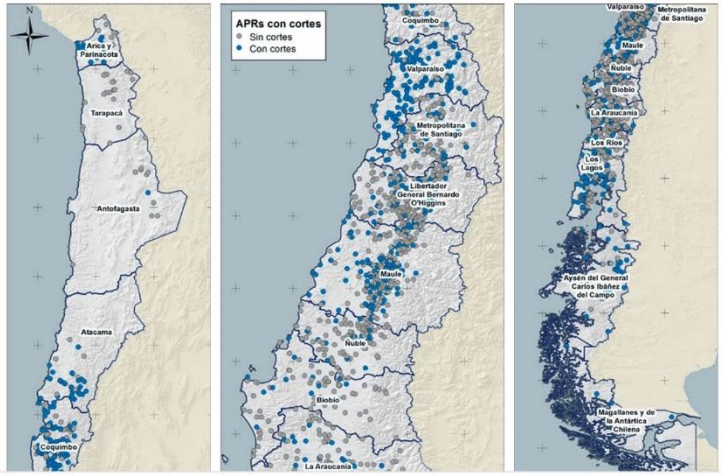
(Fig. 15.) Fundación Amulén. (2017). Población rural con abastecimiento informal por región (%) [Gráfico]. En Radiografía del agua rural de Chile: Visualización de un problema oculto (p. 37). Fundación Amulén.

Aparte del abastecimiento por pozos, ríos o vertientes, también está el uso de camiones aljibes, que, aunque son necesarios en situaciones de emergencia, no constituyen una solución sostenible a largo plazo. En los últimos cinco años, el gasto en camiones aljibes ha superado los 150 mil millones de pesos, lo que representa una carga financiera significativa para el Estado sin resolver las causas subyacentes de la escasez de agua (BioBioChile, 2022). Además de los altos costos asociados, problemas como fallas mecánicas y las malas condiciones de los

caminos pueden interrumpir aún más el suministro de agua, agravando la situación de las comunidades afectadas (La Discusión, 2024). Esta dependencia de una solución temporal deja a las comunidades vulnerables a interrupciones en el suministro.

El Programa de Agua Potable Rural (APR), administrado por la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, ha sido clave para mejorar el acceso al agua en las zonas rurales de Chile, abasteciendo a aproximadamente 1.93 millones de habitantes en áreas rurales (Dirección de Obras Hidráulicas, 2020). El APR se centra en dotar de agua potable a la población rural, cumpliendo con los estándares de cantidad, calidad y continuidad establecidos por la Norma Chilena NCh 409 Of. 84, y promueve la participación comunitaria en la administración del servicio (Dirección de Obras Hidráulicas, 2020). Sin embargo, enfrenta desafíos significativos. Aunque el 80% de los sistemas APR funcionan adecuadamente, el 20% restante presenta problemas de suministro debido a la falta de mantenimiento (Fig.16.), financiamiento insuficiente y una gestión deficiente (BioBioChile, 2022). La antigüedad de muchos sistemas APR y la falta de planificación a mediano y largo plazo agravan esta situación, afectando la continuidad y calidad del servicio. Estos problemas son especialmente críticos en localidades rurales vulnerables, donde la administración de los sistemas APR enfrenta dificultades en la gestión de recursos y mantenimiento de infraestructura, exacerbando la inseguridad hídrica (Lizama Allende, 2022). Como también menciona el Instituto de Ingenieros de Chile (Peña et al., 2011) Que la falla de los APR también se manifiesta principalmente en una profundización creciente de los niveles freáticos, en desecamiento de humedales y en la reducción del caudal de vertientes. Lo que aumenta la vulnerabilidad de los APR y localidades dispersas dependientes de aguas subterráneas.

Distribución geográfica de los APR que presentaron cortes en el periodo 2014-2018



(Fig.16.) Fundación Amulén. (2017). Distribución geográfica de los APR que presentaron cortes en el periodo 2014-2018 [Mapa]. En Radiografía del agua rural de Chile: Visualización de un problema oculto (p. 45). Fundación Amulén.

La situación actual del acceso al agua potable en las zonas rurales de Chile evidencia una desigualdad en la gestión de recursos básicos, destacando una paradoja en un país conocido por su riqueza hídrica. A pesar de los esfuerzos en infraestructura y políticas públicas, las comunidades rurales siguen marginadas en la distribución del agua, lo cual perpetúa un ciclo de pobreza, riesgos sanitarios y vulnerabilidad social. Este problema no solo afecta la calidad de vida, sino que también tiene implicaciones serias para la salud pública, la educación y la cohesión comunitaria, como se ha evidenciado en diversas regiones, incluyendo La Araucanía, donde el acceso a agua potable es críticamente bajo.

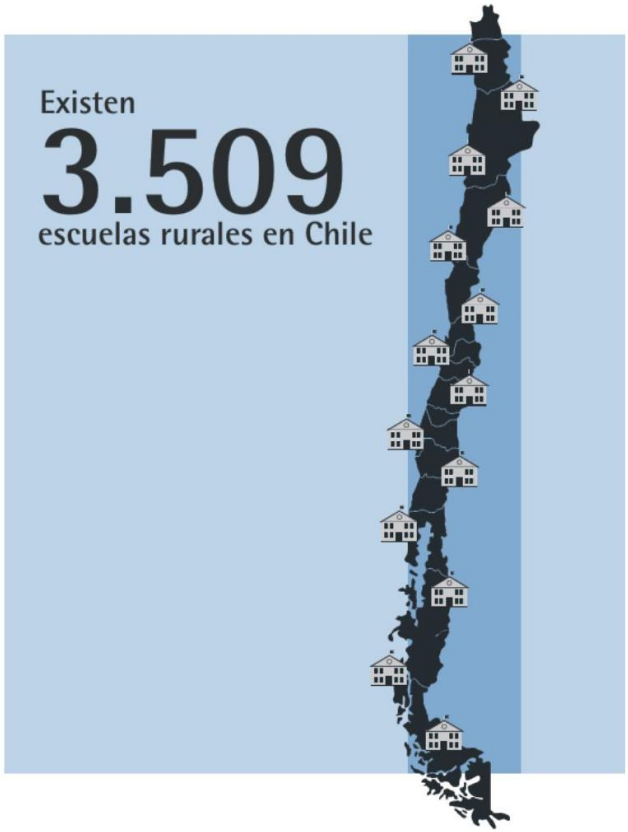
Es necesario repensar cómo se gestionan y distribuyen estos recursos vitales, adoptando un enfoque más inclusivo que priorice las necesidades humanas básicas sobre los intereses económicos. La solución no reside únicamente en la mejora de la infraestructura, sino también en la implementación de políticas sostenibles y equitativas que garanticen el acceso al agua potable. Esta reflexión plantea una cuestión crucial sobre cómo la arquitectura puede contribuir a enfrentar los desafíos del acceso al agua potable en las zonas rurales. La implementación de soluciones innovadoras y sostenibles puede jugar un papel clave en mejorar la calidad de vida de estas comunidades, integrando infraestructuras que respondan a las condiciones locales y aprovechen los recursos naturales disponibles. La respuesta a esta necesidad no solo afectará el bienestar de las personas, sino que también demostrará la capacidad de la arquitectura para generar un impacto, más allá de lo estético, en contextos rurales que requieren atención y adaptación a sus realidades específicas.

Como se menciona en el capítulo anterior La escasez hídrica afecta gravemente a las comunidades rurales, pero no solo afecta en la vida diaria y la agricultura, sino que también repercute en las escuelas rurales, que juegan un papel fundamental como centros de aprendizaje y cohesión comunitaria. Estos establecimientos enfrentan serios desafíos debido a la falta de agua potable, lo que impacta negativamente la higiene, la salud de los estudiantes y el adecuado funcionamiento en las actividades diarias. La escasez de agua no solo pone en riesgo la calidad educativa, sino que también amenaza la estabilidad de estas instituciones, que a menudo se ven forzadas a reducir sus actividades o incluso cerrar, exacerbando la migración hacia zonas urbanas. El rol de la escuela rural va más allá de la enseñanza; es un punto de encuentro y un motor de desarrollo social y cultural en la comunidad.

Cuando la falta de agua compromete su operación, se erosiona un pilar clave en la preservación de las tradiciones y la identidad local. Esto se alinea con lo señalado por Miller (1995), quien menciona que "rural schools not only serve as educational centers, but also as essential pillars of community cohesion and social development. When they are affected by resource shortages, such as water, their capacity to serve the community is compromised, which can lead to a decline in educational quality and erosion of local traditions and cultural identity" (Miller, 1995). En el siguiente capítulo, se analizará el rol de las escuelas rurales no solo como centros educativos, sino también como promotores de prácticas sostenibles, contribuyendo a la resiliencia y sostenibilidad de las comunidades rurales frente a la crisis hídrica

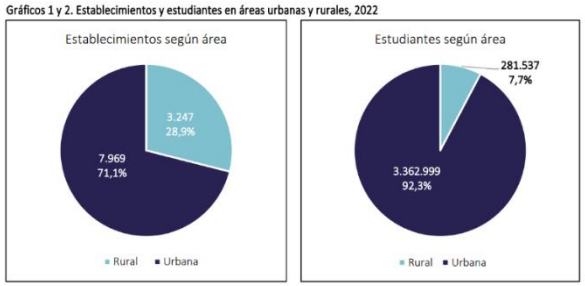
2.1.1. Conociendo la escuela rural.

Las escuelas rurales presentan características únicas que las diferencian de las escuelas urbanas, principalmente debido a su estrecha conexión con el entorno rural y a las condiciones demográficas y sociales de las comunidades cercanas. Una de las principales particularidades de estas escuelas es la implementación de un modelo multigrado, donde estudiantes de diversas edades y niveles educativos comparten un mismo espacio de aprendizaje, donde también el modelo organizativo de los profesores pueden ser unidocentes, bidocentes, tridocentes o polidocentes, y como se mencionó anteriormente dependiendo de eso se pueden configurarse como regulares o multigrado según la cantidad de docentes y cursos presentes en una misma aula (Peirano, Estévez, & Astorga, 2015). En Chile, este modelo es predominante, con más de 35,000 estudiantes matriculados en escuelas multigrado (Fig.17.) (Ministerio de Educación, 2020-b). Este modelo fomenta un ambiente de trabajo sereno y flexible, donde la heterogeneidad de alumnos se convierte en un recurso pedagógico, permitiendo la creación de dinámicas de enseñanza más personalizadas y adaptativas (Jiménez, 2018). Además, la flexibilidad organizativa de las escuelas rurales facilita la adaptación de las necesidades específicas en el contexto local, promoviendo la participación de la comunidad en el proceso educativo y fortaleciendo la relación entre la escuela y su entorno.



(Fig.17.) Fundación 99. (2020). Existencia de escuelas rurales en Chile [Imagen]. En Caracterización de la Educación Rural en Chile en contexto de pandemia por COVID-19. Santiago, Chile: Fundación 99.

Otra característica es la fuerte participación de la comunidad rural en el funcionamiento de la escuela, lo cual potencia el sentido de pertenencia y cohesión social. Las familias y los habitantes del entorno participan activamente en diversas actividades escolares, contribuyendo a la creación de un clima educativo favorable y reforzando la integración de los valores culturales y tradicionales locales (Jiménez, 2018). La participación de la comunidad es fundamental para superar los desafíos que enfrentan las escuelas rurales, tales como la escasez de recursos y la alta rotación de personal docente, situaciones que podrían obstaculizar la implementación de proyectos educativos innovadores. De hecho, según datos del Ministerio de Educación de Chile, en 2019, los docentes en contexto rural representaban el 12% del total de docentes en el país, y los estudiantes de educación rural conformaban un 7,7% de la matrícula nacional (Fig.18.) inisterio de Educación, 2020-c; Elige Educar, 2020).



(Fig.18.) Ministerio de Educación, Centro de Estudios. (2024). Evidencias 61-2024: Análisis de la educación rural en Chile [Gráficos 1 y 2. Establecimientos y estudiantes en áreas urbanas y rurales, 2022].

Las escuelas rurales también se destacan por su capacidad para llevar a cabo innovaciones pedagógicas, gracias a la motivación y compromiso de sus profesores. En estos contextos, la innovación educativa se manifiesta a través de la adaptación del contexto, la flexibilización de tiempos y espacios, el trabajo en proyectos, la tutoría entre pares y el estudio del entorno como estrategia de aprendizaje. Estas prácticas no solo buscan mejorar la calidad educativa, sino también revitalizar las comunidades rurales, convirtiendo a las escuelas en centros de desarrollo local y cultural (Jiménez, 2018).

Un ejemplo destacado de la capacidad innovadora es el proyecto de educación ambiental liderado por el docente Eduardo Jaime Muñoz en Monte Patria región de Coquimbo, quien recibió el Premio Global Learning Award en la categoría de Innovación Educativa. Este proyecto se enfoca en la educación basada en la naturaleza y al aire libre, utilizando el entorno natural como un recurso didáctico para la enseñanza y la concientización ambiental. Las actividades involucraron a estudiantes y profesores de diversas escuelas rurales, fortaleciendo la conexión entre la comunidad y el entorno, y demostrando cómo un enfoque educativo innovador puede tener un impacto significativo en la calidad de la educación en áreas rurales (La Serena Online, 2024). Este tipo de iniciativas no solo promueve metodologías novedosas y nuevas, sino que también destaca la

importancia de adaptar la enseñanza a las características y necesidades de cada comunidad, contribuyendo a la equidad y pertinencia de la educación rural.

Esta capacidad innovadora es especialmente importante considerando que la calidad de la educación en contextos rurales enfrenta desafíos particulares, como la falta de recursos y la necesidad de adaptar las evaluaciones estandarizadas, que generalmente se basan en estructuras propias del contexto urbano (ACE, 2019). Proyectos como el de Monte Patria de la región de Coquimbo no solo responden a estos desafíos mediante la implementación de estrategias educativas contextualizadas, las innovaciones en la educación rural no solo buscan mejorar los resultados académicos, sino que también potencian el rol de las escuelas rurales como agentes de cambio y desarrollo sostenible en sus comunidades. Como decía Gabriela Mistral, "Enseñar siempre: en el patio y en la calle como en la sala de clase. Enseñar con actitud, el gesto y la palabra" (Mistral, 1979, p. 39). Esta visión resalta la importancia de un enfoque educativo integral, que trasciende en las aulas y se conecta profundamente con la vida y los valores de comunidad.

A pesar de sus fortalezas, las escuelas rurales enfrentan desafíos significativos, como la despoblación y el envejecimiento de las comunidades donde están situadas, factores que afectan la sostenibilidad a largo plazo de estas instituciones. La despoblación implica una reducción en la cantidad de estudiantes, lo cual puede llevar al cierre de centros educativos y, en consecuencia, a una mayor pérdida de habitantes en las zonas rurales. Sin embargo, es importante destacar que, según la OCDE, la población rural en Chile representaba un 34,6% en 2014, aunque esta cifra puede variar significativamente dependiendo de cómo se defina "lo rural" (OCDE, 2014; Núñez et al., 2020). No obstante, las escuelas rurales siguen desempeñando un papel crucial en la preservación del tejido social y cultural de las comunidades, actuando como espacios de encuentro y aprendizaje que integran los saberes locales y fomentan la continuidad de las tradiciones (Jiménez, 2018).

Las escuelas rurales poseen un gran potencial pedagógico y comunitario que, si se apoya adecuadamente con políticas educativas inclusivas y recursos suficientes, puede contribuir significativamente al desarrollo sostenible de las zonas rurales. La combinación de una enseñanza adaptada al contexto local, el fuerte compromiso comunitario y la capacidad de innovación pedagógica hacen de estas escuelas un modelo educativo único, capaz de transformar positivamente el entorno en el que se insertan (Jiménez, 2018). Es crucial, por tanto, reconocer las diferencias y particularidades del contexto rural, y potenciar sus recursos y capacidades para asegurar una educación de calidad

y equitativa para todos los estudiantes, como plantea el Ministerio de Educación de Chile (Ministerio de Educación, 2020-b).

2.1.2. Impacto Educativo y Social de las Escuelas Rurales

Las escuelas rurales en Chile han demostrado ser mucho más que simples centros educativos; son núcleos vitales para la preservación cultural y el desarrollo comunitario, especialmente en contextos de vulnerabilidad. Un ejemplo destacado es la Escuela Rural de Quilquico en Chiloé (Fig.19.), que se ha convertido en un símbolo de renovación y resiliencia educativa. La escuela se enfrentó a desafíos significativos, como la crisis de matrícula y bajo rendimiento académico. Sin embargo, su enfoque innovador, centrado en el patrimonio cultural y el medio ambiente, transformó a la escuela, llevándola a recibir el prestigioso Premio Margot Loyola Según la Subdirección Nacional de Patrimonio Cultural Inmaterial (2024), el premio tiene como objetivo otorgar un reconocimiento de carácter nacional, a aquellas personas, agrupaciones o colectivos que a través de su actividad, oficio o profesión enriquecen nuestra cultura tradicional y el patrimonio cultural inmaterial, permitiendo que sus quehaceres y saberes contribuyan a promover el respeto de la diversidad cultural y la creatividad humana. Teniendo en cuenta el compromiso del equipo docente y la participación de los padres y la comunidad fueron fundamentales para superar los desafíos iniciales y construir una visión compartida de educación con pertenencia cultural. Esta experiencia subraya que el éxito de las escuelas rurales no depende únicamente de los recursos materiales, sino también de la cohesión y el apoyo de la comunidad, aspectos que son esenciales para crear un entorno educativo que valore y promueva la identidad local. (El Ciudadano, 2023).



(Fig.19.) Noticias Chiloé. (2023). Escuela Rural de Quilquico de Chiloé recibe el premio Margot Loyola por la puesta en valor del patrimonio desde la educación [Fotografía].

Las escuelas rurales enfrentan desafíos significativos debido a la falta de recursos y a las dificultades de la ruralidad, como el acceso limitado a la tecnología y la conectividad digital. Durante la pandemia de COVID-19, estos desafíos se agravaron, destacando las desigualdades en el acceso a la educación entre

las zonas urbanas y rurales. Según un estudio de Monge et al. (2020), la transición a la educación a distancia reveló barreras significativas en las escuelas rurales, como la falta de infraestructura digital adecuada y la limitada formación en competencias tecnológicas tanto de los docentes como de las familias. Estas dificultades exacerbaron la brecha educativa y resaltaron la necesidad de políticas públicas que aborden las necesidades específicas de la educación rural (Monge, Gómez Hernández, & Jiménez Arenas, 2020).

Además, el cierre de escuelas rurales, impulsado por la disminución de la matrícula y la falta de rentabilidad económica, ha tenido un impacto negativo en la cohesión social y el mantenimiento de las comunidades rurales. La decisión de cerrar escuelas, a menudo sin considerar su rol central en la comunidad, contribuye al desplazamiento de las familias hacia áreas urbanas, debilitando aún más el tejido social rural (Cárcamo, 2016; Vera, Salvo, & Zunino, 2013). Como menciona Moreno (2010), "hay muchos lugares en que cierran la escuela y como que el pueblo se desarma. Eso lo hemos visto con un par de investigaciones y con una tesis también muy bonita, que se llamaba 'La escuela da vida', bajo la metáfora de la gente para hablar de que la escuela rural da vida al pueblo, que es el corazón, la columna vertebral. Entonces a veces puedes tener doce niños en la escuela, y sí, son súper pocos, pero resulta que esa escuela cumple otra función en lo rural, que es de congregar, de reunir. Cuando hay por ejemplo algún desastre natural o algún incendio, la escuela rural es la primera que se activa y todo el mundo se va para allá, entonces son centros neurálgicos" (Moreno, 2010, p. 33). En Chile, el fenómeno del cierre de las escuelas rurales se ha intensificado en los últimos años, con la clausura de 819 escuelas rurales entre 2000 y 2012, lo cual refleja una política sistemática de reducción de infraestructura educativa en estas áreas (Vera et al., 2013). A nivel internacional, países como Argentina y Uruguay han implementado políticas similares, fusionando o cerrando escuelas rurales para optimizar recursos públicos, lo que ha tenido consecuencias adversas en términos de equidad y acceso a la educación (Rodríguez, 2008; Martinis & Redondo, 2006).

Este fenómeno destaca la importancia de mantener y fortalecer las escuelas rurales como centros de aprendizaje y preservación cultural, en lugar de enfocarse únicamente en criterios económicos. Según Vera et al. (2013), las políticas que priorizan la eficiencia económica sobre las necesidades sociales y educativas de las comunidades rurales pueden perpetuar la exclusión y la desigualdad, subrayando la urgencia de desarrollar enfoques más inclusivos y adaptados a las realidades rurales. Además, el cierre de escuelas rurales no solo afecta la educación de los niños, sino también la cohesión social de las comunidades,

ya que estas instituciones actúan como los únicos vínculos institucionales entre el Estado y las comunidades, desempeñando un papel clave en la promoción de la identidad y el capital social local (CEPAL, 2007; Vera et al., 2013).

Este impacto negativo se observa en toda América Latina, donde los cierres de escuelas rurales, motivados por la disminución de matrícula y los escasos recursos que tienen para funcionar, han desmantelado espacios cruciales para la educación y la vida social de las comunidades. La pérdida de estas instituciones representa una disminución significativa de capital social y cultural, despojando a las comunidades de un punto de encuentro esencial y de un medio para mantener y transmitir sus tradiciones y valores culturales (BBC News Mundo, 2021). Un ejemplo concreto de esta situación es el caso de las escuelas rurales de Petroca, en Chile, donde el cierre de estos establecimientos ha generado no solo la interrupción de la educación, sino también una pérdida significativa para la comunidad local, afectando su cohesión y provocando el desplazamiento de familias que buscan mantener acceso a la educación para sus hijos (BBC News Mundo, 2021). Las escuelas rurales no solo impactan en la educación, sino que también desempeñan un rol crucial en el fortalecimiento del tejido social de las comunidades. Estas escuelas actúan como puntos de encuentro para la comunidad, facilitando la participación de los padres y otros miembros de la comunidad en las actividades escolares. Este involucramiento comunitario potencia el sentido de pertenencia y fomenta la cohesión social, lo cual es especialmente valioso en contextos donde otras instituciones pueden estar ausentes o ser insuficientes (Cárcamo, 2016). Amiguinho (2011) refuerza esta idea, destacando que las escuelas rurales no solo son centros educativos, sino también motores de desarrollo local y preservación cultural, desempeñando un papel esencial en la promoción de la identidad de la comunidad.

En el contexto de la "nueva ruralidad," las escuelas rurales enfrentan el reto de adaptarse a cambios demográficos y económicos que afectan sus comunidades. La implementación de microcentros, como se ha observado en la Provincia de Ñuble, ha sido una respuesta organizativa para enfrentar estos desafíos, facilitando la colaboración entre escuelas y promoviendo la innovación pedagógica. Sin embargo, los docentes han expresado insatisfacción con la operatividad actual de estos microcentros, señalando que se han convertido en espacios más burocráticos que de intercambio pedagógico efectivo (Cárcamo, 2016). Esto resalta la necesidad de replantear estas iniciativas

para que realmente apoyen el desarrollo de la comunidad y la mejora continua de la educación.

Para maximizar el impacto educativo y social de las escuelas rurales, es fundamental abordar no solo las barreras pedagógicas, sino también las barreras estructurales y sistémicas que limitan su efectividad. Las deficiencias en la infraestructura, como la falta de instalaciones adecuadas, el deterioro de los edificios escolares y la carencia de servicios básicos como agua potable y electricidad, afectan significativamente la calidad de la educación que los estudiantes reciben en estas áreas (UNESCO, 2017).

Para mejorar estas condiciones, es crucial que se prioricen inversiones en la infraestructura física de las escuelas rurales. Esto incluye la renovación y mantenimiento de los edificios escolares para asegurar ambientes de aprendizaje seguros y adecuados, lo cual puede tener un impacto positivo en la retención de estudiantes y en su rendimiento académico (Banco Mundial, 2018). Además, se deben fortalecer las políticas educativas que reconozcan las particularidades del contexto rural y que aborden directamente estas necesidades estructurales, asegurando que todas las escuelas rurales tengan acceso a recursos que les permitan operar de manera efectiva y equitativa (UNICEF, 2019). Además de la infraestructura, la conectividad digital en todas las escuelas rurales es esencial para cerrar la brecha educativa y proporcionar a los estudiantes las herramientas necesarias para un aprendizaje moderno y conectado. Según Monge et al. (2020), desarrollar propuestas concretas que incluyan programas de apoyo específicos y la inclusión de la perspectiva rural en la formulación de políticas educativas nacionales es crucial para garantizar una educación de calidad para todos los estudiantes, independientemente de su ubicación geográfica.

Las escuelas rurales tienen un impacto profundo en las comunidades a las que sirven, tanto en términos educativos como sociales. Sin embargo, para que puedan cumplir su potencial como agentes de cambio y desarrollo sostenible, es esencial que se implementen políticas inclusivas y adaptativas que respondan a sus necesidades específicas. De esta manera, se podrá asegurar una educación equitativa y de calidad que contribuya al fortalecimiento y revitalización de las comunidades rurales en Chile. Como afirma Amiguinho (2011), el fortalecimiento de las escuelas rurales como centros comunitarios no solo responde a las necesidades educativas, sino que también promueve el desarrollo local y la cohesión social, aspectos fundamentales para la sostenibilidad de las zonas rurales.



(Fig. 20.) Mapa conceptual escuela-desarrollo local-comunidad, Curacautín. Elaboración propia.

La escuela no puede existir sin su comunidad (Fig. 20.), ya que es una parte fundamental de la historia de cada localidad y está profundamente arraigada en la memoria social de sus habitantes, formando un vínculo en el territorio donde se emplaza. La comunidad, las familias, el territorio y la cultura conforman un conjunto de identidad que da forma a las escuelas rurales.

Como señala Guillermo Williamson: "…no es solo en la escuela donde nos formamos, nos hacemos dialogando, viviendo, trabajando, aprendiendo en muchos espacios y modalidades educacionales a lo largo de nuestras existencias personales o colectivas. Y es en esos territorios donde encontramos diversas culturas, lenguas y mundos diversos en contacto, en coexistencia o convivencia, en competencia o cooperación, en relaciones de dominación y subordinación, de hegemonías y resistencias" (Williamson, 2017). Esta reflexión subraya que la escuela, más allá de ser un simple espacio de aprendizaje formal, actúa como un nodo central donde convergen y se potencian las múltiples dimensiones de la vida comunitaria, enriqueciendo la experiencia educativa y fortaleciendo los lazos sociales y culturales de su entorno.

2.-IMPACTO DE LA ESCASEZ HÍDRICA EN LAS ESCUELAS RURALES

2.2.1. Situación actual sobre la escasez de agua potable en escuelas rurales.

La escasez de agua potable es un problema grave que afecta a millones de niños en América Latina y el Caribe (Fig.21.). Según UNICEF (2023), uno de cada seis niños en la región, lo que equivale a 27.5 millones, vive en áreas con una elevada escasez de agua. Esta situación pone en riesgo no solo la salud de los niños, sino también su bienestar general, al verse privados de servicios esenciales como el acceso a agua potable y saneamiento. La falta de agua adecuada no solo afecta su higiene diaria, sino que también incrementa la prevalencia de enfermedades prevenibles y limita su capacidad de asistir regularmente a la escuela. Estas dificultades se ven agravadas por el cambio climático, que está acelerando el agotamiento de las fuentes de agua y aumentando la demanda. UNICEF advierte que la región enfrentará un aumento del 43% en la demanda de agua en los próximos años, intensificando la competencia por los recursos hídricos (UNICEF, 2023).

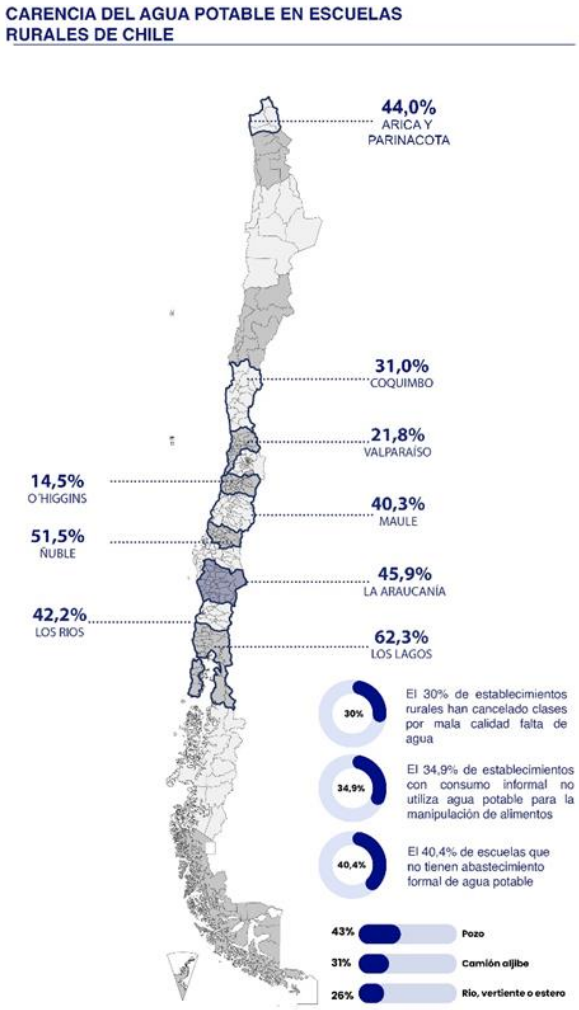
La vulnerabilidad hídrica afecta principalmente a las comunidades rurales, donde 4.8 millones de niños están expuestos a una doble carga: alta escasez de agua y niveles bajos de servicios de agua potable. Esta situación es alarmante, ya que la falta de agua potable adecuada contribuye a la mortalidad infantil por enfermedades prevenibles, como las infecciones gastrointestinales, que podrían evitarse con acceso a agua segura (UNICEF, 2023). Esta crisis hídrica no solo impacta la salud física de los niños, sino también su desarrollo cognitivo y sus oportunidades de futuro. En muchas comunidades rurales, las niñas y mujeres son las encargadas de recolectar agua, lo que limita su tiempo disponible para asistir a la escuela o participar en otras actividades productivas (Unicef, 2019).



(Fig.21.) World Resources Institute. (n.d.). Estrés hídrico en América latina, Aqueduct Water Risk Atlas [Mapa].

Chile (Fig.22.), al igual que el resto de América Latina, no es ajeno a esta problemática. La escasez de agua potable en las escuelas rurales es un problema significativo que afecta la calidad de la educación y la salud de miles de estudiantes en el país. Un informe de la Fundación Amulén (2019) reveló que aproximadamente el 40.4% de las escuelas rurales en Chile no tienen acceso formal a agua potable y dependen de fuentes informales como pozos, camiones aljibe, ríos y esteros. Este acceso irregular impacta negativamente tanto en términos sanitarios como educativos, limitando las condiciones de aprendizaje de los estudiantes. En la región de Los Lagos, el 62.3% de las escuelas rurales se abastecen de fuentes informales, mientras que la región de O'Higgins presenta mejores condiciones, con solo el 14.5% de sus escuelas en esta situación (Fundación Amulén, 2019).

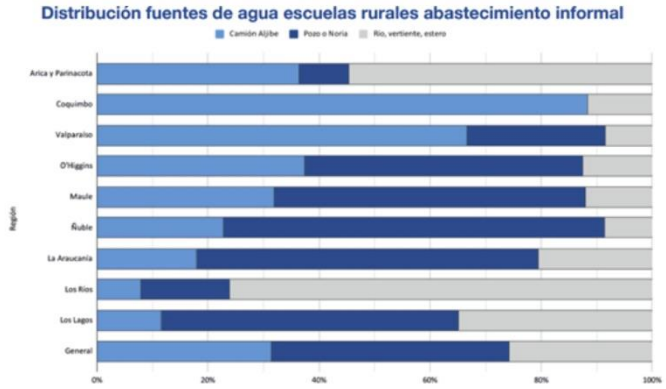
Las escuelas que dependen de estas fuentes informales suelen enfrentar problemas significativos en términos de calidad y continuidad del suministro de agua. Esto se traduce en interrupciones frecuentes del servicio, menores resoluciones sanitarias y una percepción negativa sobre la suficiencia y la calidad del agua disponible. Esta situación impacta directamente en la asistencia escolar, ya que el 6.2% de las escuelas rurales que no cuentan con agua potable adecuada reportan tasas de asistencias inferiores al 80%, un porcentaje crítico si se considera



(Fig.22.) Imagen de elaboración propia con datos de Fundación Amulén. (2019). Carencia del agua potable en escuelas rurales de Chile [Mapa].

que el Ministerio de Educación de Chile establece un mínimo del 85% para la promoción de curso (Fundación Amulén, 2019).

Además, la falta de acceso a agua potable en las escuelas afecta otros aspectos cruciales, como la manipulación segura de alimentos. Como se observa en el grafico (Fig.22.) en muchas escuelas rurales que dependen de pozos o norias, solo el 46.9% utiliza agua en condiciones aptas para el consumo humano. Esto significa que miles de estudiantes están expuestos a riesgos sanitarios, ya que el consumo de agua no tratada puede provocar enfermedades graves, afectando su bienestar y rendimiento académico (Fundación Amulén, 2019). Aproximadamente 6,400 estudiantes en Chile se ven directamente afectados por este problema, lo que refleja la gravedad de la situación en las zonas rurales del país.



(Fig.22.) Fundación Amulén. (2019). Distribución de fuentes de agua en escuelas rurales con abastecimiento informal [Gráfico]. Fundación Amulén.

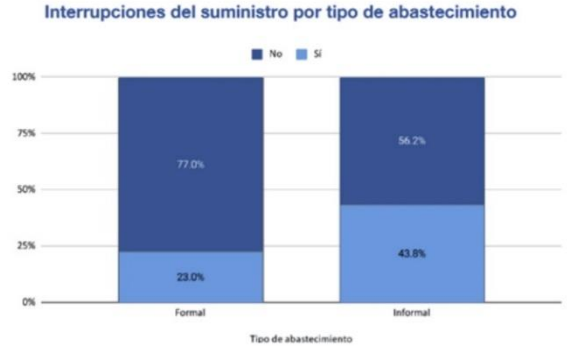
Esta crisis hídrica es especialmente visible en regiones como Valparaíso, donde la escasez de agua ha llevado a la suspensión de clases en algunas escuelas. Un ejemplo es la escuela de Petorca, donde el déficit de agua ha alcanzado el 70%, obligando a los colegios a funcionar solo en media jornada. Además, el 80% de la población en la zona depende de camiones aljibe para obtener agua, una medida que refleja la magnitud del problema. (Hermosilla, L., & Montoya, A, 2021)

La insuficiencia de las medidas temporales para resolver la crisis del agua también es evidente en otras regiones como La Araucanía. En Galvarino, los apoderados de la Escuela F-348 tomaron el establecimiento debido a la falta de agua potable y los compromisos incumplidos por las autoridades comunales, reflejando la frustración generalizada de las comunidades rurales (Cabrera & Ancao, 2023). Esta problemática se refleja también en la Escuela Manzanar, donde, ante la pregunta sobre la calidad del agua potable: "¿La escuela cuenta con acceso a agua potable segura y suficiente para el consumo de los estudiantes y el personal?", el profesor explicó:

"En cuanto al agua que se consume en nuestra localidad, esta proviene de captación superficial, filtrada por un APR rural. Sin embargo, no siempre es de buena calidad, ya que se enturbia, sobre todo cuando llueve. Las instalaciones del APR son

antiguas, lo que provoca anomalías y hace que el agua no llegue en óptimas condiciones." (Entrevista de elaboración propia, septiembre de 2023).

Tal como se puede observar en el gráfico (Fig.23.), aquellos establecimientos que cuentan con fuentes formales de agua potable presentan un suministro con menor interrupción en su funcionamiento. De ellos, aproximadamente el 23% declara que hay algún tipo de interrupción, ya sea puntual, estacional o exacerbada. Por el contrario, alrededor del 44% de las escuelas carentes del recurso declaran que el sistema presenta interrupciones, es decir, casi el doble que en el caso anterior. Esto cobra relevancia ya que, por mandato del Mineduc, los establecimientos deben contar con suministro de agua para su funcionamiento, de lo contrario deben cancelar las clases, lo que puede afectar directamente en el aprendizaje de los estudiantes.



(Fig.23.) Fundación Amulén. (2019). Interrupciones del suministro por tipo de abastecimiento en escuelas rurales [Gráfico]. Fundación Amulén.

La escasez de agua potable en las escuelas rurales no es un problema aislado, sino una manifestación de desigualdades que afectan a las comunidades vulnerables en Chile y América Latina. Las condiciones de vida de los niños están profundamente ligadas al acceso a servicios básicos como agua potable, y cuando este es deficiente, su salud, educación y futuro se ven comprometidos. El cambio climático, con su impacto en la disponibilidad de agua, exacerba esta situación y demanda respuestas urgentes y sostenibles. No se trata solo de soluciones temporales, como el uso de camiones aljibe, sino de la implementación de infraestructuras resilientes y sostenibles que garanticen un suministro constante de agua segura. Además, este desafío requiere un enfoque multidimensional que integre educación y salud. Las políticas públicas deben enfocarse en priorizar a las comunidades rurales, asegurando el acceso a recursos hídricos de calidad y promoviendo la equidad en el desarrollo humano. Solo a través de cambios estructurales y un compromiso real con la justicia climática será posible romper el ciclo de pobreza que afecta a estas comunidades. Estas acciones no solo mejorarían la calidad de vida de las personas en zonas rurales, sino que también garantizarían un futuro más justo y sostenible para las próximas generaciones, con mayores oportunidades para su desarrollo y bienestar.

2.2.3. Condiciones de los sistemas de abastecimiento hídrico en las escuelas rurales.

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, el cambio climático es un factor clave que agrava la crisis hídrica en las comunidades rurales, afectando particularmente a las escuelas. Esta problemática ha impulsado diversas iniciativas para mitigar la escasez de agua potable. Una de las organizaciones más relevantes en este ámbito es la Fundación Amulén, que, junto con el apoyo de ayudas estatales, ha sido fundamental en el desarrollo e implementación de sistemas de abastecimiento que garantizan el acceso continuo y seguro al agua potable. Estos esfuerzos no solo han mejorado la calidad de vida en comunidades vulnerables, sino que también han influido directamente en la educación y bienestar de los estudiantes.

En el contexto de la región sur de Chile, Fundación Amulén está abordando la carencia hídrica en 15 escuelas rurales de las regiones de Los Lagos y La Araucanía, donde más del 40% de los establecimientos carecen de acceso adecuado al agua potable, afectando a más de 27.100 estudiantes. Las soluciones implementadas incluyen la instalación de pozos profundos, sistemas de captación y purificación de agua lluvia, así como mejoras en la infraestructura existente. El objetivo central de estas acciones es garantizar un suministro constante y de calidad, mejorando las condiciones tanto educativas como sanitarias en las escuelas rurales (País Circular, 2023).

Otra iniciativa destacada es el proyecto "Cosechadores de agua" en la comuna de Paine, que ha sido clave para enfrentar la escasez hídrica desde 2015. Bajo el liderazgo de la profesora Silvia Letelier, 13 de las 17 escuelas públicas de la comuna han implementado sistemas de captación de agua lluvia, los cuales recolectan agua para ser utilizada en huertos escolares y riego, ayudando a mitigar los efectos de la crisis hídrica en la región (País Circular, 2024). Letelier explica: “No nos quedamos solo con los estanques de las escuelas, porque con las precipitaciones de este año, los colectores de agua se llenaron con las primeras lluvias. Como también replicamos el proyecto en hogares, las familias están integradas al proceso. El año pasado logramos cosechar alrededor de 90.000 litros de agua lluvia. Es una cifra impactante, y eso significa que podríamos cosechar más” (Letelier, 2024).

El impacto comunitario de los proyectos implementados para mitigar la crisis hídrica ha sido significativo, no solo en términos de infraestructura, sino también en la transformación de las dinámicas familiares y escolares. Como se mencionó anteriormente, se han cosechado alrededor de 90.000 litros de

agua lluvia al año, lo que no solo cubre las necesidades escolares, sino que también ha concienciado a la población sobre el uso eficiente de los recursos hídricos. Además, se han llevado a cabo talleres y programas educativos en las escuelas y hogares para enseñar a las familias soluciones creativas de recolección de agua (País Circular, 2024).

Como se ha mencionado en diversos documentos y noticias a lo largo de esta investigación, es igualmente crucial considerar la opinión de la comunidad con relación a los problemas de escasez hídrica. En el siguiente apartado, se presentarán algunos testimonios recopilados por la Fundación Amulén, los cuales reflejan de manera clara la magnitud y el impacto de la crisis hídrica en las zonas rurales.

- **Eterlina del Carmen**, habitante de Alto Biobío. “solía levantarme temprano para recoger agua, en garrafas, tarros, para poder hacer de todo. Para ir a lavar yo tenía que bajar al río, pero esta vertiente hoy está seca. Y ahora el agua que nos llega es sucia"

-**Emelin Bustos**, de Licantén, aporta una visión desde el ámbito educativo, señala que la falta de agua en las escuelas generaba una constante preocupación: “La escuela, al abastecerse con camiones aljibe, tenía esta constante preocupación e incertidumbre de saber si habría agua para poder hacer las clases, y esto ha sido así desde siempre.

-**Carolina Mondaca Fredes**, también de Licantén, comenta cómo el colegio en el que trabaja ha cambiado a lo largo de los años. En los años 80, contaban con una fuente natural de agua, pero con el tiempo, esta vertiente comenzó a secarse, lo que obligó a depender del abastecimiento por camiones aljibe: “Con el tiempo se empezó a secar el agua y nosotros comenzamos con camión aljibe" (Fundación Amulén, 2024).

Estos testimonios evidencian la precariedad en la que viven muchas familias en las localidades rurales, quienes dependen de fuentes naturales cada vez más agotadas o contaminadas. La inseguridad hídrica no solo afecta su bienestar físico, sino que también interfiere en el funcionamiento y la continuidad de la educación en estas comunidades. Esto refleja cómo el cambio climático ha transformado incluso a aquellas zonas que antes contaban con abundantes recursos hídricos, subrayando la necesidad urgente de los proyectos actuales, que buscan dar respuestas concretas a esta creciente problemática.

En este contexto, las escuelas rurales se ven especialmente vulnerables, ya que muchas dependen de sistemas de abastecimiento de agua inadecuados o insuficientes. A

continuación, se presentará la situación de algunas escuelas rurales en cuanto a su acceso al agua potable, destacando las soluciones implementadas y las mejoras logradas gracias a la intervención de la Fundación Amulén.

-**La escuela Los Molles**, ubicada a 10 kilómetros del centro urbano de la comuna de Marga Marga, actualmente tiene una matrícula de 63 estudiantes. Sin embargo, incluyendo al cuerpo docente, personal de apoyo y otros trabajadores, el total de personas en el establecimiento asciende a 80.

En cuanto al abastecimiento de agua, la escuela depende de camiones aljibe proporcionados por la Corporación Municipal de Quilpué, los cuales entregan 10.000 litros de agua semanalmente. Este suministro se almacena en un estanque elevado, desde donde se distribuye por gravedad al resto del establecimiento. Sin embargo, el agua no es clorada, ya que el sistema de abastecimiento a través de camiones aljibe no cumple con la normativa chilena de agua potable. (Fundación Amulén, 2024).

-reutilización de aguas grises (Fig.24.)

se propuso como solución para mejorar la disponibilidad hídrica en la escuela la reutilización de aguas grises. Debido a la escasez hídrica que afecta a la región, la búsqueda de nuevas fuentes de agua resulta compleja y poco viable. Por lo tanto, la reutilización de aguas grises surge como una alternativa eficiente, ya que permite reservar el agua potable exclusivamente para el consumo humano, mientras que las aguas grises tratadas se pueden utilizar para riego y otras actividades.

Este proyecto, además, se alinea con el enfoque ambientalista y de sustentabilidad rural promovido por el establecimiento, reflejado en el trabajo de jardines y huertos escolares. Al destinar las aguas grises tratadas al riego, se logrará un impacto positivo en la comunidad escolar, fomentando actividades que refuercen la conciencia ambiental y el desarrollo integral de los estudiantes. (Fundación Amulén, 2024).



(Fig. 24.) Fundación Amulén. (s.f.). Actividad educativa en una escuela rural, reutilización de aguas grises escuela los molles [Fotografía]. Fundación Amulén.

-**La escuela Hardy Minte Bartsch,** se encuentra ubicada en la comuna de Puerto Varas. Cuenta con una matrícula de 32 estudiantes, Sin embargo, incluyendo al cuerpo docente, personal de apoyo y otros trabajadores, el total de personas en el establecimiento asciende a 40. Inicialmente, la escuela se abastecía de agua a través de una noria de aproximadamente 12 metros de profundidad y 3 metros de diámetro que está recubierta con una caseta metálica. Con una bomba, impulsaban el agua hacia un estanque en altura (3 metros.) que por gravedad se distribuye hacia el establecimiento. El suministro no es tratado ni clorado, por lo que la dirección declaraba que es de calidad no potable. Debido a la disminución de los niveles de la noria en meses estivales, el sostenedor debía enviar un camión aljibe entregando 2.000 litros a la semana. Por lo tanto, la escuela tenía un suministro de agua que no cumplía con la cantidad, calidad, ni continuidad suficiente para asegurar el buen funcionamiento de la escuela (Fundación Amulén, 2024).

-Captación y tratamiento de aguas lluvias (Fig.25.)

se consideró disponer de una nueva fuente de agua para evitar los cortes de suministro estacionales. Para lo cual se realizó un estudio hidrogeológico con el objetivo de conocer la profundidad de recursos hídricos subterráneos, así como la estructura, geometría y relación del posible acuífero con las unidades geológicas existentes en la escuela. Tras los resultados obtenidos, se construyó el pozo, sin embargo, no se pudo habilitar ya que no se encontró suficiente agua.

Por lo tanto, se decidió modificar el proyecto inicial. Después de revisar los diferentes escenarios, se optó por instalar un sistema de captación de agua lluvia, que aprovecha los techos del establecimiento para recolectar y potabilizar el agua. Esta decisión se tomó considerando que el clima de la zona favorece la captación de lluvia, lo que permite cubrir las necesidades hídricas de manera más eficiente (Fundación Amulén, 2024).



(Fig. 25.) Fundación Amulén. (s.f.). sistema de captación y tratamiento de aguas lluvias escuela Hardy minte bartsh [Fotografía]. Fundación Amulén.

-La Escuela Ruca Raqui se encuentra ubicada en la comunidad Anüweyeco Lorenzo Huenten – Isla Huapi, a 23 km del centro urbano de la comuna de Saavedra, Región de La Araucanía. cuenta con una matrícula de 57 estudiantes. La comunidad educativa está conformada también por profesoras y profesores, dirección, manipuladora de alimentos, asistentes de educación, entre otros, alcanzando un total de 78 personas en la escuela (Fundación Amulén, 2024).

El establecimiento se abastece a través de un pozo profundo de 50 mts. aproximadamente, el que cuenta con buen caudal y no presenta cortes estacionales por bajas en el acuífero. El sistema de suministro posee una caseta con una bomba eléctrica que impulsa el agua hacia un estanque de almacenamiento ubicado en altura en una torre metálica, para luego, por gravedad, disponerla en el establecimiento. Por otra parte, el sistema no presenta tratamiento de agua ni filtrado, solo cloración mediante pastillas, a pesar de ello no la consumen de manera directa.

-Construcción y habilitación de pozo profundo (Fig.26.).

Teniendo en consideración que la fuente de suministro de agua potable del establecimiento cumple con los estándares mínimos para entregar un abastecimiento seguro en términos de cantidad, es necesario diseñar un proyecto que permita solucionar los problemas asociados a la calidad y continuidad. Dado esto, el mejoramiento de infraestructura permitirá tratar y potabilizar el agua que será distribuida a la escuela.

Para ello, se propone la construcción y habilitación de un pozo profundo que permita entregar un aporte seguro para el establecimiento, asegurando su calidad potable a través del tratamiento con los filtros necesarios y cloración automática cuyos equipos estarán instalados en una caseta de tratamiento y almacenamiento (Fundación Amulén, 2024).



(Fig. 26.) Fundación Amulén. (s.f.). Construcción y habilitación de pozo profundo escuela ruca raqui [Fotografía]. Fundación Amulén.

Las diversas fuentes de agua utilizadas en las escuelas rurales han demostrado ser fundamentales para mitigar los efectos de la crisis hídrica en estas comunidades. Cada establecimiento ha adoptado soluciones adecuadas a su contexto, desde el uso de camiones aljibe hasta la instalación de sistemas de captación de agua lluvia o la reutilización de aguas grises. Estas intervenciones no solo han permitido asegurar un suministro de agua más constante y eficiente, sino que también han mejorado las condiciones de vida y la calidad de la educación para los estudiantes, personal docente y la comunidad en general.

La Fundación Amulén ha desempeñado un papel clave en la implementación de proyectos de abastecimiento hídrico, lo que ha permitido que muchas escuelas rurales puedan adaptarse a las dificultades de acceso al agua potable. La reutilización de aguas grises, los sistemas de captación de aguas lluvias y la construcción de pozos profundos son ejemplos de soluciones que no solo abordan las necesidades básicas de agua, sino que también promueven prácticas sustentables y educativas en torno al manejo de recursos naturales.

Estas intervenciones no solo han mejorado el bienestar de las comunidades educativas, sino que también han promovido la concientización sobre la importancia de la sostenibilidad y el uso eficiente del agua. Esto refuerza el compromiso de las escuelas rurales con la preservación del medio ambiente y el desarrollo integral de sus estudiantes. Como mencionó la antropóloga cultural Margaret Mead: “Nunca dudes de que un pequeño grupo de ciudadanos reflexivos y comprometidos puede cambiar el mundo; de hecho, es lo único que lo ha logrado” (Mead, n.d.). Esta cita subraya el poder transformador de las comunidades comprometidas, destacando el impacto que las intervenciones locales pueden tener en las escuelas rurales frente a la crisis hídrica. Las soluciones implementadas han marcado una diferencia significativa, garantizando un acceso más seguro y continuo al agua, y consolidando a las escuelas como centros de resiliencia y desarrollo comunitario en tiempos de crisis hídrica.

En los capítulos anteriores se ha expuesto y reflexionado sobre la situación de la ruralidad y el acceso al agua en Chile, así como el impacto que esta problemática tiene en las escuelas rurales. En el siguiente capitulo se enfocará en la región de la Araucanía ubicada en el sur de Chile, la cual se ha visto gravemente afectada por la crisis hídrica, debido tanto a factores climáticos como a la falta de infraestructura adecuada.

La Araucanía, se caracterizada por su diversidad geográfica entre montañas y ríos, enfrenta un desafío complejo en la gestión de los recursos hídricos. Las comunidades rurales de la región han sido particularmente vulnerables a la escasez de agua, lo que ha tenido un impacto directo no solo en sus formas de vida, sino también en la educación rural, un aspecto vital para el desarrollo de estas áreas.

Como señala Gabriela Mistral, "La tierra es un gran maestro. Nos da su lección de esfuerzo callado, de constancia en su trabajo eterno y silencioso. Si no sabemos escucharla, poco entendemos del verdadero sentido de habitar un lugar" (Mistral, s.f.). Esta cita subraya la importancia de entender el territorio no solo como un espacio físico, sino como una entidad viva que ofrece recursos y enseñanzas a quienes lo habitan, destacando el profundo vínculo entre las comunidades y su entorno natural.

Este capítulo analizará cómo se manifiesta la crisis hídrica en la Región de la Araucanía, los efectos concretos en sus comunidades rurales y las respuestas que el sistema educativo ha implementado para mitigar esta problemática. Se examinará el contexto geográfico particular de la región, identificando las zonas más afectadas, y se discutirá el rol de las escuelas rurales en la búsqueda de soluciones para garantizar un acceso más equitativo y sostenible al agua

CAPITULO III: DEL PROBLEMA AL TERRITORIO.

1.-Region de la Araucanía

1.3.1. Contexto Geográfico “Entre Montañas y Ríos”

"Araucanía, rosa mojada, diviso

adentro de mí mismo o en las provincias del agua

tus raíces, las copas de los desenterrados,

con los alerces rotos, las araucarias muertas...

Eres también patria pateada y hueles mal,

a rencor, a borrasca, a escalofrío."

—Pablo Neruda, (Neruda, 1950, p. xx).

Pablo Neruda en este fragmento habla de cómo se representa la dualidad que caracteriza a la Región de la Araucanía: un paisaje envolvente y lleno de vida, pero también una tierra marcada por una historia de desigualdad y vulnerabilidad. La "rosa mojada" de la Araucanía representa tanto la belleza natural como los desafíos sociales que han moldeado su identidad. Los "alerces rotos" y las "araucarias muertas" son testigos silenciosos de los cambios sufridos por la región y sus comunidades a lo largo del tiempo refleja la profunda conexión entre la geografía de este territorio y su cultura. El paisaje, compuesto de montañas, ríos y extensos bosques nativos, ha sido tanto el refugio de su biodiversidad como el hogar de sus habitantes, principalmente comunidades rurales y pueblos indígenas mapuche, quienes han vivido y subsistido en estrecho vínculo con la naturaleza.

La Región de la Araucanía, ubicada en el sur de Chile, se distingue por su entorno geográfico privilegiado, compuesto por montañas, ríos, lagos y una gran extensión de bosque nativo. Esta diversidad geográfica incluye la Cordillera de los Andes al este, la Depresión Intermedia en el centro y la Cordillera de la Costa al oeste, lo que genera una variedad de microclimas que van desde zonas de alta montaña con nevadas y precipitaciones abundantes, hasta valles templados y tierras fértiles (Instituto Nacional de Estadísticas [INE], 2020).

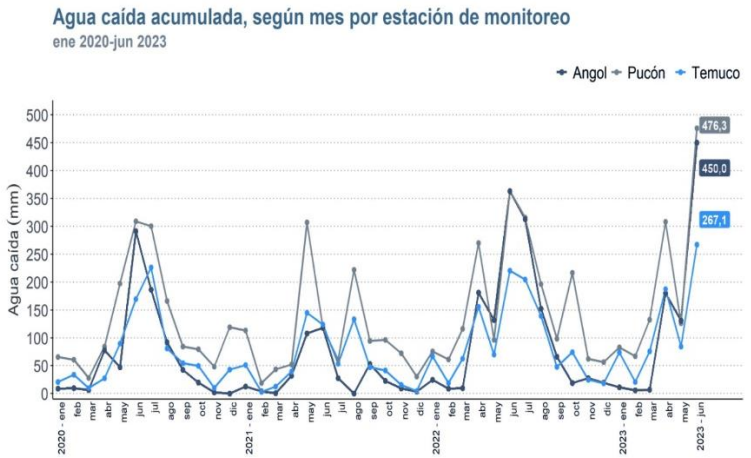
Esta región presenta un clima predominante de tipo templado oceánico lluvioso, especialmente en la Cordillera de la Costa y la precordillera andina. Debido a su relativo alejamiento del mar, se observa una mayor continentalidad, lo que provoca contrastes de temperatura más marcados, con mínimas de 2°C y máximas de 23°C durante los meses más cálidos. Las precipitaciones varían entre 1.500 y 2.500 mm anuales, con períodos secos que duran entre uno y dos meses. En el norte de la región, predomina un clima templado cálido con menor precipitación, característico de la vecina Región del Biobío. El cordón montañoso de Nahuelbuta

intercepta la influencia oceánica y los vientos húmedos, lo que disminuye las precipitaciones y aumenta los períodos de sequía.

En la costa, se encuentra una variante de clima templado oceánico de costa occidental, caracterizado por una alta humedad relativa y precipitaciones que oscilan entre 1.000 y 1.500 mm, con las mayores precipitaciones registradas en las partes más altas de la Cordillera de la Costa.

En la Cordillera de los Andes predomina un clima frío de altura, con precipitaciones que alcanzan los 3.000 mm anuales y temperaturas bajas durante todo el año. Por encima de los 1.500 metros sobre el nivel del mar, las precipitaciones son principalmente sólidas y las temperaturas suelen estar por debajo de los 0°C. Los períodos secos en estas zonas también oscilan entre uno y dos meses. (Instituto Nacional de Estadísticas [INE], 2023).

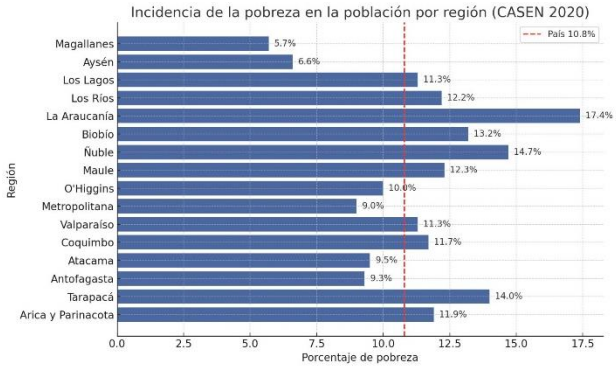
La región se diferencia de las áreas más septentrionales debido a un aumento en las precipitaciones y un descenso en las temperaturas. Este clima templado y lluvioso es un factor clave para el crecimiento de los bosques nativos, ya que en algunas zonas las precipitaciones superan los 2.000 mm anuales (Fig. 27). Sin embargo, este clima también representa desafíos, como la gestión de inundaciones y la erosión de suelos en áreas agrícolas (Centro de Investigación en Cambio Climático [CICC], 2022}) Los ríos, como el Cautín y el Toltén, juegan un papel fundamental en el abastecimiento de agua y la agricultura, además de ser cruciales para la conectividad de las comunidades rurales que se encuentran dispersas a lo largo de la región. Sin embargo, la limitada infraestructura para mejorar esta conectividad y la competencia por los recursos hídricos han exacerbado las condiciones de vida de muchas comunidades, dejando a gran parte de la población en situación de precariedad.



(Fig.27.) Dirección General de Aguas Araucanía. (2023). Agua caída acumulada, según mes por estación de monitoreo (ene 2020 - jun 2023) [Gráfico]. En Boletín Semestral de Medio Ambiente Región de La Araucanía, Primer Semestre 2023 (Edición N° 7, p. 20). Seremi de Medioambiente de La Araucanía.

Además, el cambio climático ha incrementado estos problemas, afectando particularmente a las economías agrícolas y rurales que dependen de la estabilidad climática para sobrevivir. Esto ha generado desafíos significativos para la gestión del agua y la planificación a largo plazo en la región, poniendo en riesgo no solo la productividad agrícola, sino también el acceso al agua potable para muchas familias rurales (Centro de Investigación en Cambio Climático [CICC], 2022).

En términos sociales, la Araucanía enfrenta altos niveles de pobreza y desigualdad. Con una población rural de 281.127 personas, la región presenta un índice de ruralidad del 32,3%, uno de los más altos de Chile por lo cual también se destaca en la que tiene más escuelas rurales con el numero de 607 escuelas y 33.699 estudiantes que se puede apreciar en la tabla (Fig.28.). Según la Encuesta CASEN 2020 (Fig. 29.), la región tiene una tasa de pobreza del 17,4%, muy superior al promedio nacional de 10,8%, lo que la posiciona como la región con la mayor incidencia de pobreza en el país (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2020). Gran parte de su población reside en zonas rurales, donde la falta de acceso a servicios básicos, como el agua potable y el saneamiento, agrava las dificultades económicas (Instituto Nacional de Estadísticas [INE], 2020). Estas comunidades, predominantemente mapuche, dependen de economías agrícolas de subsistencia, las cuales son altamente vulnerables a fenómenos como sequías, heladas y otros impactos del cambio climático, incluyendo la alteración de los patrones de lluvia y el agravamiento de las sequías en verano (Centro de Investigación en Cambio Climático [CICC], 2022).



(Fig.28.) Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2020). Incidencia de la pobreza en la población por región (CASEN 2020) [Gráfico]. En Encuesta CASEN 2020. Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

Tablas 3 y 4. Número de establecimientos y de estudiantes por región, y comparación con el total regional

Región	N° de establecimientos rurales	% del total regional
Arica y Parinacota	35	24,48%
Tarapacá	50	24,75%
Antofagasta	15	6,28%
Atacama	36	21,56%
Coquimbo	307	41,49%
Valparaíso	136	11,28%
Metropolitana	114	3,92%
O'Higgins	251	36,70%
Maule	373	45,49%
Ñuble	205	50,12%
Biobío	295	28,18%
La Araucanía	607	56,31%
Los Ríos	268	58,64%
Los Lagos	508	53,93%
Aysén	35	39,77%
Magallanes	13	13,98%

Región	N° estudiantes en establecimientos rurales	% del total regional
Arica y Parinacota	3.537	6,60%
Tarapacá	12.875	15,32%
Antofagasta	624	0,47%
Atacama	1.845	2,77%
Coquimbo	15.698	8,86%
Valparaíso	13.151	3,54%
Metropolitana	34.426	2,50%
O'Higgins	32.437	16,30%
Maule	40.107	17,58%
Ñuble	14.886	15,08%
Biobío	25.879	8,07%
La Araucanía	33.966	16,10%
Los Ríos	17.490	21,51%
Los Lagos	30.725	16,57%
Aysén	3.609	15,56%
Magallanes	282	0,89%

(Fig.29.) Ministerio de Educación, Centro de Estudios. (2024). Análisis de la educación rural en Chile. Evidencias 61. Santiago, Chile: Ministerio de Educación.

A pesar de los desafíos económicos y climáticos, la Araucanía es también un importante núcleo cultural, donde la cultura mapuche se mantiene como una pieza clave de la identidad regional. Las comunidades mapuches han preservado sus tradiciones ancestrales, profundamente conectadas con la tierra y el entorno natural. La cosmovisión mapuche está centrada en el respeto por la naturaleza, percibiendo los ríos, montañas y bosques como elementos sagrados y vivos (Grupo Talca, 2020).

Esta profunda conexión cultural con el territorio ha influido en el uso de los recursos naturales y en la relación de las comunidades con su entorno. Las prácticas agrícolas tradicionales, como la horticultura y la ganadería, siguen siendo esenciales para la subsistencia de muchas familias, y el mapudungun, el idioma mapuche, es hablado por una parte significativa de la población (Grupo Talca, 2020).

Sin embargo, a pesar de su riqueza cultural, la región ha enfrentado tensiones sociales debido a la marginación histórica del pueblo mapuche y la falta de reconocimiento adecuado de sus derechos sobre la tierra, lo que ha derivado en conflictos territoriales en diversas zonas (INE, 2020).

La Araucanía, con su geografía diversa y su rica herencia cultural, enfrenta serios desafíos en términos de pobreza, acceso a servicios básicos y vulnerabilidad climática. Las políticas públicas deben abordar estos problemas desde una perspectiva integral, que no solo contemple las dificultades económicas y climáticas, sino también la preservación de la cultura y la identidad de los pueblos originarios.

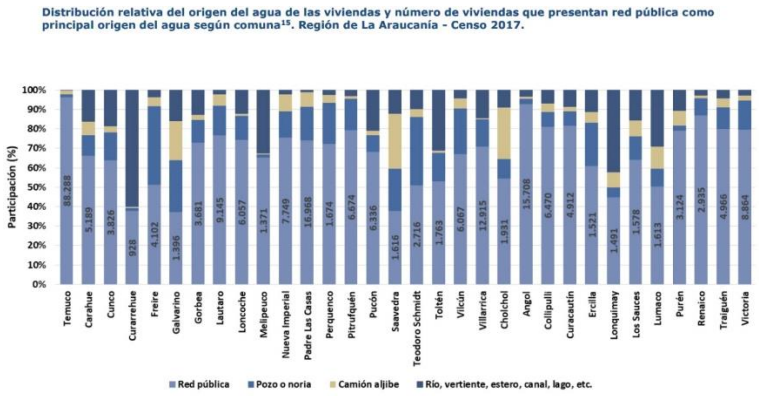
1.3.2. La Araucanía como enclaves de las crisis hídricas en las comunidades rurales.

Mencionado en capítulos anteriores, la Región de La Araucanía, conocida por su abundancia hídrica, se ha convertido en uno de los territorios afectados por la crisis hídrica en Chile. A pesar de ser una zona lluviosa, los efectos combinados del cambio climático, el uso intensivo del agua en la agricultura y la expansión de los monocultivos forestales, principalmente de especies como pinos y eucaliptos, han exacerbado esta crisis en las comunidades rurales. Estas plantaciones requieren grandes cantidades de agua para su crecimiento, a diferencia de los bosques nativos, lo que ha provocado una significativa disminución de los caudales de agua superficial y una sobreexplotación de las napas subterráneas, dejando a muchas comunidades dependientes del suministro de agua mediante camiones aljibe (Lara, 2021).

El establecimiento de las plantaciones forestales en la región comenzó con la promulgación del Decreto Ley 701 en 1974, el cual incentivó el reemplazo de tierras agrícolas y bosques nativos por extensas áreas de monocultivo de pinos y eucaliptos. Según datos del Censo de 2007, un 64,3% del suelo en la Araucanía estaba destinado a este uso, lo que ha generado un impacto ambiental severo. Estas plantaciones no solo consumen grandes cantidades de agua a través de la evapotranspiración, sino que también han contribuido a la pérdida de suelo, la contaminación de las aguas y la degradación de los ecosistemas locales (Arellano, 2017). Este impacto ha sido particularmente significativo en comunas como Lumaco y Collipulli, donde el agotamiento de las napas subterráneas y la erosión del suelo han afectado la calidad de vida de las comunidades rurales (ODEPA, 2018). Estas problemáticas se agravan aún más debido a la crisis hídrica que enfrenta la región en su conjunto. Desde julio de 2017 hasta junio de 2021, La Araucanía ha pasado de ser una zona moderadamente seca para enfrentar niveles extremadamente secos, lo que ha incrementado la vulnerabilidad de las comunidades rurales (Carrasco & Manosalva, 2021). La falta de acceso al agua potable es alarmante: según la Encuesta CASEN 2020, un 66% de las familias rurales de la región no tiene acceso a agua mediante la red pública, situando a La Araucanía entre las regiones con mayor índice de pobreza extrema (5,9%), superando el promedio nacional de 4,3%.

En la región, el INE (2017) reporta que, de las 91.916 viviendas rurales, 13.014 dependen del suministro de agua mediante camiones aljibe, 51.879 utilizan fuentes de aguas superficiales y subterráneas, y solo 26.299 tienen acceso a agua de la red pública. Como se puede apreciar en el grafico (Fig. 30.) las comunas más afectadas por la dependencia de camiones aljibe son Cholchol (41%), Saavedra (36%) y Temuco (31%) (Carrasco

& Manosalva, 2021). Además, apenas el 34% de la población rural cuenta con conexión a alcantarillado, dejando al 66% dependiente de fuentes como pozos y cuerpos de agua superficial, altamente vulnerables a las precipitaciones.



(Fig.30.) Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2017). Distribución relativa del origen del agua de las viviendas y número de viviendas que presentan red pública como principal origen del agua según comuna. En Síntesis, de resultados Censo 2017 Región de La Araucanía (p. 23).

A pesar de la grave situación hídrica que enfrenta La Araucanía, la región nunca ha sido declarada formalmente como zona de sequía por la Dirección General de Aguas (DGA). Esto es sorprendente, considerando que el 74% de los mecanismos legales en Chile para gestionar crisis hídricas, como la reasignación de derechos de agua y la distribución de agua potable mediante camiones aljibe, dependen de las declaraciones de escasez hídrica. Sin este reconocimiento formal, se han limitado las acciones necesarias para enfrentar la crisis en la región (Carrasco & Manosalva, 2021).

La escasez de agua no solo ha afectado el consumo humano, sino que ha tenido un impacto profundo en las actividades productivas de las comunidades rurales, especialmente aquellas de origen mapuche, que dependen del agua para sus cultivos y ganadería. La falta de fuentes hídricas estables ha obligado a muchas de estas comunidades a depender de camiones aljibe para su abastecimiento, una solución temporal que presenta serias limitaciones a largo plazo, tanto en términos económicos como sociales (Navarro Mena, 2017, p. 5). Esta medida, aunque necesaria en tiempos de emergencia, no es sostenible para garantizar la estabilidad económica y el bienestar de las familias rurales a largo plazo.

Además de las repercusiones productivas, la crisis hídrica ha tenido un impacto significativo en las prácticas culturales y espirituales del pueblo. Para ellos, el agua es un elemento sagrado, conocido como "KO", y ocupa un lugar central en su cosmovisión. Ceremonias tradicionales, como el We Tripantu (año nuevo mapuche), dependen de la presencia de cuerpos de agua como ríos y esteros, los cuales han disminuido drásticamente debido a la sequía prolongada. Esto no solo

amenaza la subsistencia física de las comunidades, sino también su identidad cultural y su relación espiritual con el territorio (Montalba et al., 2015).

La crisis hídrica ha afectado gravemente no solo las prácticas agrícolas tradicionales del pueblo, que durante siglos han estado profundamente conectadas con el uso sostenible del agua, sino también la agricultura en toda la región de La Araucanía. Las prácticas mapuches, que permitían una gestión equilibrada y respetuosa de los recursos hídricos, se han visto comprometidas por la falta de lluvias, lo que ha agravado la situación (Neira Barría, 2021).

A nivel general, la falta de precipitaciones en La Araucanía ha provocado importantes pérdidas en los cultivos, especialmente en cereales como el trigo y la avena, donde se han registrado mermas de hasta un 20% en rendimiento debido a la escasez de agua (Díaz, 2023). Además, la calidad de los granos ha disminuido, lo que ha causado problemas de comercialización y en los precios por parte de los compradores. En el sector ganadero y lechero, las praderas se han secado, lo que ha obligado a los productores a reducir su ganado y ha provocado una caída del 30% en los precios de los animales en las ferias (Díaz, 2023).

Esta situación no solo afecta la producción agrícola y ganadera, sino también la seguridad alimentaria de las comunidades rurales, exacerbando las desigualdades socioeconómicas. Las proyecciones climáticas indican que este fenómeno es parte de una tendencia de largo plazo vinculada al cambio climático, lo que sugiere un futuro aún más seco para la región (Garreaud, 2023).

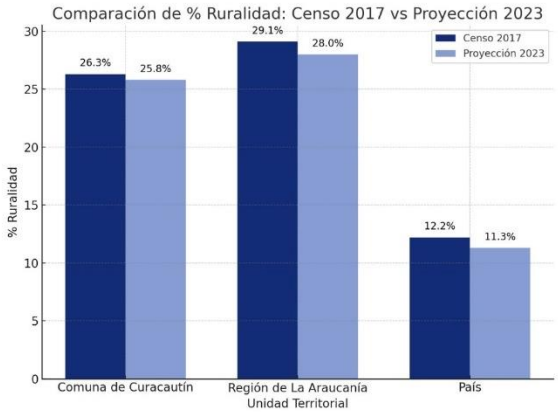
La Araucanía, la región que alguna vez fue rica en recursos hídricos, enfrenta una crisis hídrica que afecta gravemente a sus comunidades rurales. Las causas de esta crisis son múltiples, incluyendo el cambio climático, la expansión de monocultivos y el uso intensivo del agua en la agricultura. Para mitigar los efectos de esta crisis, es crucial adoptar un enfoque integral que combine soluciones tecnológicas con la valorización de las prácticas tradicionales para la captación de agua, garantizando un uso sostenible y equitativo de los recursos hídricos en la región.

2.-CASO DE ESTUDIO, COMUNA DE CURACAUTÍN, ESCUELA RURAL LEFUCO.

2.2.1. El territorio

Después haber comprendido el contexto geográfico y los desafíos hídricos que enfrenta la Región de La Araucanía en los capítulos anteriores, en los capítulos anteriores, este capítulo se enfocara en un caso específico que refleja las problemáticas y características de este territorio. se presentará el caso de la comuna de Curacautín, y más específicamente, la Escuela Rural Lefuco, donde las dinámicas de la crisis hídrica y el contexto geográfico han influido de manera significativa en la comunidad rural. Este análisis permitirá observar cómo, a nivel local, los desafíos identificados previamente se manifiestan en una comunidad concreta."

Curacautín es una comuna ubicada en la Provincia de Malleco, dentro de la Región de La Araucanía, Chile. Su nombre proviene del mapudungún y significa "Piedra de reunión". La comuna tiene una población proyectada de alrededor de 16.000 habitantes, con una importante proporción de su población viviendo en zonas rurales (29,42%) (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2023). El entorno natural de Curacautín es uno de sus mayores atractivos. Situada a 84 kilómetros de Temuco, es conocida por



	Censo 2017		Proyección 2023		% Ruralidad	
Unidad Territorial	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Censo 2017	Proyeccion 2023
Comuna de Curacautín	12.838	4.575	13.514	4.696	26,3	25,8
Región de La Araucanía	678.544	278.680	740.624	287.577	29,1	28,0
País	15.424.263	2.149.740	17.703.812	2.257.077	12,2	11,3

(Fig.31.) Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (2023). Gráfico de comparación de porcentaje de ruralidad: Censo 2017 vs. Proyección 2023.

estar rodeada de volcanes como el Llaima, Tolhuaca y Lonquimay, además de contar con una gran variedad de parques y reservas nacionales, entre los que destacan el Parque Nacional Conguillío y la Reserva Nacional Malalcahuello (Wikipedia, 2023; Araucanía Andina, 2023). Su geografía montañosa, junto a sus ríos y bosques nativos, define gran parte del paisaje y las actividades productivas de la comuna, especialmente en las áreas rurales, donde predominan la agricultura y el turismo ecoturístico (Araucanía Andina, 2023).

Además de su riqueza natural, Curacautín juega un rol relevante en la conservación del patrimonio cultural de las comunidades mapuches que habitan la región. Estos elementos la convierten en un caso representativo de las dinámicas rurales de la región, marcadas por desafíos relacionados con la sostenibilidad y la gestión del agua, así como con la preservación de tradiciones ancestrales (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023).

La zona de Curacautín también está marcada por sus numerosas localidades rurales dispersas, muchas de las cuales carecen de infraestructura básica. El sector rural de Lefuco (Fig.32), en particular, se destaca como un ejemplo de esta dispersión geográfica. A 12 kilómetros del centro urbano de Curacautín, Lefuco está aislado de los servicios esenciales, lo que hace que sus habitantes dependan de soluciones improvisadas y precarias para acceder a recursos básicos.

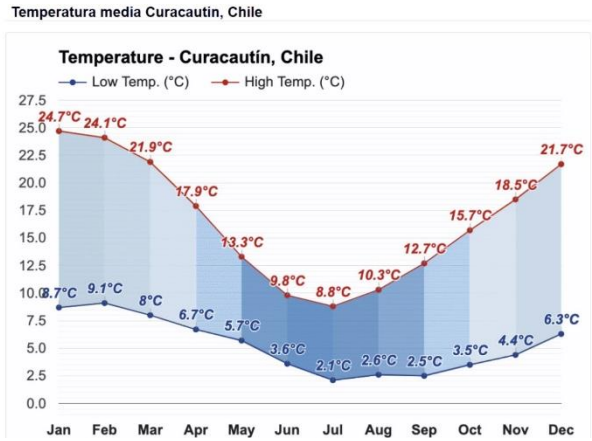
Lefuco no cuenta con un sistema de agua potable rural (APR), y su abastecimiento de agua depende de camiones aljibes o pozos los que no cuentan con un filtro adecuado para potabilizar el agua, una solución temporal que no garantiza el acceso constante a agua de buena calidad. La distancia hasta Curacautín ya sea 17 minutos en automóvil, 44 minutos en bicicleta o 3 horas caminando, subraya el aislamiento de esta comunidad. Además, la falta de centros de salud y la ausencia de puntos de venta de víveres dentro del sector agravan la situación de vulnerabilidad, especialmente para las aproximadamente 120 personas que allí habitan, la mayoría de ellas personas mayores y niños. Esta población también carece de espacios de recreación, lo que limita las oportunidades de desarrollo para la comunidad.



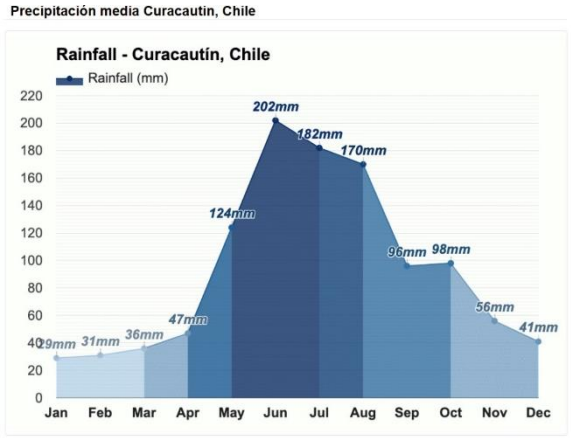
(Fig. 32.) fotografías del sector rural de lefuco, sistemas de acumulación de agua potable. Elaboración propia [fotografía]

El clima de la región, sin embargo, ofrece una oportunidad para mejorar la gestión hídrica de la comunidad. Con precipitaciones anuales que superan los 2.000 mm (dependiendo de la altitud), Lefuco tiene un potencial considerable para implementar sistemas de captación de agua de lluvia. Según la clasificación de Köppen-Geiger, el clima de la zona corresponde al tipo CFB, caracterizado por veranos templados y abundantes lluvias durante todo el año, incluso en los meses más secos, donde se registran precipitaciones considerables (Climate-Data, 2023). Estos sistemas podrían no solo suplir la demanda de agua potable de la comunidad, sino también convertirse en una solución sostenible para mitigar la dependencia de camiones aljibes. Además, el clima templado, con una temperatura media anual de 9.3 °C, facilita la conservación del agua recolectada en estanques y cisternas, minimizando la evaporación durante las estaciones más cálidas (Climate-Data, 2023).

El análisis de los gráficos proporcionados por Weather-Atlas (Fig. 33 para la temperatura y Fig. 34 para la precipitación) revela un patrón climático típico de la zona sur de Chile, con marcadas diferencias estacionales que influyen directamente en las dinámicas de abastecimiento de agua y las condiciones de habitabilidad de la región.



(Fig.33.) Weather-Atlas. (n.d.). Gráfico de temperaturas máximas y mínimas promedio en Curacautín, Chile. En Clima en Curacautín, Chile.



(Fig.34.) Weather-Atlas. (n.d.). Gráfico de precipitación media mensual en Curacautín, Chile. En Clima en Curacautín, Chile.

En primer lugar, los meses de invierno (mayo a agosto) son los más lluviosos, con precipitaciones que alcanzan su punto máximo en junio con 202 mm. Esta alta precipitación coincide con las temperaturas más bajas del año, donde la mínima desciende hasta los 2.1°C en julio. Esta combinación de abundantes lluvias y bajas temperaturas ofrece una oportunidad favorable para la captación y almacenamiento de agua en infraestructuras diseñadas para este fin, ya que la baja evaporación durante los meses fríos permite una mayor conservación del recurso hídrico. Sin embargo, los inviernos fríos también pueden limitar las actividades agrícolas y aumentar la dependencia de la comunidad de otras fuentes de sustento.

En contraste, los meses de verano (diciembre a febrero) presentan temperaturas máximas que oscilan entre los 21.7°C y 24.7°C, lo que coincide con un descenso significativo de la precipitación, con valores que varían entre 31 mm y 49 mm. Este período seco puede representar un desafío considerable para el abastecimiento de agua, particularmente en comunidades rurales como Lefuco, donde el acceso al agua ya es limitado. La menor disponibilidad de agua en verano, sumada a las temperaturas más altas, resalta la necesidad de contar con sistemas de almacenamiento eficientes que puedan suplir la demanda durante estos meses críticos.

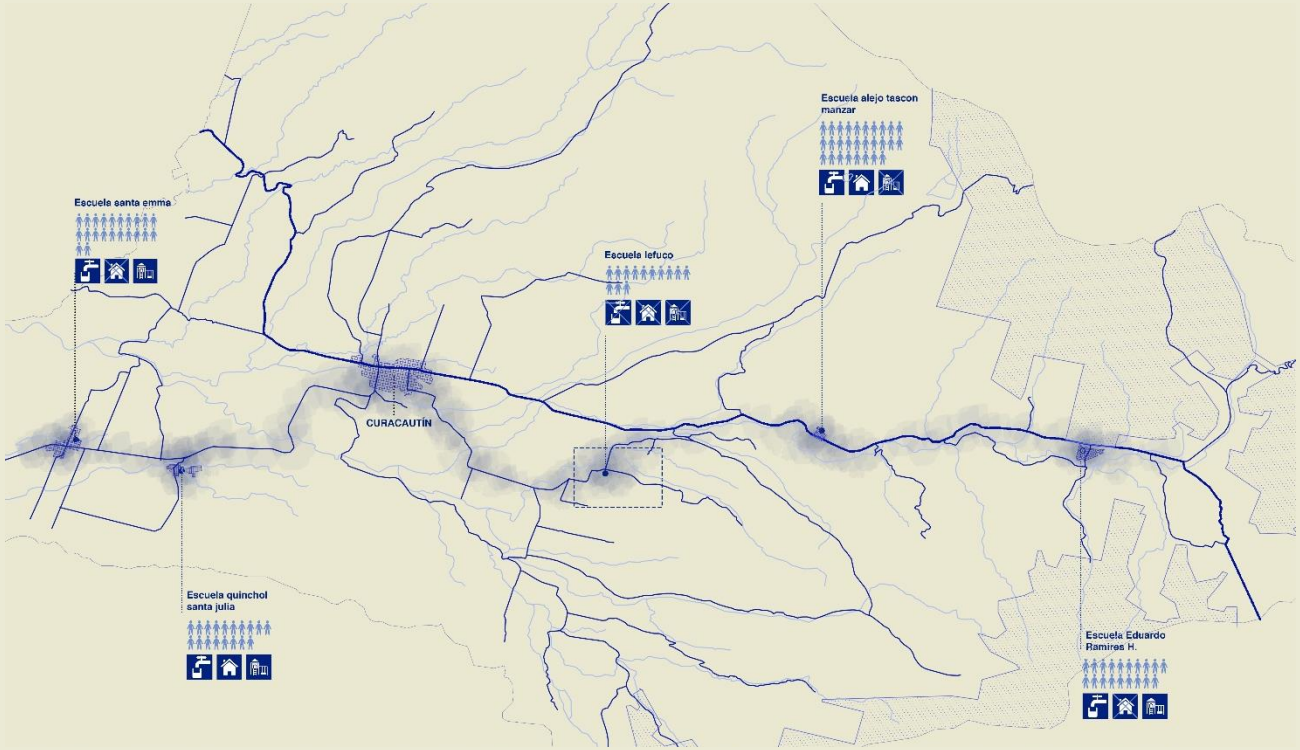
El análisis del contexto geográfico y climático de la comuna de Curacautín, y en particular del sector rural de Lefuco, da a conocer la complejidad de las dinámicas hídricas en esta región. Si bien la abundancia de precipitaciones durante los meses de invierno ofrece oportunidades para la captación y almacenamiento de agua, las comunidades rurales como Lefuco enfrentan desafíos significativos debido a su aislamiento y la falta de infraestructura básica.

En este sentido, la implementación de soluciones, como los sistemas de recolección de agua de lluvia, se vuelve fundamental para mejorar las condiciones de vida en la comunidad. Lefuco, con su clima favorable y sus extensos ríos o vertientes que rodea la comuna, tiene el potencial de desarrollar estrategias que no solo mitiguen la escasez de agua en los meses secos, sino que también fortalezcan su autosuficiencia. Sin embargo, estos sistemas no solo deben ser vistos como soluciones técnicas, sino como mecanismos que fortalezcan el tejido social y cultural de la comunidad rural.

El caso de Lefuco es representativo de muchas comunidades rurales de la Araucanía, donde la interacción entre el territorio y los recursos naturales genera tanto desafíos como oportunidades.

ANALISIS DE 4 ESCUELAS RURALES DE LA COMUNA DE CURACAUTÍN:

En cuanto al acceso a agua potable, la calidad de la infraestructura y los espacios de recreación se identificó que la escuela que no cumplía con las características mencionadas es la Escuela Rural de Lefuco. Las demás escuelas investigadas —1. Escuela Santa Emma, 2. Escuela Quinchol Santa Julia, 4. Escuela Alejo Tascón Manzar y 5. Escuela Eduardo Ramírez H. en Malalcahuello— cuentan con sistemas de agua potable rural, según el mapeo de APR. Sin embargo, la Escuela de Lefuco depende exclusivamente de camiones aljibes para su abastecimiento de agua potable, lo que refleja la falta de un suministro básico y constante.



(Fig. 35.) Mapa de análisis de 4 escuelas rurales de la comuna de Curacautín. Elaboración propia.

COMUNA DE CURACAUTIN, SECTOR RURAL LEFUCO:

La comunidad de Lefuco, situada a 12,7 kilómetros de Curacautín, cuenta con una población rural aproximada de 100 personas y alberga una escuela rural que es el corazón de esta localidad rural.



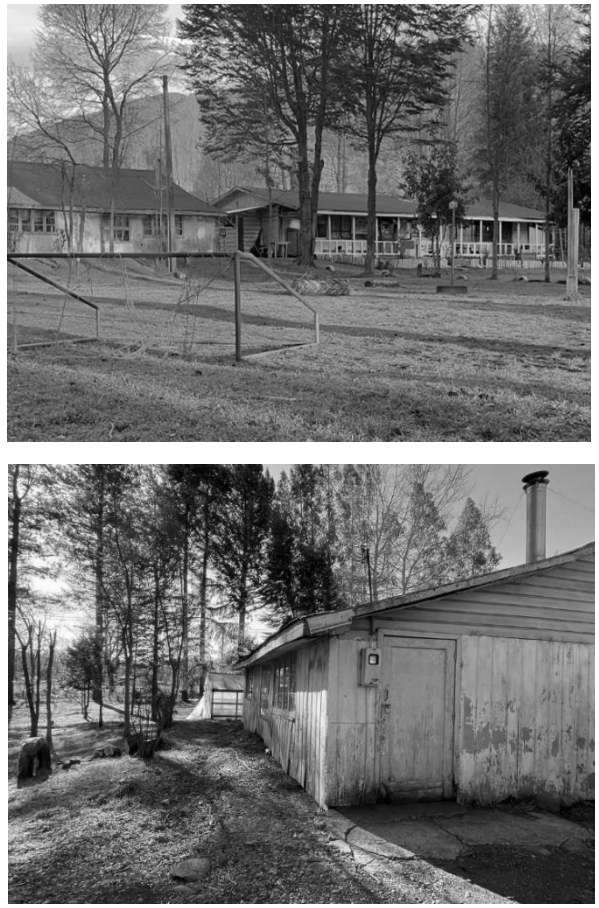
(Fig. 36.) Mapa de la comunidad rural de Lefuco, Curacautín. Elaboración propia.

2.2.2. La escuela

La situación de las escuelas rurales en Curacautín refleja la realidad de muchas zonas rurales en Chile, donde la educación enfrenta desafíos significativos debido a la falta de recursos y las condiciones geográficas adversas. En Curacautín, en la imagen anterior (Fig. 37.) Se han investigado, a través de un análisis de elaboración propia, cinco escuelas rurales que actúan como núcleo en sus respectivas comunidades:

1. Escuela Santa Emma
2. Escuela Quinchol Santa Julia
3. Escuela Lefuco
4. Escuela Alejo Tascón Manzar
5. Escuela Eduardo Ramírez H. en Malalcahuello

Estas escuelas no solo cumplen su función educativa, sino que también son un espacio de encuentro y cohesión social para las comunidades rurales. Sin embargo, otras escuelas del sector han sido afectadas por incendios o cerradas debido a la falta de recursos, lo que pone en evidencia la fragilidad de la infraestructura escolar en la zona. Las escuelas mencionadas anteriormente, representan el corazón de la comunidad, ofreciendo no solo educación, sino también un lugar de encuentro y colaboración comunitaria entre los vecinos.



(Fig. 37.) fotografías de la escuela rural de lefuco, Elaboración propia [fotografía]

Dentro de este contexto, la Escuela Rural de Lefuco se destaca como un ejemplo de los desafíos que enfrentan las escuelas rurales en la región. Ubicada en una comunidad rural dispersa, la escuela cuenta actualmente con 20 estudiantes de 1° a 7° básico, quienes comparten un espacio limitado. La infraestructura de la escuela es básica: una sala de clases que debe acomodar a niños de entre 6 y 12 años, un comedor, dos baños, y ninguna área exterior cubierta para que los niños se puedan recrear durante los días fríos o lluviosos.

El abastecimiento de agua en la escuela es precario, ya que depende de camiones aljibes para proporcionar agua potable, lo cual no garantiza un suministro constante ni de buena calidad. Esta situación es preocupante, ya que el acceso al agua es fundamental para el correcto funcionamiento de la escuela y el bienestar de los alumnos. Además, la falta de infraestructura adecuada limita las oportunidades de los niños para desarrollarse en un entorno escolar seguro y acogedor.

La implementación de una nueva escuela con sistemas de captación de aguas lluvias y una mejor infraestructura podría transformar no solo la vida de los estudiantes, sino también la de toda la comunidad rural de Lefuco. Un sistema de captación de agua de lluvia no solo garantizaría el acceso constante a agua potable, sino que también permitiría a la comunidad ser más autosuficiente y resiliente ante la crisis hídrica que afecta la región. Además, una infraestructura escolar mejorada, con espacios exteriores cubiertos y adecuados para el clima frío y lluvioso de la zona, brindaría a los niños un lugar seguro para aprender y recrearse, contribuyendo así al desarrollo integral de los estudiantes y al fortalecimiento de la comunidEste enfoque no solo beneficiaría a la comunidad de Lefuco, sino que también puede ser un modelo para otras comunidades rurales vulnerables que enfrentan problemas similares. La crisis hídrica es un problema global que afecta a muchas zonas rurales que, al igual que Lefuco, carecen de acceso estable a recursos básicos como el agua potable. La implementación de sistemas sostenibles como la captación de aguas lluvias ofrece una solución adaptable y accesible para muchas comunidades rurales, mejorando la calidad de vida de sus habitantes, promoviendo la autosuficiencia y ayudando a mitigar los efectos del cambio climático y la escasez de recursos. Así, este tipo de proyectos no solo atienden a necesidades locales, sino que también pueden ser replicados en otras partes del mundo que enfrentan condiciones similares, contribuyendo al desarrollo rural.

En el capítulo anterior, se realizó un análisis detallado del contexto territorial de la Región de La Araucanía y cómo la crisis hídrica ha afectado de manera profunda a las comunidades rurales. A través del caso de estudio de la Escuela Rural Lefuco, ubicada en la comuna de Curacautín, se abordaron las características del territorio y las problemáticas específicas que enfrenta esta escuela, tanto en infraestructura como en abastecimiento de agua. Este análisis evidenció la necesidad de formular estrategias de diseño y como implementar sistemas de captación y reutilización de aguas, con el fin de mejorar la calidad de vida de la comunidad escolar y fortalecer su relación con el entorno.A partir de esta problemática, el CAPÍTULO IV tiene como objetivo comprender el funcionamiento de los sistemas de captación y reutilización de agua, proponiendo soluciones prácticas y sustentables para enfrentar los desafíos hídricos en contextos rurales. Se explorarán tanto estrategias tradicionales como contemporáneas de captación de aguas lluvias, junto con referentes arquitectónicos que integran estas prácticas de manera eficiente en sus diseños. Asimismo, se analizarán los métodos de tratamiento de aguas grises y los beneficios que su implementación puede aportar, tanto a nivel local como global.

De esta manera, el presente capítulo busca dar respuesta a las problemáticas identificadas, proponiendo soluciones aplicables al contexto de la Escuela Rural, con el objetivo de avanzar hacia un modelo de gestión hídrica eficiente y sostenible

CAPÍTULO IV: CAPTACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS.

1.- CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

4.1.1. Estrategias tradicionales, métodos y beneficios de la captación de aguas lluvias.

Desde la antigüedad, el ser humano ha desarrollado estrategias arquitectónicas para garantizar el acceso al agua, un recurso esencial para la vida y el desarrollo de las comunidades. Entre estas estrategias destaca el impluvium romano (Fig.38.), un sistema de captación de aguas lluvias que formaba parte integral de la arquitectura de la domus romana. Este sistema consistía en un estanque de poca profundidad ubicado en el atrium, el patio central de las viviendas, diseñado para recoger el agua de lluvia que caía a través del compluvium (Fig.39.), un techo inclinado hacia el interior. El agua recolectada era conducida a una cisterna subterránea para su almacenamiento y posterior uso doméstico (González, 2021, p. 6).

La sofisticación del impluvium no solo radicaba en su función práctica, sino también en su capacidad para mejorar el confort térmico de los espacios interiores mediante el enfriamiento evaporativo. Además, su diseño respondía a una preocupación estética, convirtiéndose en un elemento que simbolizaba el estatus social de los propietarios. Ejemplos destacados de este sistema pueden encontrarse en ciudades como Pompeya, donde el impluvium formaba parte de viviendas como la Casa del Fauno, reflejando la integración del agua como un componente fundamental en la vida cotidiana y en la arquitectura de esa época (González, 2021, p. 7).

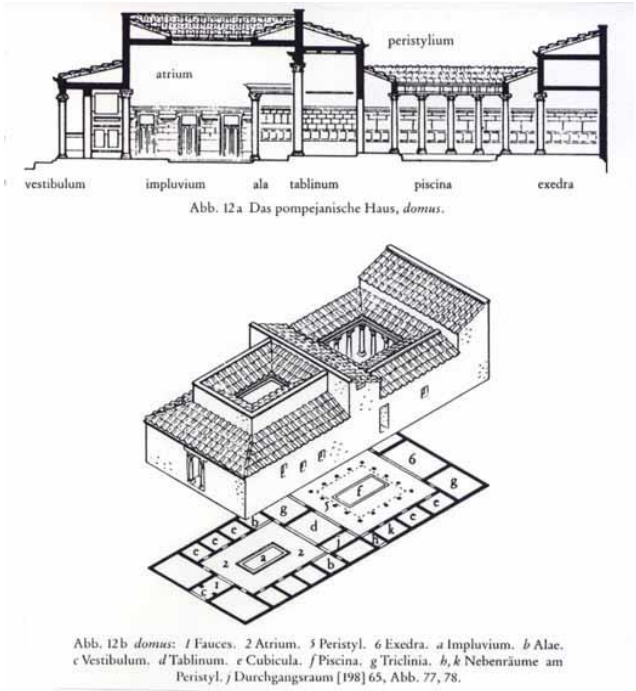


Abb. 12a Das pompejanische Haus, *domus*.

Abb. 12b *domus*: *1* Fauces. *2* Atrium. *3* Peristyl. *6* Exedra. *a* Impluvium. *b* Alae. *c* Vestibulum. *d* Tablinum. *e* Cubicula. *f* Piscina. *g* Triclinia. *h, k* Nebenräume am Peristyl. *j* Durchgangsraum [198] 65, Abb. 77, 78.

(Fig. 38.) Duke University. (n.d.). Das pompejanische Haus, domus. Partes de la domus romana



(Fig.39.) Fundación Aquae. (n.d.). Impluvium en una domus romana. En La domus romana: El compluvium



(Fig. 40.) Consejo de Monumentos Nacionales. (n.d.). Casas Patronales de la ex Hacienda Polpaico. En Monumentos Históricos.En un contexto más cercano, las casas coloniales de América Latina adoptaron conceptos similares en sus patios centrales, aunque con variaciones que respondían al entorno local (Fig. 40.). Según se describe en el libro arquitectura del patio, "los pavimentos y las acequias forman parte del mismo sistema de recolección de aguas lluvias" (Capitel, 2005, p. 6). En estas viviendas, los patios centrales, con sus leves pendientes, dirigían el agua hacia las acequias cercanas para regar los huertos y los árboles frutales, un elemento que integraba funcionalidad y sostenibilidad en un mismo diseño. Este sistema ejemplifica cómo se aprovechaba cada gota de agua en un contexto donde el recurso era fundamental para la vida cotidiana.

"El impluvium es mucho más que una estructura funcional, es un lugar donde la arquitectura se convierte en paisaje y el agua se transforma en memoria" (Gorostiza, 2010, p. 12). El diseño del impluvium y de patios nos muestra cómo, desde la antigüedad, el agua no solo ha sido considerada un recurso esencial, sino también un elemento que es parte del diseño y que conecta a las personas con el entorno, reflejando un entendimiento profundo de la relación entre el agua y arquitectura.

Las estrategias de captación de aguas lluvias han evolucionado significativamente desde los sistemas tradicionales como el impluvium romano hasta las casas coloniales con acequias en

sus patios, estas técnicas han evolucionado para adaptarse a las necesidades y desafíos contemporáneos. En la actualidad, los sistemas de captación no solo buscan optimizar el uso de este recurso natural, sino también ofrecer soluciones sostenibles frente a la crisis hídrica.

Para implementar de manera efectiva un sistema de captación de aguas lluvias, es fundamental comprender cada una de sus etapas y componentes. A continuación, se describen los procesos que conforman un sistema de captación eficiente, destacando las consideraciones técnicas y las recomendaciones prácticas para su funcionamiento óptimo.

1. Captación

La captación del agua lluvia comienza en las superficies destinadas a recibirla, generalmente techos o cubiertas inclinadas que facilitan el escurrimiento del agua hacia los componentes siguientes del sistema. Estas superficies deben estar construidas con materiales impermeables como zinc, planchas metálicas o tejas, que permiten una conducción eficiente del agua y minimizan la acumulación de contaminantes superficiales. (UNESCO, 2015, p. 24).

2. Recolección

El agua lluvia captada es dirigida hacia una red de canaletas que la transportan al siguiente punto del sistema, como el interceptor o el tanque de almacenamiento. Las canaletas, comúnmente fabricadas con PVC por su resistencia al agua y a los rayos UV, son instaladas con una ligera inclinación que asegura la continuidad del flujo (UNESCO, 2015, p. 25). Para protegerlas durante periodos de bajas temperaturas, se pueden revestir con aislantes térmicos como PPR, o incluso desmontarlas para evitar daños en climas extremos. Además, se recomienda realizar limpiezas frecuentes para evitar obstrucciones por hojas, nieve u otros residuos.

3. Interceptor

Debido a las condiciones climáticas y a los residuos acumulados en la superficie de captación, como hojas, tierra y otros contaminantes, es común que las primeras lluvias arrastren estas impurezas hacia el sistema. Para prevenir que estas lleguen al tanque de almacenamiento, se utiliza un interceptor o separador de primeras lluvias (first flush), que desvía el agua inicial hacia un contenedor especial. Este sistema debe vaciarse antes de cada lluvia para mantener su funcionalidad. Según las recomendaciones, se deben destinar 3 litros de lavado por cada 5 m² de superficie de captación (UNESCO, 2015, p. 26).

Alternativamente, se pueden incorporar filtros como pantallas capturadoras en las canaletas o filtros de bronce en las tuberías, los cuales eliminan residuos de manera efectiva antes de que el agua llegue al tanque (UNESCO, 2015, p. 27).

4. Almacenamiento

El agua libre de contaminantes llega al tanque o cisterna de almacenamiento, cuya ubicación debe ser lo más cercana posible al lugar de uso para minimizar costos y pérdidas por transporte. Los tanques deben cumplir con ciertos requisitos, como ser impermeables para evitar fugas, contar con una tapa para bloquear contaminantes externos y la luz solar, y disponer de sistemas de drenaje y salida para facilitar su manejo y limpieza. La capacidad del tanque dependerá de las necesidades del proyecto, asegurando un suministro adecuado y continuo de agua captada (UNESCO, 2015, p. 28).

5. Métodos de purificación del agua

La purificación del agua es una etapa fundamental en cualquier sistema de captación (Fig. 41.), especialmente cuando se destina a usos sensibles como el consumo humano o el riego de cultivos alimenticios. Existen diversos métodos que permiten eliminar impurezas físicas, químicas y biológicas, garantizando la calidad del agua para diferentes aplicaciones. A continuación, se describen los principales métodos de purificación:

Filtración: La filtración es una de las técnicas más comunes y accesibles en el tratamiento del agua. Este método utiliza medios físicos, como arena, carbón activado o membranas específicas, para eliminar partículas suspendidas, sedimentos, turbidez, y metales oxidados. Además, la filtración puede eliminar microorganismos como salmonela y esporas que afectan la calidad del agua (Manual de SCALLT, UNESCO, 2015, p. 32). Este proceso suele ser el primer paso en sistemas de purificación más complejos.

Esterilización UV: La radiación ultravioleta (UV) es un método eficaz para eliminar microorganismos patógenos presentes en el agua. Este proceso inactiva bacterias, hongos, quistes, protozoos y virus al dañar su ADN, impidiendo su reproducción. Además, mejora el sabor del agua al eliminar compuestos orgánicos que generan olores y sabores desagradables. Los sistemas UV son ideales para tratar agua con bajo contenido de sólidos disueltos, ya que su efectividad disminuye en aguas turbias (Lenntech, 2023).

Cloración: La cloración es un método ampliamente utilizado para desinfectar el agua mediante la adición de compuestos de cloro, como hipoclorito de sodio. Este proceso es efectivo para

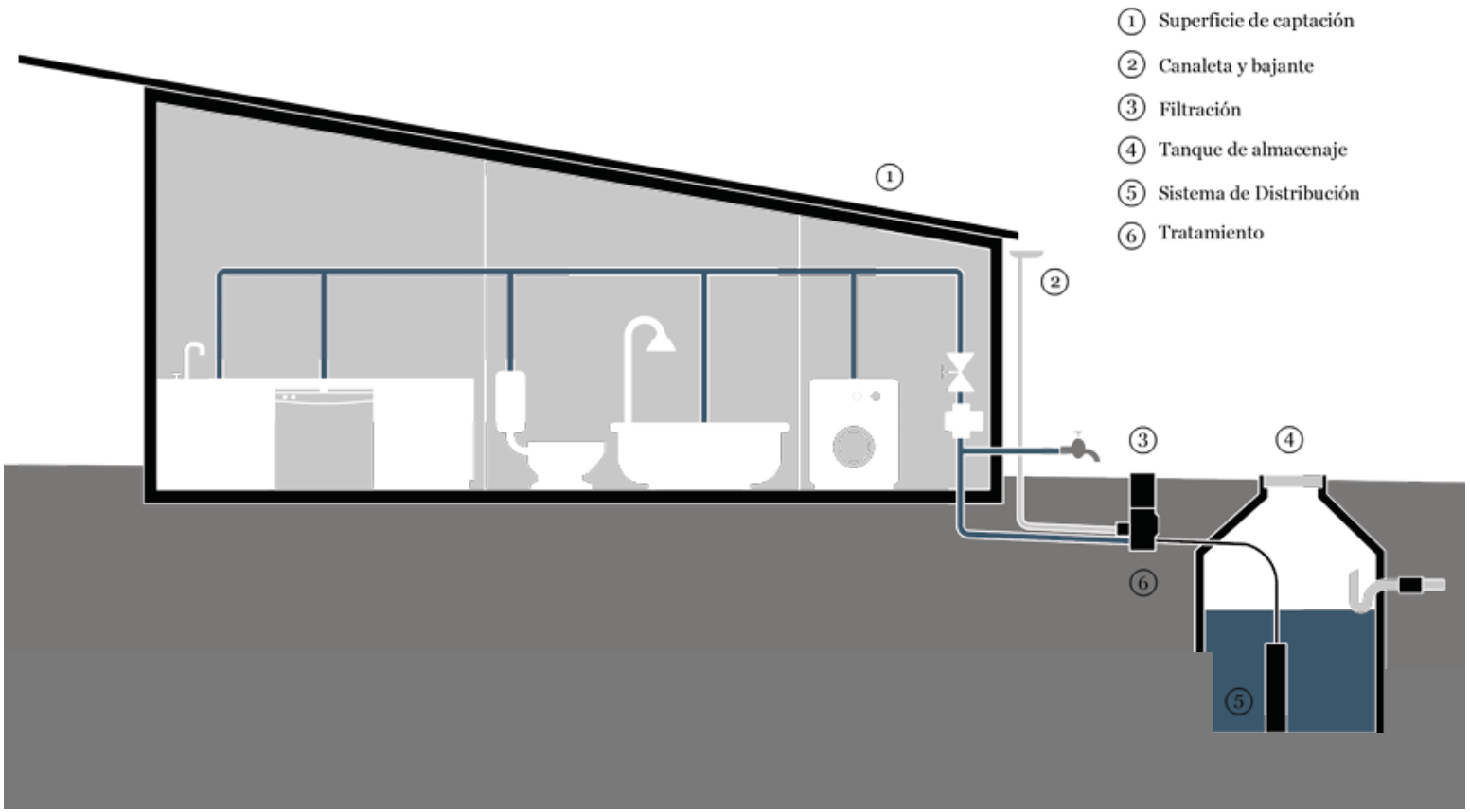
eliminar bacterias, protozoos, parásitos como Giardia intestinalis, y virus, además de oxidar hierro y manganeso disueltos. Aunque la cloración es económica y eficaz, puede generar subproductos como trihalometanos, que requieren monitoreo para garantizar la seguridad del agua (WHO, 2020, p. 15).

Ultrafiltración: La ultrafiltración utiliza membranas con poros extremadamente pequeños para eliminar partículas coloidales, moléculas orgánicas e inorgánicas, polen y algas. Este método es altamente eficaz en la eliminación de contaminantes biológicos y químicos, y suele combinarse con otros procesos, como la filtración y la esterilización UV, para garantizar una purificación completa. La ultrafiltración es una tecnología versátil y eficiente para aguas con altos niveles de turbidez (UNESCO, 2015, p. 35).

Unos de los métodos más adecuado de purificación del agua, son los que combina la filtración inicial y la cloración, ya que ambos equilibran eficacia, costo y facilidad de mantenimiento. La filtración elimina sedimentos, turbidez y partículas grandes, proporcionando una base inicial de calidad, mientras que la cloración asegura la eliminación de bacterias, protozoos y virus con un proceso económico y sencillo, ideal para entornos rurales con recursos limitados (UNESCO, 2015, p. 32; WHO, 2020, p. 15). Si el presupuesto lo permite, la esterilización UV podría Complementar este sistema para ofrecer un nivel superior de desinfección, aunque sus requisitos técnicos y eléctricos pueden representar una limitación en zonas remotas (Lenntech, 2023). En este contexto, la combinación de filtración y cloración garantiza un suministro seguro y sostenible de agua potable, adaptándose a las condiciones locales. Además de asegurar la calidad del agua, los sistemas de captación de aguas lluvias generan impactos positivos en las comunidades que los implementan. Estos beneficios van más allá de la provisión inmediata de agua, ya que contribuyen al desarrollo sostenible y mejoran la resiliencia de las comunidades ante la escasez hídrica.



(Fig. 41.) Fundación Amulén. (n.d.). Sistema de captación y purificación de aguas lluvias en comunidades rurales.



(Fig. 42.) Lara Bulnes, S. (2020). Sistema de captación y purificación de aguas lluvias en viviendas urbanas.

La captación de aguas lluvias ofrece múltiples beneficios que impactan positivamente tanto a nivel doméstico como comunitario, especialmente en regiones donde la escasez hídrica es un desafío constante. Estos sistemas no solo proporcionan una fuente alternativa de agua, sino que también contribuyen a la sostenibilidad ambiental, económica y social. A continuación, se detallan sus principales ventajas:

1.- Aumento de la disponibilidad de agua
Implementar sistemas de captación de aguas lluvias permite incrementar la oferta hídrica para diversos usos. En contextos rurales y urbanos, el agua recolectada puede destinarse al riego, la limpieza, la recarga de inodoros y otras actividades domésticas, reduciendo significativamente la dependencia de las fuentes tradicionales (Rotoplas Centroamérica, n.d.). En zonas con acceso limitado al agua potable, esta práctica garantiza un suministro continuo, especialmente durante periodos de escasez.

2.- Ahorro de agua potable y reducción de costos
Al utilizar agua de lluvia para tareas no prioritarias, se disminuye el consumo de agua potable, lo que se traduce en un ahorro económico a largo plazo. Este enfoque alivia la presión sobre los sistemas de abastecimiento convencionales, permitiendo destinar el agua potable a usos esenciales (Rotoplas Centroamérica, n.d.).

3.- Reducción de la dependencia de suministros externos
En áreas donde el acceso al agua potable es restringido o donde ocurren cortes de suministro frecuentes, los sistemas de captación de aguas lluvias brindan una solución autónoma y segura. Además, funcionan como una fuente de agua alternativa en casos de emergencia, como desastres naturales o interrupciones del servicio (Rotoplas Centroamérica, n.d.; PNUD, 2016, p. 12).

4.- Recarga de acuíferos y conservación del agua
Este tipo de sistemas ayuda a preservar los ecosistemas hídricos al reducir la extracción de agua de fuentes naturales, como ríos y acuíferos. Asimismo, contribuye a la recarga de acuíferos, promoviendo un equilibrio hídrico sostenible y mitigando el impacto del cambio climático en las reservas naturales de agua (PNUD, 2016, p. 9).

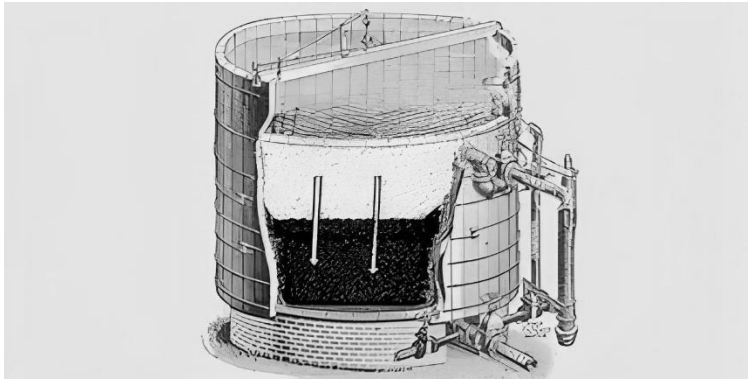
5.- Reducción del impacto ambiental
La captación de aguas lluvias disminuye la demanda de agua potable, lo que a su vez reduce el consumo de energía necesario para su producción y distribución. Esto implica una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y del uso de productos químicos asociados con los sistemas de tratamiento convencionales (Rotoplas Centroamérica, n.d.).

La captación de aguas lluvias no solo es una solución técnica frente a la crisis hídrica, sino una práctica que conecta al ser humano con su entorno, rescatando lecciones del pasado (Fig. 43.) (Fig. 44.) e integrándolas en el presente. A través de sistemas modernos que optimizan cada etapa, desde la captación hasta la purificación, se abre la posibilidad de garantizar agua segura y suficiente en contextos donde este recurso es limitado.

Más allá de su funcionalidad, estos sistemas destacan por su capacidad de adaptarse a distintas realidades climáticas y geográficas, demostrando su versatilidad en comunidades rurales. Esto evidencia que la captación de aguas lluvias es mucho más que una estrategia sostenible; es una herramienta para fortalecer la autonomía hídrica de las comunidades, promover el desarrollo local y revalorizar el papel del agua como un elemento central en la vida cotidiana.



(Fig. 43.) Wikipedia. (n.d.). Dibujo de un aparato para estudiar el análisis químico de las aguas minerales en un libro de 1799. En Purificación de agua potable.



(Fig. 44.) Condorchem. (n.d.). Esquema de un filtro de agua para tratamiento potable. En Historia sobre el tratamiento del agua potable.

4.1.2. El Agua en la Arquitectura: Referentes y Estrategias Integradas

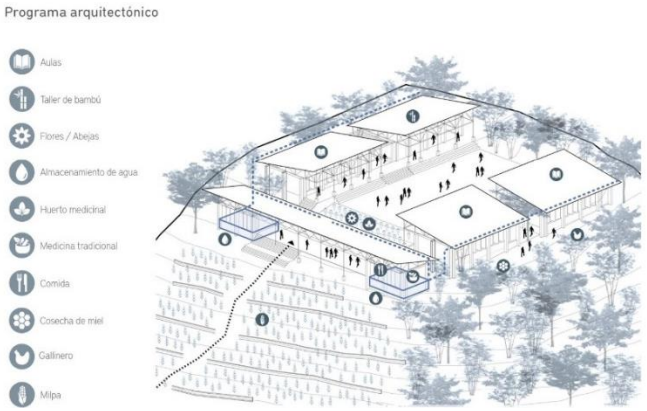
El agua, en sus diversas formas y significados, ha sido históricamente un elemento central en el diseño arquitectónico ya sea como recurso vital, símbolo cultural o catalizador de la interacción social. En este capítulo se abordarán tres referentes arquitectónicos que, aunque diversos en su enfoque, tienen en común el agua como eje conceptual y funcional, explorando cómo este elemento se integra y enriquece la arquitectura en diferentes contextos.

La **Escuela Rural Productiva** (Fig. 45.), ubicada en Tepetzintan, Cuetzalan del Progreso, Puebla, México, es un proyecto colaborativo desarrollado por los alumnos del Bachillerato Rural en conjunto con el colectivo Comunal. Este proyecto nace con el propósito de responder a las necesidades educativas y sociales de una comunidad rural, utilizando la arquitectura como una herramienta para fomentar la autosuficiencia y el desarrollo local. Más allá de ser un espacio educativo convencional, esta escuela se configura como un centro comunitario que vincula el aprendizaje académico con la producción agrícola y la gestión sostenible de recursos como el agua.

El diseño de la Escuela Rural Productiva integra estrategias arquitectónicas que permiten optimizar el uso del agua (Fig.46.), un recurso esencial en contextos rurales. A través de sistemas de captación y almacenamiento, el proyecto asegura el suministro



(Fig. 45.) Comunal. (n.d.). Escuela Rural Productiva, Tepetzintan, Cuetzalan del Progreso, Puebla, México.



(Fig.46.) Comunal. (n.d.). Programa arquitectónico de la Escuela Rural Productiva, mostrando el recorrido del sistema de captación de aguas lluvias.

para actividades básicas y productivas, fortaleciendo la autosuficiencia de la comunidad. Este enfoque no solo garantiza la sostenibilidad hídrica del lugar, sino que también refuerza la relación de los habitantes con su entorno, promoviendo prácticas responsables y educativas sobre la gestión del agua.

La escuela combina materiales y técnicas constructivas locales, como el bambú y el adobe (Fig. 47) (Fig. 48), con sistemas que favorecen la captación de agua lluvia y su reutilización, convirtiéndose en un modelo replicable de diseño participativo y sostenible. De esta forma, el agua no solo cumple una función operativa, sino que también se convierte en un elemento pedagógico que conecta a los estudiantes y la comunidad con los principios de sustentabilidad y cuidado ambiental (Arquine, n.d.).

El proyecto ejemplifica cómo la arquitectura puede integrarse al paisaje y responder a las necesidades de la comunidad, utilizando el agua como un eje transversal que conecta la educación, la producción y la sostenibilidad.



(Fig. 47) Comunal. (n.d.). Construcción de la Escuela Rural Productiva utilizando materiales y técnicas constructivas locales



(Fig. 48) Comunal. (n.d.). Construcción de la Escuela Rural Productiva utilizando materiales y técnicas constructivas locales

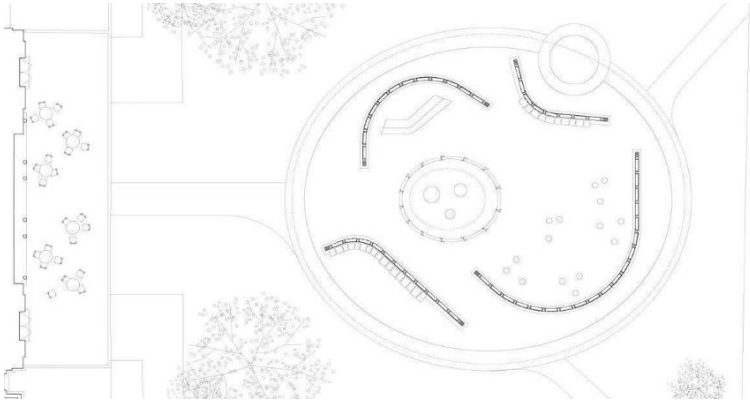
El Pabellón Serpentine 2017 (Fig. 49.), diseñado por Francis Kéré, es un ejemplo destacado de cómo la arquitectura puede utilizar el agua como un elemento central, tanto funcional como simbólico. Conocido como un microcosmos comunitario, el proyecto fusiona las referencias culturales de Burkina Faso con una arquitectura contemporánea que coloca al agua en el corazón de su diseño. Inspirado en el concepto del árbol como lugar de reunión y punto central en la vida cotidiana, el pabellón no solo proporciona sombra y refugio, sino que redefine la relación entre el espacio arquitectónico y los elementos naturales.

La cubierta del pabellón, una gran estructura ligera y transparente, desempeña un papel clave en la captación de agua. Este sistema no solo protege a los visitantes de la lluvia, sino que convierte la cubierta en un colector que canaliza el agua hacia el centro de la estructura. Este gesto simboliza la importancia del agua como recurso esencial para la vida y la prosperidad humana, integrándolo como un elemento activo dentro de la experiencia espacial. Además, el acto de concentrar el agua en el centro refuerza la idea del agua como un punto de encuentro (Fig. 50.) , un lugar que no solo satisface necesidades funcionales, sino que también fomenta la interacción social

El simbolismo del agua se extiende más allá de su función práctica. En el Pabellón, el agua se transforma en un elemento



(Fig. 49.) ArchDaily. (n.d.). Interior del Serpentine Pavilion 2017 diseñado por Francis Kéré. En Francis Kéré diseñará el Serpentine Pavilion 2017



(Fig. 50.) Arqa. (n.d.). Planta del Serpentine Pavilion 2017 diseñado por Francis Kéré. En Serpentine Pavilion 2017.

que une a las personas y recuerda su interdependencia con los recursos naturales. La conexión entre la comunidad y el entorno natural que se refuerza con la elección de materiales y el diseño de la cubierta, que filtra la luz a través de listones de madera (Fig. 51.) , generando un juego de sombras dinámicas que cambia a lo largo del día. Por la noche, el pabellón se ilumina como un faro, evocando conexión sensorial con el espacio.

El diseño de Kéré (Fig. 52.) resalta cómo la arquitectura puede ir más allá de su funcionalidad al celebrar el agua como un recurso esencial, mientras crea espacios que fomentan el encuentro, la reflexión y la interacción comunitaria. Este enfoque no solo recuerda que el agua es una necesidad vital, sino que también la presenta como un símbolo de vida, esperanza y comunidad (Arquitectura Viva, n.d.).

Esta concepción se entrelaza con la filosofía de Kéré, quien ha demostrado en sus proyectos que el trabajo colaborativo y el uso de recursos locales pueden transformar realidades. Según el propio Kéré, “Aprovechar un trabajo para formar personas, empoderarlas, es realmente poderoso. Así hemos creado empleos que contribuyen al ingreso familiar y liberamos a las personas de la necesidad de migrar” (ArchDaily, n.d.). En este sentido, su visión refuerza la idea del agua como un catalizador de resiliencia y oportunidad, inspirando la creación de proyectos arquitectónicos donde la sostenibilidad y el empoderamiento comunitario se convierten en pilares fundamentales.



(Fig. 51.) ArchDaily. (n.d.). Materialidad del Serpentine Pavilion 2017 diseñado por Francis Kéré. En Francis Kéré diseñará el Serpentine Pavilion 2017.



(Fig. 52.) ArchDaily. (n.d.) .Exterior del Serpentine Pavilion 2017 diseñado por Francis Kéré. En Francis Kéré diseñará el Serpentine Pavilion 2017.

El Firbank Sandringham Curiosity Centre*,* (Fig. 53.) diseñado por Studio Bright, demuestra cómo la arquitectura puede incorporar prácticas sostenibles mientras fomenta un aprendizaje interactivo y consciente. Este proyecto, que integra el enfoque STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas) en el diseño educativo, reutiliza edificios existentes de manera adaptativa, reduciendo su impacto ambiental y promoviendo un entorno que valora los recursos naturales.

Un aspecto destacado del proyecto es el enfoque en el agua como un recurso educativo. El diseño incluye canaletas expuestas que canalizan el agua de lluvia desde techos inclinados hacia pequeños tanques distribuidos a lo largo de una columnata. Este sistema no solo es funcional, sino que también involucra directamente a los estudiantes en el proceso de recolección y uso del agua, al permitirles regar huertos y árboles en el campus. El agua, en este contexto, se convierte en un recurso tangible y accesible, promoviendo un aprendizaje práctico y reflexivo.

En el centro del diseño se encuentra un gran tanque de agua de lluvia ubicado en el jardín (Fig. 54.), equipado con un medidor que muestra la cantidad de agua recolectada. Este elemento no solo actúa como una herramienta funcional, sino también como un recurso pedagógico que permite a los estudiantes observar y comprender la dinámica del ciclo del agua a lo largo de las estaciones.



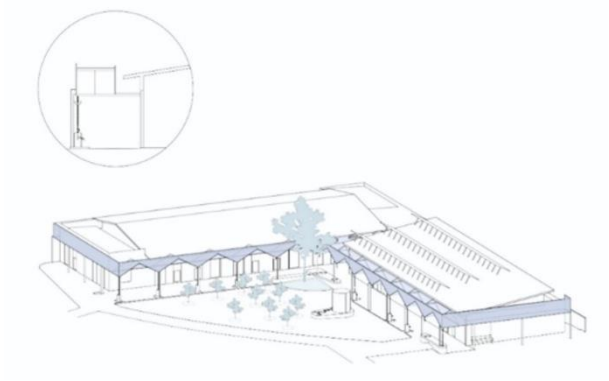
(Fig. 53.) Gardiner, R. (n.d.). Detalle de los sistemas de recolección de agua de lluvia en el Firbank Sandringham Curiosity Centre. En Firbank Sandringham Curiosity Centre / Studio Bright. ArchDaily.

Este enfoque integra la sostenibilidad en el currículo educativo y fomenta un entendimiento más profundo del valor del agua como recurso limitado.

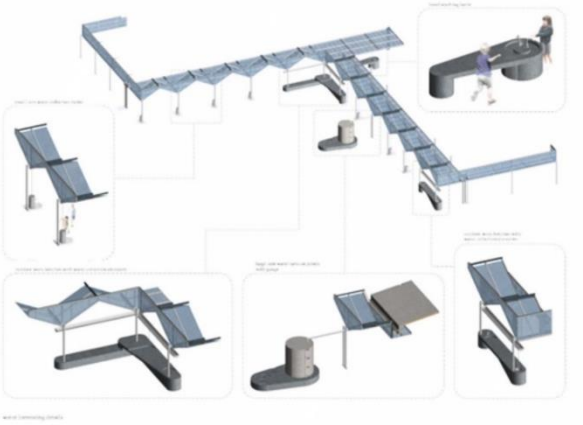
El concepto de "Living Lab" transforma el recinto en un espacio donde las prácticas sostenibles son visibles y participativas. Las estaciones de trabajo al aire libre, diseñadas para actividades relacionadas con el agua, fomentan la creatividad y la experimentación, mientras fortalecen la conexión de los estudiantes con el medio ambiente. Al hacer perceptibles los procesos de recolección y uso del agua (Fig. 55.), el proyecto no solo aborda la crisis climática, sino que también educa a las generaciones futuras sobre la importancia de preservar y gestionar este recurso vital.

Como indica la descripción del proyecto, "un dosel lleno de luz hace que el proceso de recolección de agua de lluvia sea perceptible e interactivo a través de su arquitectura" (ArchDaily, n.d.). Este enfoque no solo inspira, sino que también enseña cómo las prácticas sostenibles pueden integrarse en el diseño.

Firbank Sandringham Curiosity Centre redefine la arquitectura educativa al integrar prácticas sostenibles, haciendo visible el impacto del diseño en el entorno y en la comunidad. Este proyecto demuestra cómo la gestión del agua puede convertirse en una herramienta poderosa para la educación y la sostenibilidad, dejando una lección que trasciende las aulas y se extiende hacia una mayor conciencia ambiental.



(Fig. 54.) Studio Bright. (n.d.). Esquema del sistema de captación de agua de lluvia en el Firbank Sandringham Curiosity Centre.



(Fig. 55.) Studio Bright. (n.d.). Diagrama de componentes del sistema de captación de agua de lluvia en el Firbank Sandringham Curiosity Centre.

A través del análisis de los tres proyectos presentados, se observa que el agua se destaca como recurso vital para convertirse en un eje conceptual y funcional dentro del diseño de un proyecto. La Escuela Rural Productiva evidencia cómo el agua puede gestionarse de manera autosuficiente mediante la integración de sistemas de captación y almacenamiento que fortalecen la conexión entre la comunidad y su entorno. Este enfoque promueve la sostenibilidad y la autonomía local, mientras satisface necesidades prácticas y enriquece tanto el proceso de aprendizaje como la identidad comunitaria.

Por otro lado, el Pabellón Serpentine de Francis Kéré resalta el agua como un símbolo. A través de su diseño, el agua se transforma en un punto de encuentro social, destacando la importancia de los recursos naturales en la experiencia del pabellón. Este proyecto no solo aborda requerimientos funcionales, sino que también refuerza valores como la resiliencia y el sentido de reunión, demostrando cómo la arquitectura puede trasmitir símbolos y conceptos.

Por último, el Firbank Sandringham Curiosity Centre posiciona al agua como una herramienta educativa tangible. Los sistemas de recolección de agua pluvial, diseñados para ser visibles e interactivos, convierten este recurso en un medio que fomenta el aprendizaje práctico y reflexivo. Este proyecto busca enseñar a las futuras generaciones la importancia de valorar y gestionar el agua de manera responsable, transformando un elemento cotidiano en una lección permanente sobre sostenibilidad y cuidado ambiental.

Estos ejemplos permiten entender que el agua no solo debe entenderse como un recurso, sino también como un símbolo y una oportunidad. La gestión del agua en estos proyectos responde a los retos climáticos actuales e inspira a las comunidades a replantear su relación con este recurso, integrándolo como un elemento central en su entorno construido. En este contexto, la arquitectura se presenta como un puente que conecta la sostenibilidad, la educación y la cohesión social.

2.-REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES

4.2.1. Definición y métodos de tratamiento de aguas grises.

La integración de reutilización de aguas grises y el uso de aguas lluvias. representa una solución clave para enfrentar la escasez hídrica, especialmente en contextos donde el acceso al agua potable es limitado. Este enfoque alivia la demanda de uso en sistemas de agua potable, reservando este recurso para usos esenciales como el consumo humano y la limpieza. mientras que permite el uso de agua reciclada y de lluvia para tareas que no se necesita agua potable. Al reducir la demanda sobre fuentes hídricas, estas prácticas contribuyen a un uso más eficiente y sostenible del agua disponible. Además, investigaciones señalan que la combinación de estas estrategias es una de las formas más efectivas de promover la autonomía hídrica en viviendas y edificaciones, minimizando la dependencia de recursos externos (Thomas, 1998; Nolde, 2000). Sin embargo, se recomienda que las aguas grises tratadas se destinen exclusivamente a usos no potables, como el riego y la limpieza, dado que su composición puede variar según las rutinas de los usuarios, lo que dificulta garantizar su potabilidad (Fountoulakis et al., 2016).

En este contexto, las aguas grises se definen como aquellas aguas residuales domésticas que no contienen residuos fecales significativos, diferenciándose de las aguas negras provenientes del inodoro. Estas aguas provienen principalmente de duchas, bañeras, lavabos y, en algunos casos, lavadoras, aunque su definición específica puede variar según normativas locales. Por ejemplo, la Guía Técnica Española de Reciclaje de Aguas Grises excluye explícitamente las aguas procedentes de cocinas y fregaderos debido a su mayor carga contaminante (AQUA España, 2011, p. 267).

La composición y el nivel de contaminación de las aguas grises están determinados por factores como los hábitos de las personas, los productos utilizados y las características de las instalaciones y del agua de abastecimiento. Menores volúmenes de generación suelen concentrar más contaminantes debido a la menor dilución. Estas aguas pueden contener partículas orgánicas, aceites, grasas, jabones, detergentes y, en algunos casos, agentes patógenos. Además, su nivel de contaminación varía según su origen, lo que determina los métodos necesarios para su tratamiento. Por ejemplo, las aguas grises provenientes de duchas y lavabos tienen una menor carga contaminante en comparación con aquellas de cocinas o lavadoras, que suelen presentar mayores concentraciones de materia orgánica y grasas (Morel & Diener, 2006, p. 14).

El origen de las aguas grises determina su carga contaminante y, por ende, los métodos de tratamiento necesarios para su gestión. Estas se clasifican en:

Aguas de baja carga: Procedentes de duchas, bañeras y lavabos, con un nivel mínimo de contaminación.

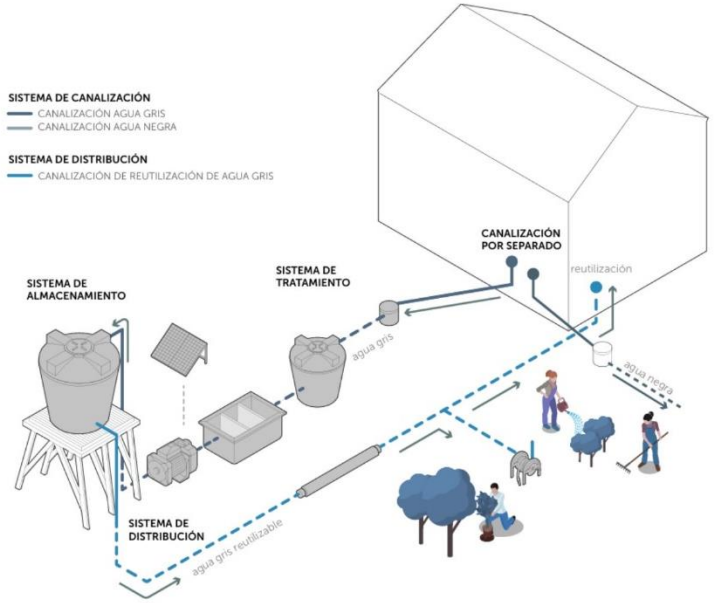
Aguas de media carga: Incluyen las aguas de lavadoras, que presentan una mayor carga de residuos.

Aguas de alta carga: Incorporan las procedentes de lavavajillas y fregaderos, con mayores niveles de materia orgánica y grasas.

En función de esta clasificación, el tratamiento de las aguas grises debe adaptarse para garantizar su reutilización segura y eficiente. Dicho proceso puede ser abordado mediante la implementación de un sistema completo de reutilización de aguas grises, el cual se compone de los siguientes elementos donde en siguiente esquema (Fig. 56.) ilustra los componentes de un sistema integral de reutilización de aguas grises, donde se detalla la canalización, tratamiento y distribución del agua (Estrategias de Reutilización de Aguas Grises, 2018, p. 7)

1.-Sistema de recolección por separado:

Este sistema requiere la canalización independiente de las aguas grises y aguas negras mediante tuberías específicas. Es fundamental evitar la mezcla de ambas corrientes, ya que esto incrementaría la carga contaminante y complicaría su tratamiento. Las tuberías suelen identificarse como el estándar para transportar aguas grises hacia el sistema de tratamiento.



(Fig. 56.) Estrategias de Reutilización de Aguas Grises. (2018). Sistema integral de tratamiento y reutilización de aguas grises.

2.-Sistema de almacenamiento:

El almacenamiento de aguas grises se divide en dos fases. La primera corresponde al estanque de homogenización, donde las

aguas grises crudas se recolectan de manera uniforme antes de ingresar al sistema de tratamiento. Es importante no almacenar aguas grises crudas por periodos prolongados, ya que pueden descomponerse y generar riesgos sanitarios.

La segunda fase es el estanque de agua tratada, diseñado para contener las aguas grises que ya han sido sometidas a procesos de depuración y desinfección. Estas aguas se mantienen un máximo de 48 horas para evitar la proliferación de bacterias y garantizar su calidad óptima.

3.-Sistema de tratamiento:

El tratamiento de aguas grises se lleva a cabo en varias etapas consecutivas:

Tratamiento preliminar: Incluye trampas, rejillas y cámaras desgrasadoras, las cuales separan sólidos grandes, arenas y aceites. Estos mecanismos son esenciales para evitar obstrucciones y facilitar el tratamiento posterior.

Tratamiento secundario: Utiliza procesos biológicos, como humedales artificiales y filtros multicapa, que permiten la descomposición de la materia orgánica mediante microorganismos y la filtración a través de sustratos naturales (grava, carbón activado, arena).

Desinfección: Se aplica al final del proceso mediante técnicas como la cloración o la radiación ultravioleta (UV), las cuales garantizan la eliminación de patógenos, haciendo el agua segura para su reutilización.

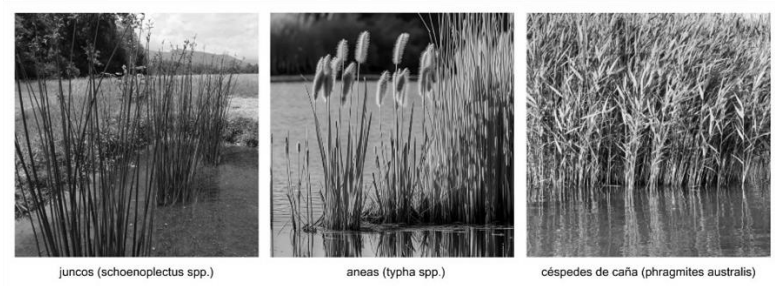
4.-Sistema de distribución:

Una vez tratadas, las aguas grises son distribuidas hacia los puntos de reutilización, como sistemas de riego, recarga de inodoros o limpieza general. Esta fase puede aprovechar la gravedad para reducir costos energéticos o requerir electrobombas para garantizar la presión adecuada del agua en sistemas más complejos.

La gestión eficiente de las aguas grises no solo representa una solución práctica para ahorrar agua si no también es un sistema que ayuda combatir la escasez hídrica, priorizando el uso del agua disponible para el consumo humano y utilizar las aguas grises para un uso secundario, también refleja un cambio en la manera de entender y aprovechar los recursos hídricos disponibles. En este contexto, los humedales construidos emergen como una alternativa sustentable, destacándose por su capacidad para imitar procesos naturales y reducir de manera significativa la carga de contaminantes de las aguas grises. Estos sistemas, además de ser económicos y adaptables, lo que los convierte en una herramienta clave para el tratamiento de aguas

residuales domésticas. A continuación, se profundizará cómo funcionan los humedales construidos como una solución sustentable para el tratamiento de aguas grises.

El funcionamiento y diseño un humedal construido está compuesto principalmente por un sistema subterráneo en el que las aguas grises fluyen a través de capas de grava y arena, donde se produce el proceso de biofiltración. las raíces de las plantas acuáticas (Fig. 57.), como juncos (schoenoplectus spp.), aneas (typha spp.) y céspedes de caña (phragmites australis), actúan como facilitadores del tratamiento al oxigenar la zona radicular y favorecer la actividad de microorganismos que descomponen materia orgánica y eliminan contaminantes (yocum, 2011, p. 1).



(Fig. 57.) Elaboración propia. Imágenes referenciales de especies acuáticas recopiladas de fuentes en línea: juncos (Schoenoplectus spp.), aneas (Typha spp.) y césped de caña (Phragmites australis).

El proceso puede resumirse en las siguientes etapas:

1.-Entrada y Pretratamiento: El agua gris ingresa al humedal por gravedad y pasa por un pretratamiento mecánico, como sedimentación o tamizado, para eliminar sólidos grandes y evitar obstrucciones en el sistema (Fig. 58.).

2.-Filtración Biológica: Las aguas grises fluyen lentamente a través del sustrato (arena y grava), donde las plantas y microorganismos degradan contaminantes como materia orgánica, grasas, aceites y sólidos suspendidos.



(Fig. 58.) Composición elaborada a partir de imágenes extraídas del documento Estrategias de Reutilización de Aguas Grises (2018).

3.-Oxigenación Radicular: Las plantas acuáticas transfieren oxígeno a las raíces, creando condiciones favorables para procesos aeróbicos y anaeróbicos que eliminan nutrientes como nitratos y fosfatos (Manual de Diseño, p. 2).

4.-Salida del Agua Tratada: El agua depurada sale del sistema en un nivel similar al de entrada y puede reutilizarse para fines no potables como riego o descargas de wc.



(Fig. 58.) Composición sobre el proceso de purificación de aguas grises, elaborada a partir de imágenes extraídas del documento Estrategias de Reutilización de Aguas Grises (2018).

La alternativa analizada, de los humedales construidos se destacan, por su funcionamiento que se basa en procesos naturales de depuración (Fig. 58.), lo que ayuda reducir la contaminación de desechos y proteger cuerpos de agua subterráneos. Su adaptabilidad es otra de sus grandes ventajas, ya que pueden implementarse tanto a nivel doméstico como comunitario, ajustándose al caudal de aguas grises generado y a la demanda de tratamiento requerida. Asimismo, estudios han demostrado que los humedales construidos son altamente eficaces en la eliminación de patógenos y contaminantes, logrando reducir hasta un 85% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD), disminuyendo significativamente la carga contaminante del agua tratada (Yocum, 2011, p. 3).

El diseño de un humedal construido como se demostró en este capítulo se deben considerar criterios específicos que aseguren su eficiencia y funcionalidad. Es fundamental determinar el volumen de aguas grises a tratar, ya que, por ejemplo, un sistema de 1 metro cúbico puede procesar aproximadamente 135 litros diarios, convirtiéndolo en una opción viable para viviendas rurales o comunidades pequeñas (Jenkins, 2005, p. 4). La profundidad del sustrato y la selección adecuada de plantas son también aspectos cruciales para garantizar la depuración del agua y favorecer los procesos biológicos necesarios. Además, es importante establecer una pendiente del sustrato de aproximadamente 0.5%, lo que permite mantener un flujo constante y evita el estancamiento del agua, asegurando un tratamiento eficiente (Crites & Tchobanoglous, 1998). Estos criterios de diseño, combinados con sus múltiples beneficios, consolidan a los humedales construidos como una herramienta clave en la gestión sostenible del recurso hídrico.

4.2.3. Beneficios y aplicaciones de la reutilización de aguas grises.

En el capítulo anterior se abordaron los procesos relacionados con la reutilización de aguas grises. En este apartado, se destacarán sus beneficios, enfatizando cómo esta práctica puede mejorar la calidad de vida de familias y comunidades, especialmente en contextos de escasez hídrica. Además, se analizarán casos arquitectónicos que implementan estos sistemas en diferentes escalas, demostrando su impacto positivo en la sostenibilidad y gestión hídrica.

La reutilización de aguas grises ofrece múltiples beneficios ambientales, económicos y sociales. Entre sus principales ventajas destacan:

Reducción del consumo de agua potable: Se puede disminuir hasta un 30% el uso de agua potable en hogares y comunidades, dependiendo del diseño y la implementación del sistema de reutilización (Estrategias de Reutilización de Aguas Grises, 2018. p.11.).

Ahorro económico: Al reducir la demanda de agua potable y el tratamiento de aguas residuales, se minimizan los costos asociados a la producción y gestión de estos recursos.

Aumento de la disponibilidad de agua: Genera una fuente alternativa de agua para actividades como el riego o la recarga de inodoros, reservando el agua potable exclusivamente para el consumo humano.

Devolución de nutrientes al suelo: Las aguas grises contienen nutrientes como fósforo, potasio y nitrógeno, que pueden ser aprovechados en suelos agrícolas, reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos.

Eficiencia energética: Disminuye el uso de energía y productos químicos requeridos para el tratamiento de aguas residuales, contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas hídricos.

Concienciación sobre el agua: Promueve una cultura de sostenibilidad y conciencia en torno al origen y destino del agua, fortaleciendo prácticas responsables en su uso y manejo.

Flexibilidad en la planificación de proyectos sanitarios: Incorporar sistemas de reutilización desde la etapa de diseño permite optimizar los requerimientos de agua y planificar infraestructura adecuada, garantizando una implementación más eficiente (Estrategias de Reutilización de Aguas Grises, 2018. p.11.).

Estos beneficios subrayan la importancia de considerar la reutilización de aguas grises como una estrategia dentro de

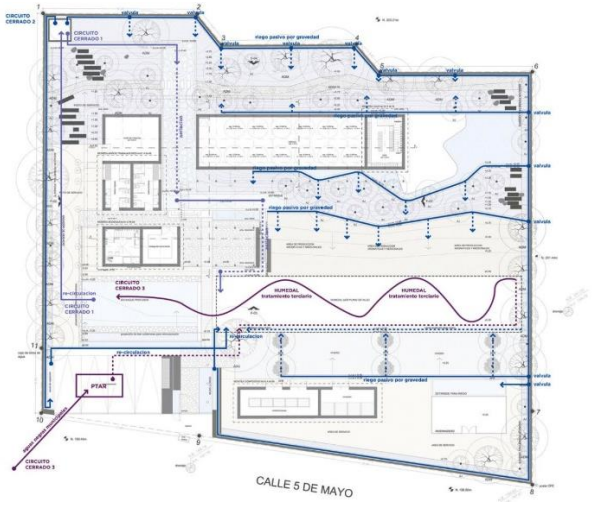
proyectos arquitectónicos y de desarrollo urbano. A continuación, se explorarán aplicaciones concretas y referentes que han integrado con éxito estos sistemas, destacando su potencial transformador en diversos contextos.

El proyecto El Humedal (Fig. 59.), desarrollado por el Taller de Arquitectura de Alto Rendimiento (TAAR) en Valle de Bravo, México, constituye un referente destacado en el uso de sistemas sustentables para la gestión y reutilización de recursos hídricos. Este centro de investigación ambiental, diseñado bajo los principios de "no-waste" y "net-zero", replantea la relación entre el ser humano y su entorno mediante el aprovechamiento y generación de recursos en un ciclo cerrado (ArchDaily, n.d.).

El humedal construido es uno de los elementos centrales de este proyecto y se utiliza como herramienta clave para tratar y reutilizar las aguas residuales provenientes del drenaje municipal. Este sistema imita procesos naturales de filtración y depuración, permitiendo que el agua tratada sea utilizada para el riego del bosque comestible y el huerto orgánico del complejo (Fig. 60.). Además, el proyecto integra un sistema de captación de agua pluvial con capacidad para almacenar hasta **130,000 litros**, asegurando un suministro continuo para los servicios del edificio y reduciendo la dependencia de fuentes externas de agua.



(Fig. 59.) Gamo, R. (n.d.). Vista exterior de El Humedal / TAAR / Taller de Arquitectura de Alto Rendimiento. En ArchDaily.



(Fig. 60.) TAAR / Taller de Arquitectura de Alto Rendimiento. (n.d.). Planta de riego pasivo en El Humedal. En ArchDaily.

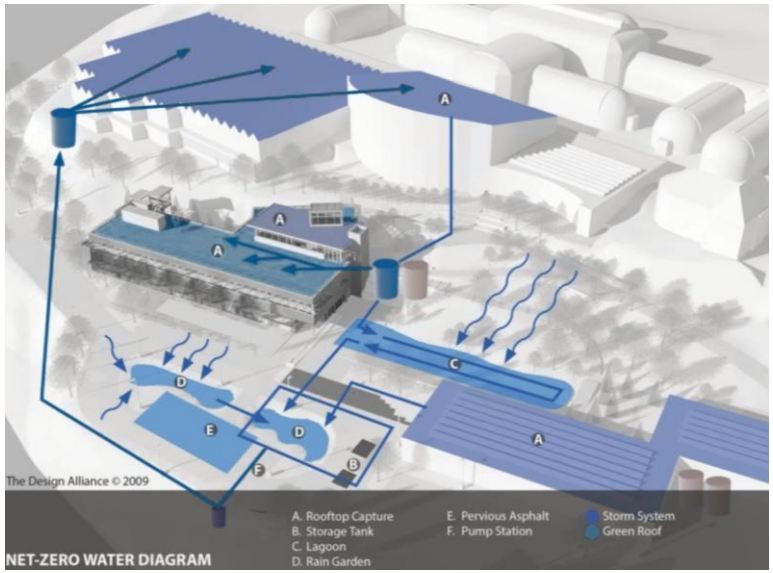
La implementación del humedal construido en el proyecto no solo contribuye a la sostenibilidad hídrica, sino que también promueve la autosuficiencia energética mediante el uso de paneles termo-solares y fotovoltaicos, y cierra el ciclo de residuos mediante baños compostables y la generación de composta a partir de materia vegetal. Este enfoque holístico convierte al proyecto en un modelo replicable para otras comunidades, demostrando cómo los sistemas de humedales construidos pueden integrarse exitosamente en diseños arquitectónicos para abordar desafíos relacionados al manejo sostenible de recursos (ArchDaily, n.d.).

.**El Centro de Paisajes Sostenibles** (CSL), desarrollado por Phipps Conservatory and Botanical Gardens, representa un modelo innovador de sostenibilidad en el manejo del agua, integrando humedales artificiales y sistemas de captación de aguas pluviales como soluciones clave (Fig. 61.). Los humedales construidos, también conocidos como reed beds, cumplen un rol central en el tratamiento de las aguas residuales, imitando procesos naturales de depuración mediante la acción combinada de vegetación, microorganismos y sustratos filtrantes. En este proceso, plantas autóctonas absorben contaminantes y nutrientes como nitrógeno y fósforo, mejorando la calidad del agua y haciéndola apta para su reutilización en riego y otras aplicaciones no potables.

Adicionalmente, el proyecto incorpora sistemas de captación y gestión de aguas pluviales, tales como lagunas, jardines de lluvia y pavimentos porosos, que permiten recolectar, almacenar y filtrar el agua de lluvia, promoviendo su infiltración natural en el suelo y reduciendo la escorrentía superficial. Estos mecanismos no solo optimizan el aprovechamiento del agua, sino que también disminuyen la dependencia de los sistemas municipales y energéticos asociados al tratamiento de aguas residuales. Complementando estas estrategias, el proyecto emplea un sistema de destilación de agua alimentado por energía solar, reforzando su enfoque en soluciones renovables y autosuficientes.



(Fig. 61.) Denmarsh Photography. (n.d.). Vista del humedal artificial en el Centro de Paisajes Sostenibles. En Centro de Paisajes Sostenibles / The Design Alliance Architects. ArchDaily.



(Fig. 62.) The Design Alliance Architects. (2009). Diagrama de agua. En Center for Sustainable Landscapes – Phipps Conservatory and Botanical Gardens. TDA Architects.

En conjunto, estas acciones reflejan un manejo eficiente y responsable del agua, que reduce la demanda de agua potable, reutiliza recursos hídricos de manera integral y fomenta la armonía con el entorno natural. El CSL demuestra cómo la arquitectura puede integrarse al paisaje y promover la resiliencia hídrica, convirtiéndose en un referente clave para la planificación sostenible de edificaciones. (ArchDaily, n.d.).

Si bien este no es un proyecto de arquitectura como tal pero demuestra como la implementación de un sistema de purificación de aguas grises puede ayudar a la eficiencia hídrica. Daniel Rubilar, un joven agricultor de 35 años originario de Villa Alemana, decidió hace aproximadamente cinco años cambiar su carrera como ejecutivo de crédito automotriz para dedicarse a la agricultura sostenible en Putaendo, provincia de San Felipe. Junto a su pareja, Jessica Vega, adquirió un terreno donde implementaron prácticas agroecológicas, destacando un innovador sistema de reciclaje de aguas grises que combina biofiltros, plantas acuáticas y peces koi para purificar el agua, la cual posteriormente se utiliza en el riego de árboles y plantas (INDAP, 2021).

Daniel menciona brevemente cómo funciona su sistema de tratamiento de aguas grises, conocido como wetland o humedal construido, el cual consta de varias etapas que ya revisamos anteriormente:

Filtros desengrasadores: El agua residual doméstica, proveniente de la ducha, lavadora y lavaplatos, pasa inicialmente por cuatro filtros que retienen materiales particulados, aceites y sólidos.

Biofiltro: Posteriormente, el agua se dirige a un biofiltro que contribuye a la eliminación de contaminantes adicionales.

Estanques con plantas acuáticas: El agua filtrada ingresa a estanques que contienen gravilla y plantas acuáticas como flor de loto, jacintos de agua, juncos y achiras. Las raíces de estas plantas actúan como filtros naturales, absorbiendo nutrientes y mejorando la calidad del agua.

Estanques con peces koi: En una etapa subsecuente, el agua pasa a estanques que, además de plantas acuáticas, albergan peces koi. Estos peces ornamentales no solo embellecen el entorno, sino que también aportan nutrientes al agua a través de sus desechos y sirven como bioindicadores de la calidad del agua.

Estanque final y riego: Finalmente, el agua tratada se almacena en un estanque desde donde es extraída mediante una bomba solar para ser utilizada en el riego de cultivos.

Este enfoque se enmarca en la agricultura sintrópica, que busca crear ecosistemas agrícolas inspirados en los bosques, promoviendo la biodiversidad y la sostenibilidad. La implementación de este sistema ha sido posible gracias al apoyo del Programa de Desarrollo Local (Prodesal) de Putaendo, ejecutado por INDAP en conjunto con la municipalidad local. (INDAP, 2021).

Además del reciclaje de aguas grises, Daniel y Jessica han incursionado en la bioconstrucción, utilizando materiales de bajo impacto ambiental para edificar su vivienda y estructuras como un gallinero construido con la técnica de quincha. Complementan sus actividades con el cultivo de hortalizas, árboles frutales, producción de compost y elaboración de productos de cosmética sólida a partir de plantas y elementos naturales. Su compromiso con prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente los posiciona como referentes en la promoción de la agroecología en la región. (INDAP, 2021).

**(Fig. 63.)** Instituto de Desarrollo Agropecuario [INDAP]. (2021). Joven agricultor de Putaendo usa innovador sistema de reciclaje de aguas con peces y plantas acuáticas.

A partir del análisis desarrollado en este capítulo, queda claro que la reutilización de aguas grises representa una estrategia eficaz para optimizar el manejo de los recursos hídricos en diversos contextos, gracias a su flexibilidad y numerosos beneficios. La implementación de sistemas como los humedales construidos, junto con tecnologías complementarias, no solo permite tratar y reutilizar el agua de manera eficiente, sino que también contribuye de forma tangible a la sostenibilidad ambiental al reducir el desperdicio y aliviar la presión sobre las fuentes de agua potable.

Ejemplos como el Humedal en México y el Centro de Paisajes Sostenibles (CSL) en Estados Unidos evidencian cómo la arquitectura y el diseño de infraestructura pueden fusionarse con procesos naturales para la depuración del agua. Los humedales construidos, a través de la interacción de sustratos filtrantes, plantas acuáticas y microorganismos, logran eliminar contaminantes presentes en las aguas grises, posibilitando su reutilización en actividades como el riego, la recarga de inodoros o el mantenimiento de áreas verdes. Estos sistemas no solo disminuyen la dependencia de infraestructuras tradicionales, sino que también fomentan la regeneración de suelos y la conservación hídrica a largo plazo.

En una escala más pequeña, el caso del agricultor chileno Daniel Rubilar demuestra cómo estas soluciones pueden adaptarse a contextos locales mediante biofiltros, plantas acuáticas y estanques con peces para tratar el agua. Este modelo no solo muestra la eficacia de los sistemas naturales, sino que también subraya su aplicabilidad en la agricultura, convirtiéndose en una alternativa económica y ambientalmente viable que puede replicarse tanto en zonas rurales como urbanas.

En definitiva, la reutilización de aguas grises, impulsada por sistemas como los humedales construidos, pone de manifiesto el potencial de soluciones integradas y sostenibles para el tratamiento y aprovechamiento eficiente del agua. Proyectos como los analizados no solo optimizan la gestión de los recursos hídricos, sino que también promueven un cambio en la percepción y uso del agua, fomentando prácticas más responsables y abriendo paso a un diseño comprometido con el equilibrio entre las necesidades humanas y la preservación del entorno natural.

En esta investigación se ha analizado cómo la crisis hídrica afecta a las comunidades rurales, limitando su desarrollo y bienestar, con un foco hacia las escuelas. Estas instituciones, son esenciales para vida comunitaria, las cuales enfrentan grandes desafíos debido a las condiciones precarias en temas de acceso al agua potable, lo que impacta tanto en su funcionamiento como en las oportunidades educativas y sociales de los estudiantes.

También se demuestra cómo el cambio climático ha intensificado la crisis hídrica en regiones vulnerables como la Araucanía, donde la falta de acceso al agua no solo complica la vida diaria, sino que también condiciona el desarrollo integral de las comunidades rurales. El caso como el de la Escuela Rural Lefuco en Curacautín refleja de manera puntual estas dinámicas, mostrando cómo la falta de infraestructura o la falta de una fuente de agua potable estable, puede afectar tanto las actividades educativas como la calidad de vida de los habitantes.

Para abordar estas problemáticas, en el siguiente capitulo EL PROYECTO V se plantearán estrategias proyectuales, que responden frente a la problemática ¿Cómo puede el diseño de una escuela rural, en contextos de escasez hídrica, integrar sistemas de captación y gestión de agua para garantizar el acceso al agua potable y promover espacios de encuentro y participación para estudiantes y vecinos?, donde también se presentarán las estimaciones de captación de aguas lluvias y las demandas hídricas del proyecto.

5.2. Estrategias proyectuales.

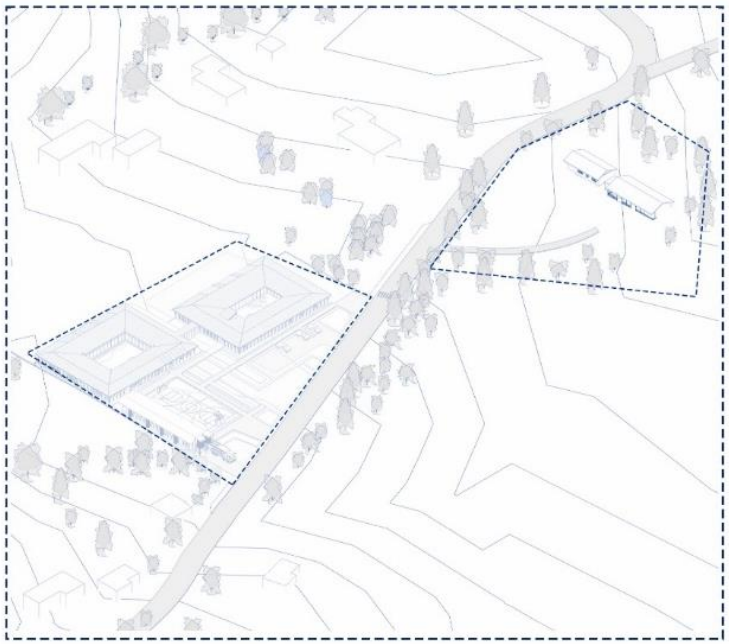
Para desarrollar las estrategias propuestas, es fundamental comprender el contexto del proyecto, particularmente el caso de estudio de la Escuela Rural Lefuco en Curacautín. Este análisis permite definir los ejes proyectuales desde una perspectiva estratégica, considerando su ubicación y la cantidad actual y potencial de alumnos, cuyo número podría aumentar con la implementación de la escuela.

La orientación del diseño juega un papel fundamental en la creación de espacios más confortables para los estudiantes. Los volúmenes arquitectónicos propuestos generan patios exteriores diferenciados según sus usos, conectados mediante circulaciones que integran los espacios interiores y exteriores de manera fluida. Además, se resalta la participación de la comunidad en la escuela, lo que abre la posibilidad de incorporar diversas actividades en sus espacios. En este contexto, la captación de agua no solo se integra de manera funcional al proyecto, sino que también se hace presente como un elemento visible y significativo dentro del diseño arquitectónico.

Las siguientes estrategias se explicarán en detalle, abordando su implementación y su impacto en la funcionalidad de la escuela, así como en su relación con la comunidad y el entorno.

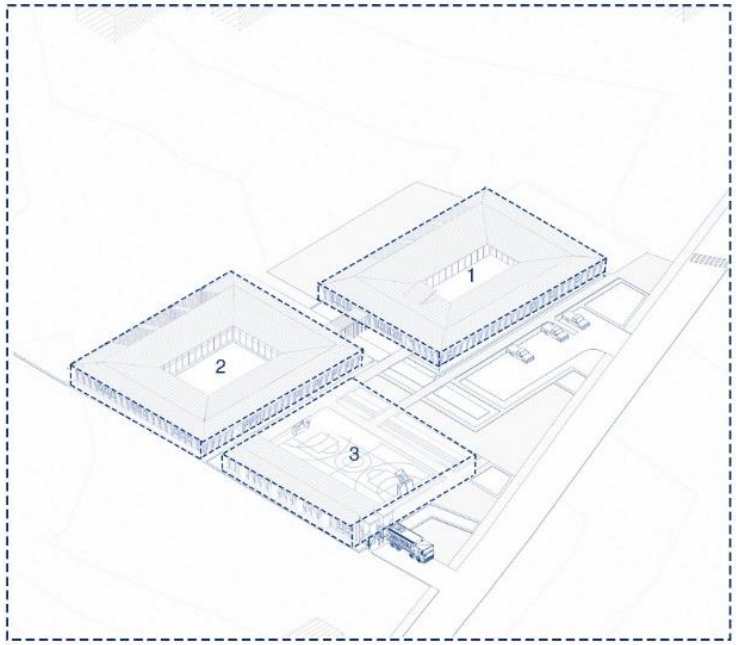


(Fig. 64.) contexto. Elaboración propia.



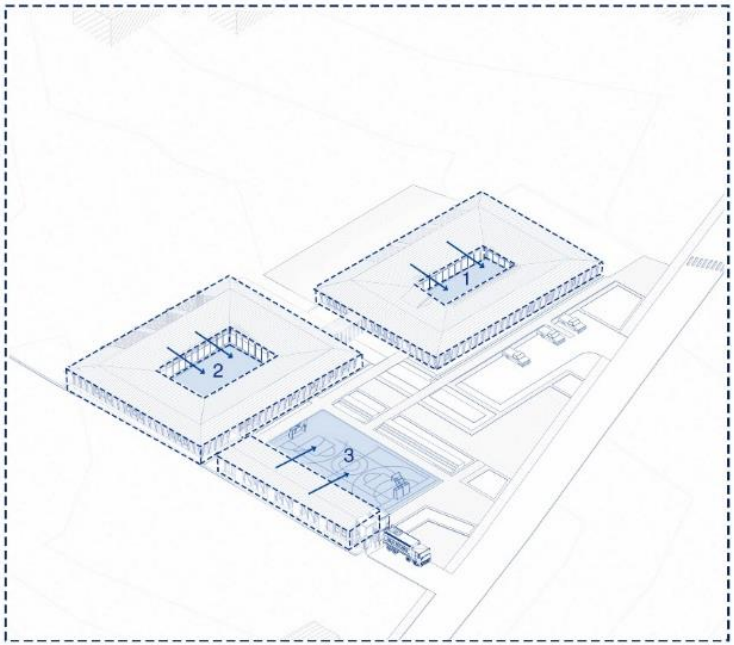
(Fig. 65.) Esquema de la ubicación. Elaboración propia.

UBICACIÓN: Se plantea la ubicación a partir de la cercanía de la escuela existente, en un punto estratégico donde convergen dos caminos principales. Esta ubicación facilita el acceso, ya que se encuentra a una distancia equidistante de las viviendas del sector rural, optimizando la conectividad para la comunidad.



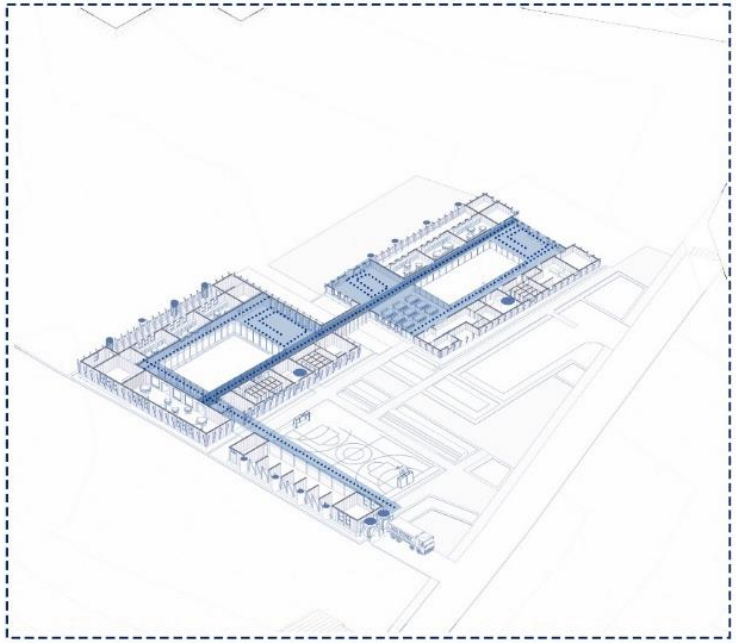
(Fig. 66.) Esquema de forma. Elaboración propia.

FORMA: A partir del terreno seleccionado, los volúmenes se organizan considerando los niveles educativos de los estudiantes y las necesidades de la comunidad. Se plantean tres volúmenes diferenciados según su función: el primero, destinado a los cursos menores, el segundo, orientado a los cursos mayores, y el tercero, ubicado estratégicamente en la parte frontal del proyecto, está diseñado para actividades comunitarias, reforzando su integración con el entorno.



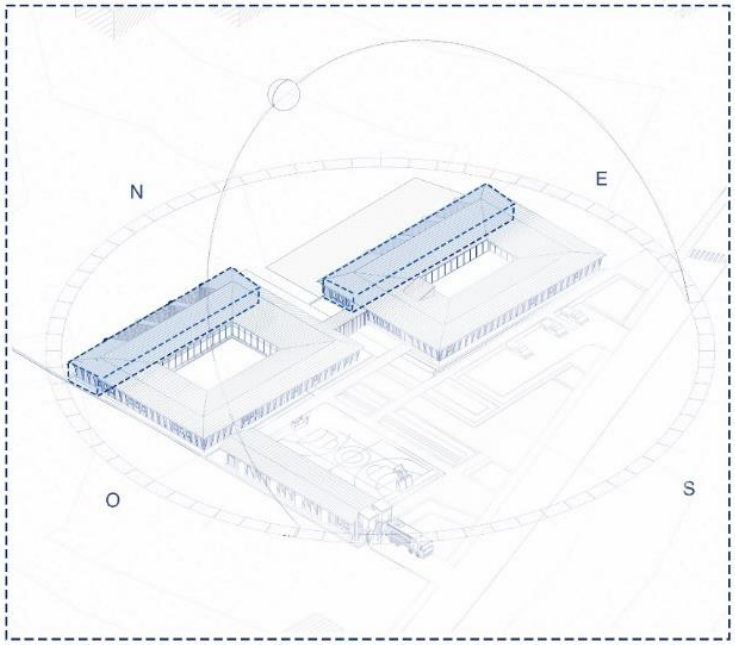
(Fig. 67.) Esquema de patios. Elaboración propia.

PATIOS: A partir de los tres volúmenes, se extraen sus partes centrales para crear patios. Sin embargo, en el volumen 3, el espacio se abre hacia el exterior, estableciendo una conexión directa con su entorno. Los patios tienen propósitos específicos: juegos infantiles para la recreación, cultivos para el aprendizaje sostenible y actividades comunitarias para integrar a los habitantes, fortaleciendo la funcionalidad e impacto social del proyecto.



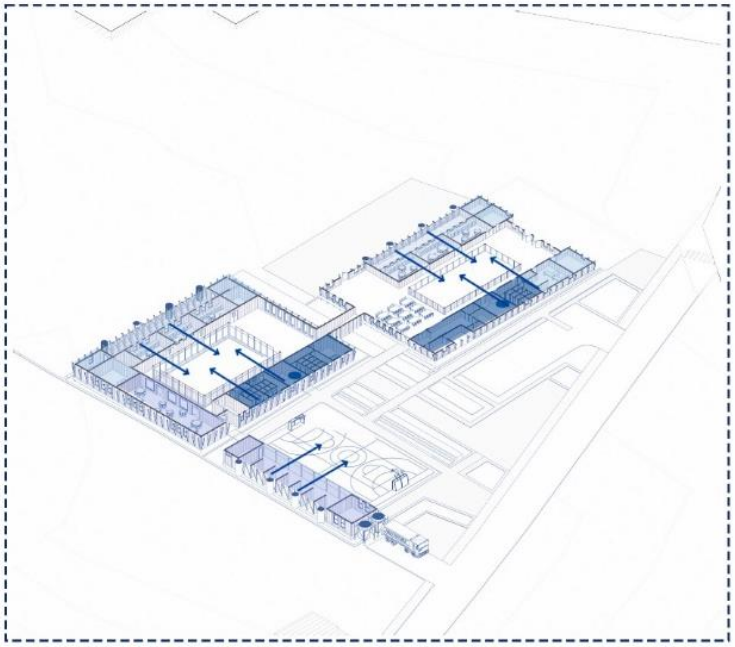
(Fig. 68.) Esquema de circulación. Elaboración propia.

CIRCULACIÓN: Las circulaciones se estructuran alrededor de un eje principal que conecta los patios exteriores e interiores. Además, las circulaciones secundarias rodean los patios, facilitando el acceso y la conexión entre los diferentes espacios.



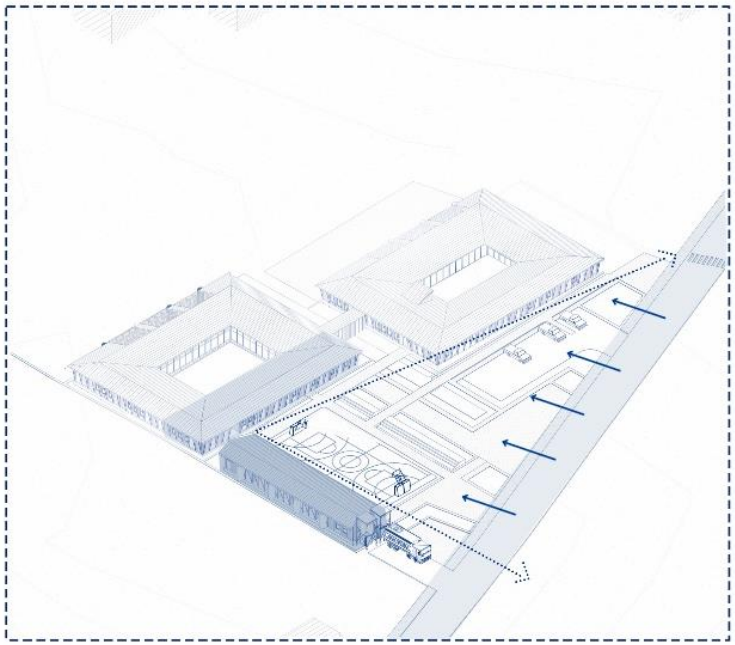
(Fig. 69.) Esquema de orientación. Elaboración propia.

ORIENTACIÓN: El orden de los programas según su orientación se define por su uso. Las aulas se ubican en los volúmenes del lado norte, aprovechando al máximo la luz y el calor solar durante el invierno. Esta disposición reduce la necesidad de calefacción y asegura una iluminación natural óptima. Además, se incorpora un invernadero en la fachada norte como estrategia para mitigar las bajas temperaturas invernales, mejorando el confort térmico del espacio.



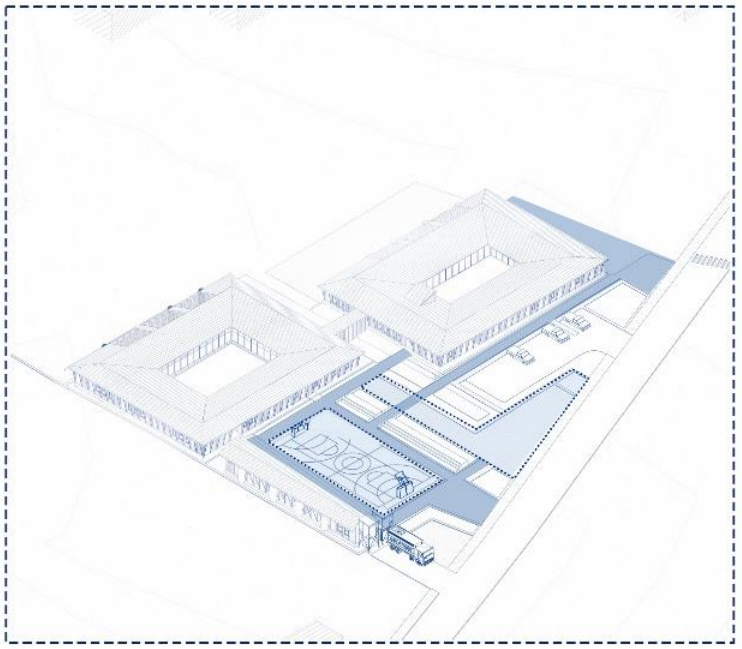
(Fig. 70.) Esquema de programas. Elaboración propia.

PROGRAMAS: La distribución de los programas se basa en la orientación, el uso programático y la relación con los patios de cada módulo. Las aulas se ubican estratégicamente en el lado norte para aprovechar la luz natural y el calor solar, los servicios se sitúan en el lado sur, y los espacios de uso parcial se organizan en los lados este y oeste, optimizando funcionalidad y eficiencia en cada área.



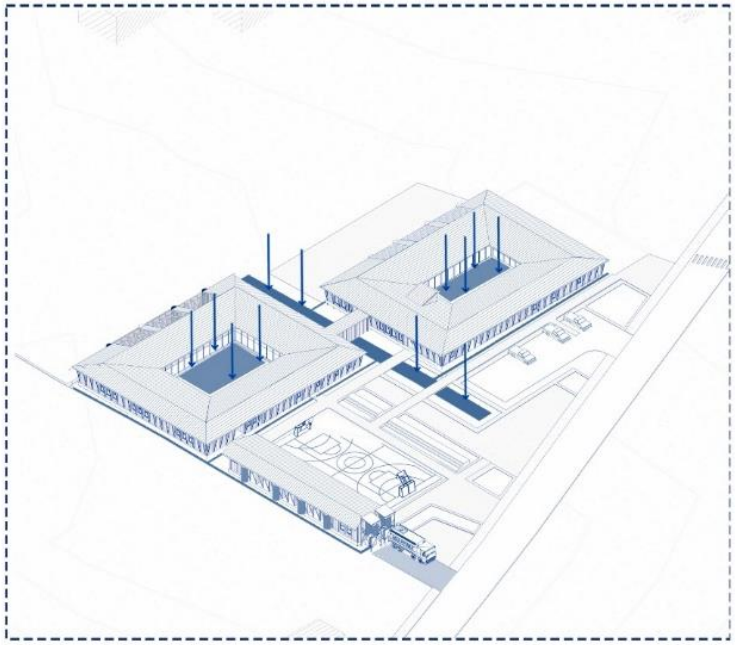
(Fig. 71.) Conexión del espacio comunitario**.** Elaboración propia.

CONEXIÓN DEL ESPACIO COMUNITARIO: El espacio público se propone en la parte frontal del proyecto para tener una conexión directa con la comunidad, en donde incluye una feria, una sede para la junta de vecinos, un parque y una cancha multifuncional diseñada para diversas actividades. Esta propuesta busca fortalecer la vida comunitaria y potenciar la interacción en el entorno rural.



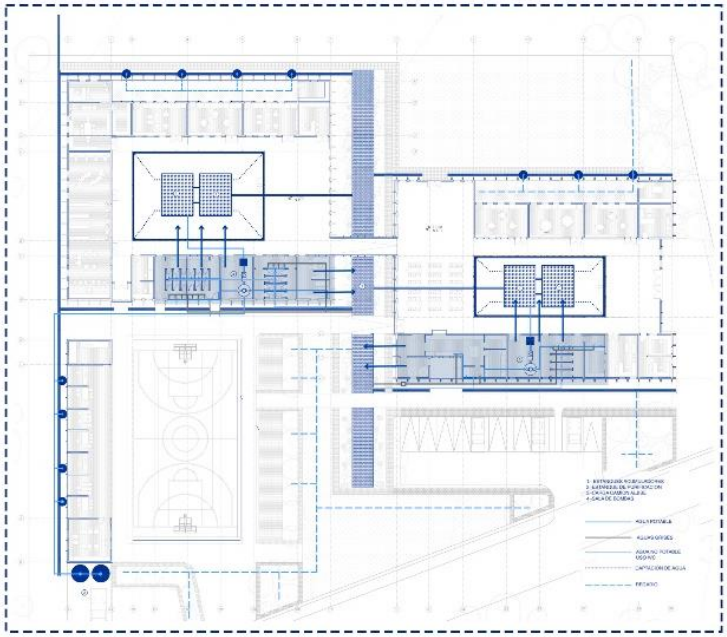
(Fig. 72.) Esquema de orientación. Elaboración propia.

CIRCULACIONES ESPACIO COMUNITARIO: Las circulaciones se diseñan a partir de los accesos al espacio comunitario, estableciendo conexiones funcionales entre los distintos espacios. Este recorrido direccionado facilita la integración entre la escuela y la explanada de actividades, promoviendo un flujo continuo que refuerza la relación entre la escuela y los espacios comunitarios.



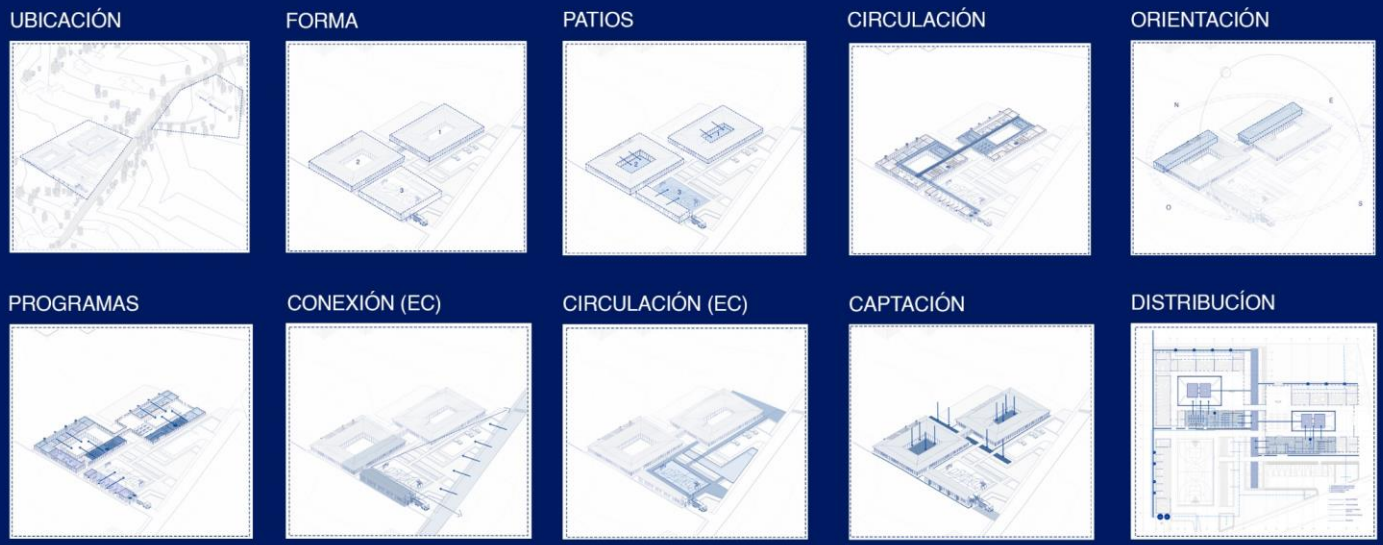
(Fig. 73.) Esquema de captación de agua. Elaboración propia.

CAPTACION DE AGUA: Los espacios de captación de agua se configuran a partir de los patios centrales, donde cada programa está directamente relacionado con los patios de agua y la captación de aguas lluvias. Además, se genera un eje entre los dos volúmenes principales que alberga el estanque de purificación de aguas lluvias, integrando de manera funcional y eficiente la gestión hídrica con el diseño del proyecto.



(Fig. 74.) Esquema de distribución del agua. Elaboración propia.

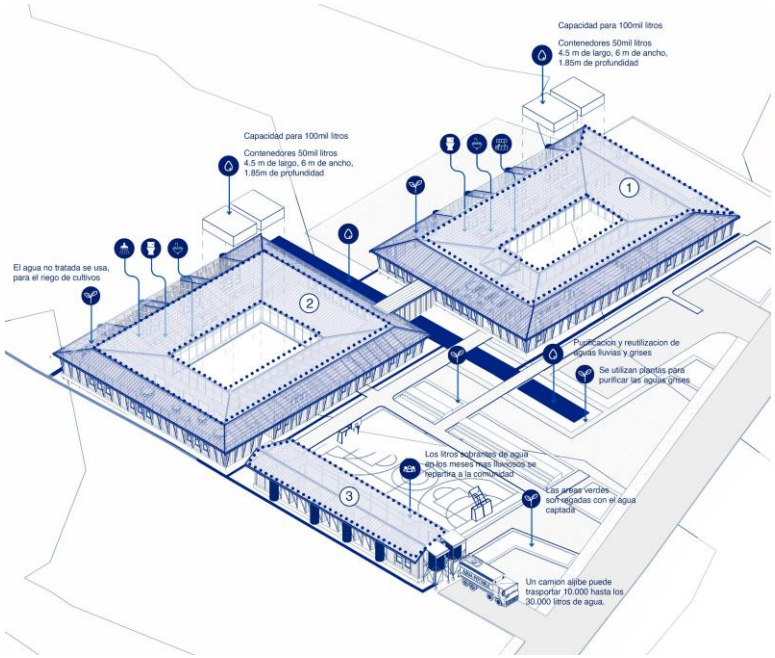
DISTRIBUCION DEL AGUA: Los programas que requieren abastecimiento de agua potable se ubican estratégicamente cerca de los puntos de captación de agua y del sistema de purificación de aguas grises. Esta disposición optimiza los procesos, minimiza pérdidas y garantiza una mayor eficiencia en la distribución del recurso hídrico.



(Fig. 74) Muestra de las diferentes estrategias que conforman el proyecto. Elaboración propia.

5.3 Estimación de captación de aguas lluvias y demandas.

A partir de las estrategias planteadas anteriormente, este capítulo se centra en demostrar la estimación de la captación de aguas lluvias en el proyecto, así como la integración del uso de aguas grises y el análisis de las demandas de agua. Este enfoque permite evaluar la eficiencia hídrica del diseño y su capacidad para satisfacer las necesidades de la escuela y la comunidad.



(Fig. 75.) Esquema de distribución del agua. Elaboración propia.

MODULO 1:

Demandas:

CATEGORÍA	USUARIOS (a)	NÚMERO DE USOS (b)	CONSUMO (c) [LITROS]	SUB-TOTAL LITROS/DÍA	SUB-TOTAL LITROS/MES	TOTAL AÑO LITROS/AÑO
WC Inodoros	35	3 cantidad	3	315	9,450	114,975
Lavamanos	35	0.3 seg	8	252	7,560	91,980
Lavaplatos	1	3 min	10	300	9,000	109,500
Beber-Cocinar	70	-	3	210	6,300	76,650
TOTAL				1,077	32,310	393,105
			SOLO DEMANDA DE AGUA POTABLE		**22.860 LITROS**	

(Fig. 76.) Tabla de demandas. Elaboración propia.

La tabla muestra la demanda de agua potable en el proyecto, distribuida en cuatro categorías: WC inodoros, lavamanos, lavaplatos y beber/cocinar. El consumo diario total es de 1,077 litros, lo que equivale a 32,310 litros mensuales y 393,105 litros anuales. Los WC inodoros representan la mayor demanda con 9,450 litros/mes, seguidos por lavaplatos con 9,000 litros/mes, lavamanos con 7,560 litros/mes y finalmente beber/cocinar con 6,300 litros/mes. Al comparar esta demanda solo de agua potable de 22,860 litros/mes, descontando la demanda del uso del wc. Ya que, para optimizar el consumo, se implementará reutilización

de aguas grises. con el fin de garantizar un abastecimiento eficiente.

Aguas grises:

AGUAS GRISES	LITROS
Lavamanos	7,560
Lavaplatos	9,000
TOTAL AGUAS GRISES MENSUAL	16,560

USO WC AGUAS GRISES	LITROS
Sub-total mensual	9,450

(Fig. 77.) Tabla de aguas grises. Elaboración propia.

Estimación de captación de aguas lluvias:

MES	ÁREA DE RECOLECCIÓN (M²)	PRECIPITACIONES (MM)	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	FACTOR DE SEGURIDAD	TOTAL AGUA RECOLECTADA (LITROS)	SOBRANTE (LITROS)
Enero	806	29	0.9	0.85	17,881	-4,979
Febrero	806	31	0.9	0.85	19,114	-3,746
Marzo	806	36	0.9	0.85	22,197	-663
Abril	806	47	0.9	0.85	28,980	6,120
Mayo	806	124	0.9	0.85	76,457	53,597
Junio	806	202	0.9	0.85	124,551	101,691
Julio	806	182	0.9	0.85	112,219	89,359
Agosto	806	170	0.9	0.85	104,820	81,960
Septiembre	806	96	0.9	0.85	59,193	36,333
Octubre	806	98	0.9	0.85	60,342	37,482
Noviembre	806	56	0.9	0.85	34,759	11,899
Diciembre	806	41	0.9	0.85	25,280	2,420

(Fig. 78.) Tabla de captación de aguas grises. Elaboración propia.

La tabla muestra la recolección mensual de agua lluvia en un área de 806 m², considerando un coeficiente de escorrentía de 0.9 y un factor de seguridad de 0.85. Durante los meses de diciembre, enero y febrero, se observa un déficit acumulado debido a la baja cantidad de precipitaciones (2,420 litros, -4,979 litros y -3,746 litros, respectivamente). Sin embargo, en estos meses, la escuela no funciona al 100% debido a las vacaciones escolares, y el consumo se reduce considerablemente, utilizándose solo para actividades puntuales. A partir de abril, la recolección comienza a generar sobrantes, alcanzando su punto máximo en junio con un excedente de 101,691 litros. Los meses de mayo a agosto representan un período de mayor disponibilidad, generando excedentes significativos que podrían almacenarse para compensar los meses críticos de menor precipitación. Esta situación evidencia la importancia de implementar sistemas de almacenamiento eficiente, permitiendo asegurar el abastecimiento continuo durante todo el año, especialmente en temporadas de bajo uso y baja recolección.

MODULO 2

Demandas:

CATEGORÍA	USUARIOS (A)	NÚMERO DE USOS (B)	CONSUMO (C) [LITROS]	SUB-TOTAL LITROS/DÍA (E = A * B * C)	SUB-TOTAL LITROS/MES (E * 30)	TOTAL AÑO LITROS/AÑO (E * 365)
WC Inodoros	35	3 cantidad	3	315	9,450	114,975
Duchas	10	10min	0.5	750	22,500	273,750
Lavamanos	35	0.3 seg	8	252	7,560	91,980
Totales				1,317	39,510	480,705

SOLO DEMANDA DE AGUA POTABLE	30.060 LITROS

(Fig. 79.) Tabla de demandas. Elaboración propia.

La tabla muestra la demanda de agua potable, con una distribución en tres categorías principales: WC Inodoros, Duchas y Lavamanos. El consumo diario total es de 1,317 litros, lo que equivale a 39,510 litros mensuales y 480,705 litros anuales. Las duchas representan la mayor demanda de agua con 22,500 litros mensuales (57% del consumo total), seguidas por los WC inodoros con 9,450 litros/mes (24%) y los lavamanos con 7,560 litros/mes (19%). Al comparar esta demanda 30,060 litros/mes, se pueden ahorrar 9,450 litros mensuales al no utilizar agua potable que se pueden apreciar en las tablas. Esto resalta los beneficios de reutilizar las aguas grises.

Aguas grises:

AGUAS GRISES	LITROS
Lavamanos	7,560
Duchas	22,500
TOTAL AGUAS GRISES MENSUAL	30,060

USO WC AGUAS GRISES	LITROS
Sub-total mensual	9,450

(Fig. 80.) Tabla de aguas grises. Elaboración propia.

Estimación de captación de aguas lluvias:

MES	ÁREA DE RECOLECCIÓN (M²)	PRECIPITACIONES (MM)	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	FACTOR DE SEGURIDAD	TOTAL AGUA RECOLECTADA (LITROS)	SOBRANTE (LITROS)
Enero	580	29	0.9	0.85	12,867	-17,193
Febrero	580	31	0.9	0.85	13,755	-16,305
Marzo	580	36	0.9	0.85	15,973	-14,087
Abril	580	47	0.9	0.85	20,854	-9,206
Mayo	580	124	0.9	0.85	54,019	23,959
Junio	580	202	0.9	0.85	88,911	58,851
Julio	580	182	0.9	0.85	80,090	50,030
Agosto	580	170	0.9	0.85	74,835	44,775
Septiembre	580	96	0.9	0.85	42,595	12,535
Octubre	580	98	0.9	0.85	43,483	13,423
Noviembre	580	56	0.9	0.85	24,847	-5,213
Diciembre	580	41	0.9	0.85	18,192	-11,868
Total		1.112			493,394	

(Fig. 81.) Tabla de captación de aguas lluvias. Elaboración propia.

La tabla refleja la captación de aguas lluvias en un área de recolección de 580 m², aplicando un coeficiente de escorrentía

de 0.9 y un factor de seguridad de 0.85. Los meses de enero, febrero y marzo presentan los niveles más bajos de recolección, con déficits de -17,193 litros, -16,305 litros y -14,087 litros, respectivamente. No obstante, estos meses coinciden con el período de vacaciones escolares, donde la escuela no está al 100% en uso y solo se realizan actividades puntuales, lo que disminuye significativamente la demanda de agua.

A partir de mayo, la recolección comienza a generar excedentes, alcanzando su punto máximo en junio con un sobrante de 58,851 litros. Estos meses de mayor disponibilidad (mayo a agosto) permiten compensar los déficits de verano mediante el almacenamiento. Además, el uso de las duchas es ocasional y no diario, restringido a eventos puntuales como partidos deportivos, lo que reduce aún más la demanda de agua en esta categoría.

Aunque existe un déficit durante los meses de baja recolección, la reducción del consumo en vacaciones y el uso esporádico de ciertas instalaciones permiten optimizar la gestión del recurso. La implementación de sistemas de almacenamiento para capturar excedentes en los meses lluviosos es clave para garantizar un abastecimiento continuo durante los períodos críticos de menor precipitación.

MODULO 3

Estimación de captación de aguas lluvias:

MES	ÁREA DE RECOLECCIÓN (M²)	PRECIPITACIONES (MM)	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	FACTOR DE SEGURIDAD	TOTAL AGUA RECOLECTADA (LITROS)
Enero	200	29	0.9	0.85	4,437
Febrero	200	31	0.9	0.85	4,743
Marzo	200	36	0.9	0.85	5,508
Abril	200	47	0.9	0.85	7,191
Mayo	200	124	0.9	0.85	18,972
Junio	200	202	0.9	0.85	30,898
Julio	200	182	0.9	0.85	27,846
Agosto	200	170	0.9	0.85	26,010
Septiembre	200	96	0.9	0.85	14,688
Octubre	200	98	0.9	0.85	14,994
Noviembre	200	56	0.9	0.85	8,568
Diciembre	200	41	0.9	0.85	6,273
Total		1,071			170,136

(Fig. 82.) Tabla de captación de aguas lluvias. Elaboración propia.

La tabla presenta la captación de aguas lluvias en un área de 200 m², con un coeficiente de escorrentía de 0.9 y un factor de seguridad de 0.85, permitiendo calcular la cantidad de agua recolectada mensualmente. A lo largo del año, la precipitación acumulada alcanza 1,071 mm, logrando una recolección total de 170,136 litros. Durante los meses de mayo, junio, julio y agosto, se registra la mayor captación de agua, con valores que superan los 18,000 litros mensuales, siendo junio el mes con la recolección más alta, alcanzando 30,898 litros. En contraste, los

meses de menor recolección corresponden a enero y febrero, con 4,437 litros y 4,743 litros, respectivamente, debido a las bajas precipitaciones.

La captación de agua de este módulo va destinada a familias de la comunidad. se considera un consumo promedio de 50 litros por persona al día, este volumen de agua recolectado anualmente podría beneficiar a aproximadamente 9 a 10 familias de 4 integrantes cada una durante todo el año. En meses de alta captación, como junio, la cantidad de agua recolectada podría incluso cubrir las necesidades de más familias o destinarse a usos comunitarios adicionales, como riego o limpieza. De esta manera, el módulo de captación de agua no solo proporciona un recurso a la comunidad, sino que también promueve la autogestión hídrica. Mejorando los tiempos de abastecimiento de agua potable, se contribuye a mejorar la calidad de vida en comunidades rurales con acceso limitado a este recurso.

La estimación de captación de aguas lluvias y demandas presentadas en las tablas demuestra que la recolección de agua de lluvia es suficiente para cubrir el consumo de agua potable, mientras que el agua captada desde otras techumbres se destina al riego de huertos y áreas verdes, como el parque. Es importante destacar que existen días con déficit hídrico, en los cuales la captación mensual no alcanza a cubrir la demanda. Por esta razón, resulta fundamental dimensionar adecuadamente los estanques de acumulación, asegurando un almacenamiento suficiente para enfrentar los meses con menores precipitaciones.

Este análisis permite evidenciar el consumo diario aproximado de una escuela con 60 a 70 personas y resalta el potencial de ahorro de agua mediante la implementación de sistemas de reutilización, como el aprovechamiento de aguas grises para funciones secundarias. De esta manera, se puede lograr una gestión más eficiente del recurso hídrico, contribuyendo a la sustentabilidad y asegurando el abastecimiento continuo en contextos rurales con acceso limitado al agua potable.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

En esta investigación se ha demostrado cómo el cambio climático es uno de los factores que intensifica la escasez hídrica, afectando especialmente a las comunidades rurales, cuya subsistencia depende directamente del agua para actividades como la agricultura, la ganadería y el consumo diario. Sin embargo, esta problemática no es solo consecuencia de la disponibilidad limitada del recurso, sino también del manejo ineficiente y la falta de infraestructura adecuada para su gestión. Muchas de estas comunidades dependen de fuentes naturales como ríos, vertientes y camiones aljibe, las cuales presentan fallas recurrentes en el suministro, generando una situación de precariedad y vulnerabilidad constante.

En este contexto, la escasez hídrica no solo afecta a las viviendas, sino que impacta de manera directa a las escuelas rurales, las cuales carecen de un suministro seguro y continuo, al depender también de estas fuentes informales. Esta situación ha llevado, en muchos casos, a la interrupción de actividades educativas, limitando su funcionamiento diario e incluso forzando el cierre temporal de las escuelas. El problema va más allá de lo funcional, estas escuelas no son únicamente espacios educativos, sino el corazón de las comunidades rurales. Representan puntos de encuentro y recreación, donde también se preservan tradiciones locales y se fomenta el desarrollo cultural

Al analizar las regiones más afectadas por la escasez hídrica para encontrar un caso de estudio adecuado, se destacó la Región de La Araucanía como una de las zonas con mayor población rural y vulnerabilidad. A pesar de contar con abundantes recursos hídricos naturales, como ríos y vertientes, la gestión ineficiente y desigual ha impedido un acceso equitativo al agua potable. Esta situación se vuelve aún más crítica al evidenciar que los porcentajes de escuelas sin acceso a agua potable en La Araucanía son similares a los de la Región de Atacama, una zona considerablemente más árida y con recursos hídricos mucho más limitados.

Esta comparación refleja una paradoja preocupante porque la abundancia de recursos hídricos en La Araucanía no garantiza su disponibilidad para las comunidades rurales, evidenciando las falencias en la gestión y distribución del agua. Además, a pesar de estas condiciones alarmantes, La Araucanía nunca ha sido declarada zona de sequía por la Dirección General de Aguas (DGA), lo que pone de manifiesto una falta de reconocimiento frente a esta crisis.

En respuesta a la problemática identificada, se analizó el caso de estudio de la comuna de Curacautín, ubicada en la Región de La

Araucanía, a las cercanías del sector cordillerano. El análisis evidenció que, si bien la mayoría de las escuelas rurales contaban con acceso al agua potable a través del sistema APR (Agua Potable Rural), este recurso no estaba exento de dificultades. Se presentan problemas recurrentes, como cortes en el suministro y deficiencias en la calidad del agua, lo que generaba incertidumbre en su disponibilidad y uso seguro. Además, una de las escuelas investigadas dependía exclusivamente del abastecimiento mediante camiones aljibe, evidenciando la fragilidad y falta de infraestructura adecuada para garantizar el acceso continuo al recurso hídrico.

Otro aspecto clave identificado fue la precariedad en la infraestructura de estas escuelas, que no respondía adecuadamente a las necesidades de los usuarios ni a las condiciones climáticas del lugar, dificultando la creación de espacios confortables y funcionales. Este análisis permitió definir un lugar estratégico para desarrollar propuestas que abordaran las problemáticas planteadas, considerando no solo la falta de acceso seguro al agua potable, sino también la necesidad de una mejor infraestructura.

A partir del lugar seleccionado para abordar la problemática, se plantean diferentes estrategias de diseño, estas no solo garantizan el abastecimiento de agua potable en la escuela, sino que también generan diferentes espacios donde se fortalece el vínculo entre los estudiantes y la comunidad.

Al desarrollar esta propuesta, enfrenté diversos desafíos relacionados con la estimación de la demanda hídrica y las condiciones climáticas del contexto. El proyecto busca responder a estas dificultades mediante la implementación de sistemas de captación y acumulación de aguas lluvias, diseñados para abastecer los meses en los que la demanda no es cubierta. A su vez, se integra un sistema de reutilización de aguas grises a través de un humedal construido, aportando a la gestión eficiente de este recurso.

Sin embargo, uno de los principales desafíos radica en la incertidumbre del clima, ya que las precipitaciones pueden variar considerablemente año a año, desde valores mínimos hasta máximos extremos. A pesar de ello, el proyecto demuestra su viabilidad al basarse en estadísticas anuales de precipitaciones, calculando la media como punto de referencia para la captación y almacenamiento del agua.

Esta propuesta no solo responde a la necesidad local de abastecimiento hídrico, sino que también se presentan estrategias replicables para otras comunidades rurales vulnerables o en desarrollo. La implementación de estas estrategias depende en gran medida de la participación de los

usuarios y de la gestión comunitaria del recurso, destacando la importancia de la educación y el compromiso para asegurar su funcionamiento a largo plazo. De este modo, el proyecto evidencia cómo la arquitectura y la planificación de la gestión de recursos hídricos, pueden convertirse en herramientas clave para enfrentar los desafíos del acceso al agua y el cambio climático.

BIBLIOGRAFIA

- ACE (Agencia de Calidad de la Educación). (2019). Evaluación educativa en contextos rurales. ACE.
- Agua.org.mx. (2024). Agua potable, saneamiento y salud pública: Un análisis global. Agua.org.mx.
- Amiguinho, P. (2011). Las escuelas rurales como motores de desarrollo local y preservación cultural. Revista de Educación y Desarrollo Rural.
- AQUA España. (2011). Guía Técnica Española de Reciclaje de Aguas Grises. AQUA España, p. 267.
- Arellano, J. (2017). El impacto ambiental del Decreto Ley 701 en las comunidades rurales de La Araucanía. Editorial Universitaria.
- Araucanía Andina. (2023). Curacautín: Riqueza natural y cultural en la Región de La Araucanía. Araucanía Andina.
- ArchDaily. (n.d.). Francis Kéré diseñará el Serpentine Pavilion 2017. Recuperado de https://www.archdaily.mx
- ArchDaily. (n.d.). Firbank Sandringham Curiosity Centre / Studio Bright. Recuperado de https://www.archdaily.mx
- Arquine. (n.d.). Escuela Rural Productiva, Tepetzintan, Cuetzalan del Progreso, Puebla, México. Recuperado de https://www.arquine.com
- Arqa. (n.d.). Serpentine Pavilion 2017. Recuperado de https://www.arqa.com
- Arquitectura Viva. (n.d.). Serpentine Pavilion de Francis Kéré. Recuperado de https://www.arquitecturaviva.com
- Banco Mundial. (2018). Mejoras en la infraestructura escolar rural: Impacto en la retención y el rendimiento académico. Banco Mundial.
- Baumert, N., Alberti, M., Serra, A., & Orellana, R. (2005). Estudio de la calidad del agua y su impacto en la salud en la comuna de Curacautín, Región de La Araucanía. Universidad de Chile.
- BBC News Mundo. (2021, marzo). El cierre de escuelas rurales en América Latina: Un fenómeno en aumento. BBC News Mundo.
- BioBioChile. (2022, marzo). El gasto en camiones aljibes en Chile supera los 150 mil millones de pesos en los últimos cinco años. BioBioChile.
- BioBioChile. (2024, febrero). 268 familias enfrentan problemas de acceso al agua en la región de Los Ríos. BioBioChile.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2023). Patrimonio cultural y territorial de Curacautín. BCN Chile.

- Cabrera, D., & Ancao, R. (2023). Crisis de agua en las escuelas rurales de La Araucanía: Testimonios de la comunidad educativa. Diario Araucanía.
- Capitel, A. (2005). Arquitectura del patio. Editorial Gustavo Gili, p. 6.
- Carrasco, J., & Manosalva, A. (2021). La crisis hídrica en la Región de La Araucanía: Un análisis de la escasez de agua y su impacto en las comunidades rurales. Universidad de Chile.
- Centro de Investigación en Cambio Climático (CICC). (2022). Impacto del cambio climático en la gestión de recursos hídricos en La Araucanía. CICC.
- Climate-Data. (2023). Clima en Curacautín: Datos climáticos y precipitaciones anuales. Climate-Data.org.
- Comunal. (n.d.). Programa arquitectónico de la Escuela Rural Productiva. Recuperado de https://www.comunal.mx
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (1998). Small and Decentralized Wastewater Management Systems. McGraw-Hill.
- Díaz, M. (2023). El impacto de la crisis hídrica en la producción agrícola y ganadera de La Araucanía. Universidad de Chile.
- Dirección de Obras Hidráulicas. (2020). Informe anual del Programa de Agua Potable Rural (APR). Ministerio de Obras Públicas.
- Dirección Meteorológica de Chile. (2022). Informe sobre el déficit de precipitaciones en Chile: 1961-2022. Dirección Meteorológica de Chile.
- Donoso, G., & Melo, O. (2020). Escasez de agua y su impacto en la cuenca del río Copiapó. Universidad de Chile.
- El Ciudadano. (2023, octubre). La Escuela Rural de Quilquico: Un ejemplo de resiliencia educativa en Chiloé. El Ciudadano.
- Elige Educar. (2020). Los docentes en zonas rurales de Chile: Desafíos y realidades. Elige Educar.
- Estrategias de Reutilización de Aguas Grises. (2018). Sistema integral de tratamiento y reutilización de aguas grises, p. 7.
- Estrategias de Reutilización de Aguas Grises. (2018). Sistema integral de tratamiento y reutilización de aguas grises, p. 11.

- Fountoulakis, M. S., Markakis, N., Petousi, I., & Manios, T. (2016). Single house on-site grey water treatment using a constructed wetland in Greece: A case study. Ecological Engineering, 94, 169-175.
- Fundación Amulén. (2019). Informe sobre el acceso al agua potable en las escuelas rurales de Chile. Fundación Amulén.
- Fundación Amulén. (2020). Informe sobre el acceso al agua potable en zonas rurales de Chile. Fundación Amulén.
- Fundación Amulén. (2023). Informe sobre la gestión del agua en zonas rurales de Chile. Fundación Amulén.
- Fundación Amulén. (2024). Informe sobre la implementación de sistemas de abastecimiento hídrico en escuelas rurales de Chile. Fundación Amulén.
- Galilea, P., Fuentes, R., & Escudero, P. (2020). Impacto del cambio climático en la infraestructura y comunidades rurales en Chile. Centro de Políticas Públicas UC.
- Gardiner, R. (n.d.). Detalle de los sistemas de recolección de agua de lluvia en el Firbank Sandringham Curiosity Centre.
- Recuperado de https://www.archdaily.mx, p. 3.Garreaud, R. (2023). Proyecciones climáticas y el futuro de los recursos hídricos en el sur de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- González, M. (2021). La domus romana y el impluvium: Estrategias arquitectónicas antiguas. Editorial Universitaria, pp. 6-7.
- González-Medina, G., Rivas, C., & Gálvez, A. (2018). El avance de la urbanización y su impacto en los recursos hídricos rurales. Revista de Estudios Urbanos.
- Gorostiza, S. (2010). El agua y la memoria: Estrategias de captación en la arquitectura. Ediciones Académicas, p. 12.
- Grupo Talca. (2020). Donde la arquitectura no llegó: Conversaciones abiertas. Ediciones ARQ.
- Heinrich Böll Stiftung. (2024). Gestión y distribución del agua en las zonas rurales de Chile. Heinrich Böll Stiftung.
- Hermosilla, L., & Montoya, A. (2021). El impacto de la escasez de agua en la educación rural en Valparaíso. Revista de Educación y Sociedad.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2020). Informe estadístico regional: La Araucanía. INE Chile.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2023). Clima y geografía de la Región de La Araucanía. INE Chile.
- Jenkins, J. (2005). The Humanure Handbook: A Guide to Composting Human Manure. Joseph Jenkins Inc., p. 4.

- Jiménez, A. (2018). Innovación pedagógica en contextos rurales: Desafíos y oportunidades. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- La Discusión. (2024, enero). Problemas de acceso al agua potable en zonas rurales debido a fallas en camiones aljibes. La Discusión.
- La Serena Online. (2024). Proyecto de educación ambiental en Monte Patria recibe el Global Learning Award. La Serena Online.
- La Tercera. (2019, noviembre). Desafíos del agua potable rural en la Región de Los Lagos. La Tercera.
- La Tercera. (2024, agosto). Sistema frontal en Chile deja más de 21,000 damnificados. La Tercera.
- Lara, A. (2021). Impacto del monocultivo forestal en los recursos hídricos de La Araucanía. Revista de Recursos Naturales y Medio Ambiente.
- Letelier, S. (2024). Entrevista sobre la implementación de sistemas de captación de agua lluvia en escuelas rurales. País Circular.
- Lizama Allende, C. (2022). Gestión y desafíos de los sistemas de Agua Potable Rural en Chile. Universidad de Concepción.
- Manosalva, A. (2021). Impacto de la sequía en la Región de La Araucanía: Un análisis socioeconómico. Revista de Clima y Sociedad.
- Martinis, C., & Redondo, F. (2006). Fusión y cierre de escuelas rurales en Argentina y Uruguay: Un análisis de las políticas públicas. CEPAL.
- Mead, M. (n.d.). Cita sobre el poder transformador de las comunidades. En Frases memorables de Margaret Mead.
- Miller, J. (1995). Rural schools as pillars of community cohesion and social development. Journal of Rural Education.
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2020). Encuesta CASEN 2020: Pobreza en la Región de La Araucanía. Gobierno de Chile.
- Ministerio de Educación. (2020-b). Informe sobre la situación de las escuelas rurales en Chile. Ministerio de Educación de Chile.
- Mistral, G. (1979). Enseñar siempre: Escritos educativos. Editorial Andrés Bello.
- Mistral, G. (n.d.). Cita sobre la tierra y su enseñanza en el contexto de la ruralidad. En Frases y reflexiones de Gabriela Mistral.

- Monge, G., Gómez Hernández, L., & Jiménez Arenas, M. (2020). Brecha digital y desafíos educativos en las escuelas rurales durante la pandemia de COVID-19. Universidad de Chile.
- Morel, A., & Diener, S. (2006). Greywater Management in Low and Middle-Income Countries: Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG), p. 14.
- Morales Estay, F. (2021). El uso del agua en la agricultura chilena: Desafíos y perspectivas. Dirección General de Aguas (DGA).
- Montalba, R., Carrasco, J., & Torres, M. (2015). La cosmovisión mapuche y la crisis hídrica: Impactos en las prácticas culturales y espirituales. Centro de Estudios Interculturales e Indígenas.
- Moreno, F. (2010). La escuela da vida: El impacto de las escuelas rurales en las comunidades. Universidad de Concepción.
- Navarro Mena, F. (2017). Los desafíos del abastecimiento de agua en las comunidades mapuches frente a la crisis hídrica. Instituto de Estudios Indígenas, Universidad de la Frontera.
- Neruda, P. (1950). Canto General. Editorial Losada.
- Neira Barría, P. (n.d.). Impacto de la concentración de derechos de agua en las cuencas del sur de Chile. Universidad de Chile.
- Neira Barría, P. (n.d.). Problemas de acceso al agua potable en la Región de La Araucanía: Factores históricos, legales y ambientales. Universidad de Chile.
- Nolde, E. (2000). Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin. Urban Water, 1(4), 275-284.
- Núñez, I., Díaz, C., & Hernández, L. (2020). La población rural en Chile: Un análisis crítico. Universidad de Concepción.
- OCDE. (2014). Estadísticas sobre población rural en Chile. OCDE.
- ODEPA. (2018). Informe sobre la expansión de monocultivos forestales en Chile. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.
- Olsson, L. (2012). Urbanización y presión sobre los recursos hídricos rurales en Chile. Centro de Estudios Urbanos.

- ONU-Hábitat. (2016). Agua y desigualdad: Un desafío global en expansión. ONU-Hábitat.
- ONU-Hábitat. (2023). Desastres naturales y cambio climático: Un análisis global. ONU-Hábitat.
- ONU-Hábitat. (2023). Estrategias para enfrentar la crisis hídrica en comunidades rurales. ONU-Hábitat.
- País Circular. (2023). Soluciones hídricas para escuelas rurales en Los Lagos y La Araucanía. País Circular.
- País Circular. (2024). Proyecto "Cosechadores de agua" en Paine: Un modelo para enfrentar la crisis hídrica. País Circular.
- Peirano, C., Estévez, R., & Astorga, A. (2015). Modelos educativos en escuelas rurales: Multigrado y organización docente. Universidad de Chile.
- PNUD. (2016). Agua y desarrollo sostenible en América Latina. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, pp. 9, 12.
- Rivera, M., González, R., & Valenzuela, P. (2019). Derechos de aprovechamiento de aguas y su impacto en las comunidades rurales chilenas. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Rodríguez, P. (2008). Políticas de cierre de escuelas rurales en América Latina: Consecuencias para la equidad educativa. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Rotoplas Centroamérica. (n.d.). Sistemas de captación de agua de lluvia: Una solución sostenible para el futuro.
- Studio Bright. (n.d.). Diagrama de componentes del sistema de captación de agua de lluvia en el Firbank Sandringham Curiosity Centre. Recuperado de https://www.studiobright.com.au, p. 17.
- Subdirección Nacional de Patrimonio Cultural Inmaterial. (2024). Premio Margot Loyola: Reconocimiento al patrimonio cultural inmaterial. Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio.
- Sustentable UC. (2023). Los efectos del cambio climático en Chile: Perspectivas desde la academia. Universidad Católica de Chile.
- UNESCO. (2015). Manual de captación y almacenamiento de agua de lluvia. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, pp. 24-28, 32, 35.
- UNESCO. (2017). Infraestructura escolar en zonas rurales: Un desafío para la educación de calidad. UNESCO.
- UNICEF. (2019). El impacto de la recolección de agua en la educación de las niñas en zonas rurales. UNICEF.

- UNICEF. (2023). Informe sobre la escasez de agua y su impacto en los niños en América Latina y el Caribe. UNICEF.
- Vásquez, R. (2023). Impacto de los gases de efecto invernadero en los patrones climáticos de Chile. Dirección Meteorológica de Chile.
- Vera, D., Salvo, M., & Zunino, R. (2013). El cierre de las escuelas rurales en Chile: Consecuencias educativas y sociales. Revista de Educación Rural.
- Weather-Atlas. (2023). Precipitaciones y temperaturas en Curacautín: Un análisis estacional. Weather-Atlas.com.
- Williamson, G. (2017). La escuela rural y su comunidad: Vínculos, territorios y culturas en coexistencia. Revista de Educación Rural.

ABSTRACT

PALABRAS CLAVE: RURALIDAD-ESCASEZ DE AGUA -AGUA-COMUNIDAD-ESTRATEGIAS DE DISEÑO-CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS.

EL CAMBIO CLIMÁTICO CADA VEZ AFECTA MÁS A LA SOCIEDAD ACTUAL PRODUCTO DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS. UNA DE ESTAS SON LAS PRECIPITACIONES, LAS CUALES AFECTA DIRECTAMENTE A LAS POBLACIONES MÁS VULNERABLES QUE SON LOS SECTORES RURALES. ESTA SITUACIÓN COMPROMETE LA CALIDAD DE VIDA Y EL BIENESTAR DE LOS VECINOS, ASÍ COMO DE LA COMUNIDAD EDUCATIVA DE ESTAS ZONAS, DONDE EL 40% DEPENDE DE FUENTES INFORMALES DE AGUA.

EL MANEJO DEL AGUA POTABLE SE VE ENFRENTADO POR LA ESCASEZ HÍDRICA. LOS VECINOS Y ESTUDIANTES SON DE LOS MÁS AFECTADOS, PRESENCIANDO EL CIERRE DE ESTAS ESCUELAS EN ZONAS REMOTAS, LO QUE PRIVA A LAS COMUNIDADES CERCANAS A LA EDUCACIÓN Y GENERANDO UN IMPACTO NEGATIVO EN EL TEJIDO SOCIAL. LAS ESCUELAS RURALES SON UNA PARTE ESENCIAL DE ESTAS LOCALIDADES, YA QUE NO SOLO PROPORCIONAN EDUCACIÓN, SINO QUE TAMBIÉN ACTÚAN COMO CENTROS COMUNITARIOS Y PUNTOS DE ENCUENTRO PARA LOS VECINOS.

ESTA INVESTIGACIÓN TIENE COMO OBJETIVO CONOCER LOS DESAFÍOS DE LA RURALIDAD Y LA ESCASEZ HÍDRICA. ENTENDIENDO QUE LAS ESCUELAS RURALES NO SOLO TIENEN UN ENFOQUE EDUCACIONAL, SINO QUE TAMBIÉN
UN POTENCIAL COMO CENTROS DE REVITALIZACIÓN CULTURAL Y DESARROLLO COMUNITARIO.

PARA ABORDAR ESTA PROBLEMÁTICA, SE PLANTEA EL DISEÑO DE UNA ESCUELA RURAL QUE NO SOLO FUNCIONE COMO UN ESPACIO EDUCATIVO, SINO TAMBIÉN COMO UN NODO ESTRATÉGICO PARA LA CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUAS LLUVIAS. ESTE PROYECTO BUSCA GARANTIZAR EL ACCESO A AGUA POTABLE PARA LOS ESTUDIANTES Y ALGUNAS FAMILIAS DE LA LOCALIDAD, MEJORANDO SU CALIDAD DE VIDA, REDUCIENDO SU DEPENDENCIA DE FUENTES INFORMALES Y ASEGURANDO LA CONTINUIDAD DE LA EDUCACIÓN EN UN ENTORNO SEGURO.

ADEMÁS, SE CONSIDERARÁN LAS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA PARA IMPLEMENTAR ESTRATEGIAS DE DISEÑO QUE NO SOLO MAXIMICEN LA EFICIENCIA EN LA CAPTACIÓN DEL AGUA, SINO QUE TAMBIÉN ASEGUREN EL CONFORT TÉRMICO DE LOS ESTUDIANTES EN LOS ESPACIOS EDUCATIVOS, A TRAVÉS DE ESTRATEGIAS PASIVAS QUE REGULEN LA TEMPERATURA INTERIOR, OPTIMICEN LA VENTILACIÓN NATURAL Y EL APROVECHAMIENTO DE LA LUZ SOLAR.

DE ESTE MODO, EL PROYECTO NO SOLO ENFRENTA LA ESCASEZ HÍDRICA, SINO QUE TAMBIÉN FORTALECE LA COHESIÓN SOCIAL, BENEFICIANDO A LOS ESTUDIANTES Y A LAS FAMILIAS DE LA LOCALIDAD AL TRANSFORMAR LA ESCUELA EN UN PUNTO DE ENCUENTRO Y COLABORACIÓN COMUNITARIA.



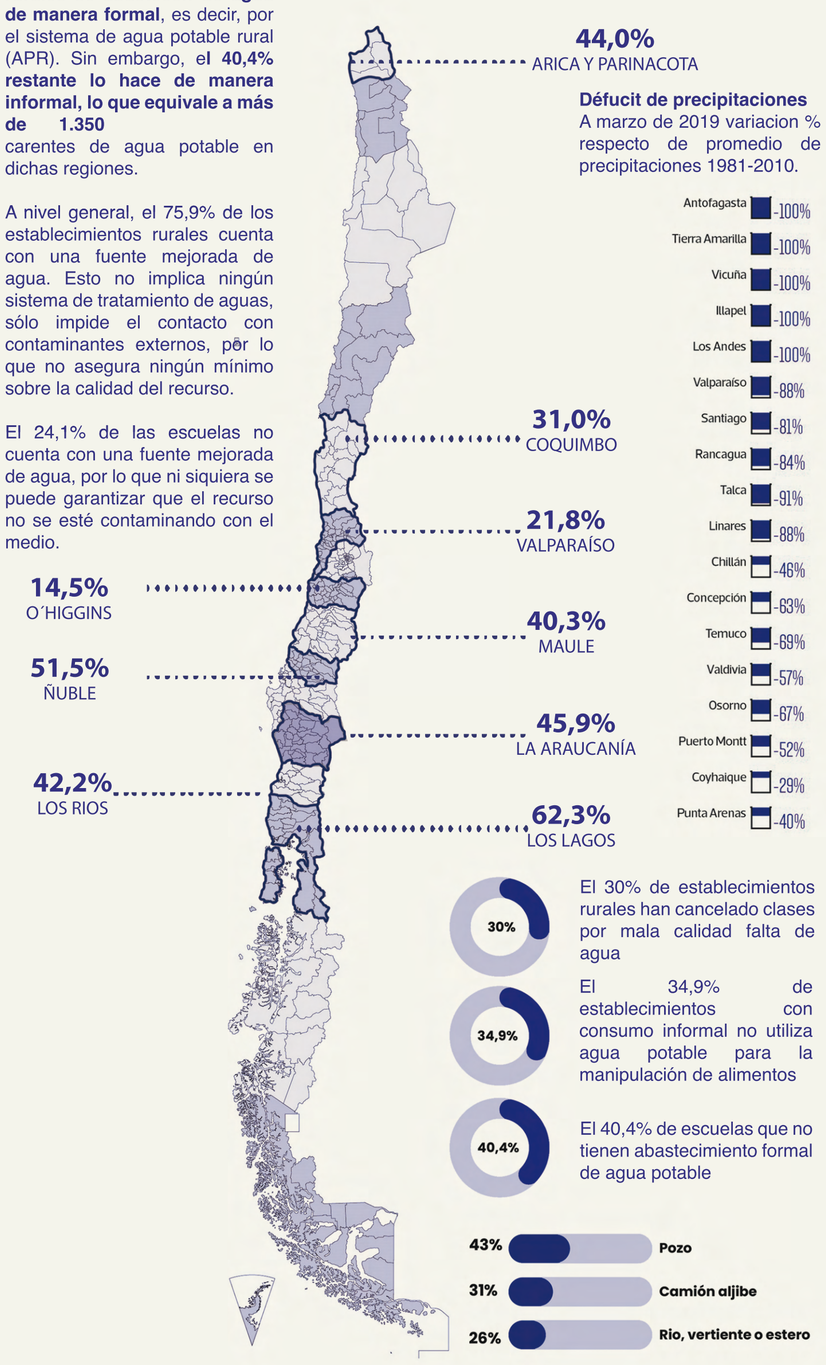
TEMA: *Escasez hídrica en la ruralidad*

CARENCIA DEL AGUA POTABLE EN ESCUELAS RURALES DE CHILE

El 59,6% de las escuelas rurales se abastecen de agua de manera formal, es decir, por el sistema de agua potable rural (APR). Sin embargo, e**l 40,4% restante lo hace de manera informal, lo que equivale a más de 1.350** carentes de agua potable en dichas regiones.

A nivel general, el 75,9% de los establecimientos rurales cuenta con una fuente mejorada de agua. Esto no implica ningún sistema de tratamiento de aguas, sólo impide el contacto con contaminantes externos, pŏr lo que no asegura ningún mínimo sobre la calidad del recurso.

El 24,1% de las escuelas no cuenta con una fuente mejorada de agua, por lo que ni siquiera se puede garantizar que el recurso no se esté contaminando con el medio.



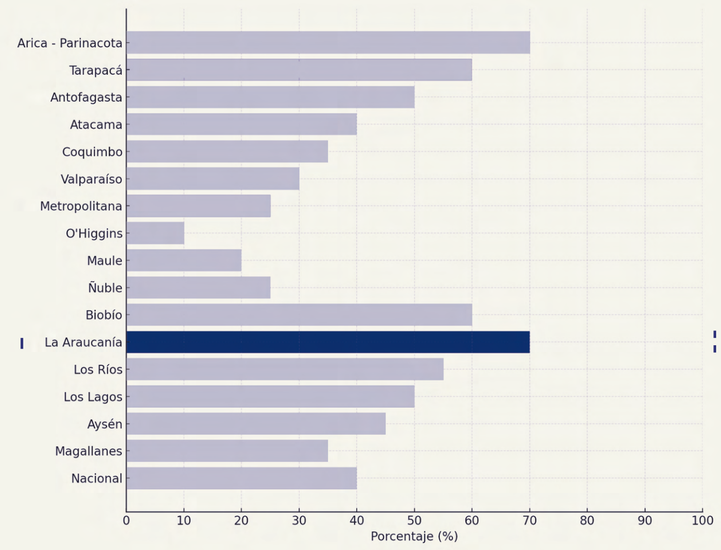
Défucit de precipitaciones
A marzo de 2019 variacion % respecto de promedio de precipitaciones 1981-2010.

El 30% de establecimientos rurales han cancelado clases por mala calidad falta de agua

El 34,9% de establecimientos con consumo informal no utiliza agua potable para la manipulación de alimentos

El 40,4% de escuelas que no tienen abastecimiento formal de agua potable

POBLACIÓN RURAL CON ABASTECIMIENTO INFORMAL POR REGION (%)



DISTRIBUCIÓN DE ESCUELAS RURALES EN LA REGIÓN DE LA ARAUCANIA

Según datos del Mineduc, durante 2021 había 3.299 escuelas rurales en Chile, lo que equivale al 29,2% del total de los establecimientos educacionales del país. En cuanto a matrículas, 277.844 estudiantes asisten a este tipo de establecimiento, lo que corresponde al 7,7% del total de estudiantes de nuestro país.
Las regiones que concentran mayor cantidad de establecimientos educacionales rurales son La Araucanía (639), Los Lagos (545) y del Maule (394).



EL CAMBIO CLIMATICO

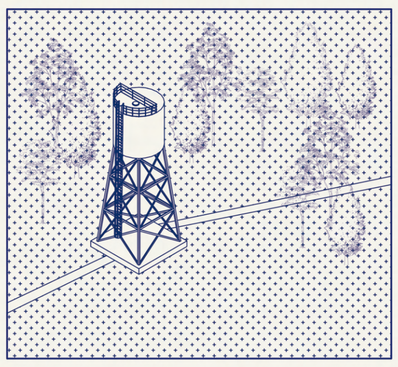
IMPACTA EN
LA RURALIDAD

-Cambios en Patrones de Lluvia
-Aumento de Temperaturas.
-Fenómenos climáticos extremos y desastres naturales con mas frecuencia.

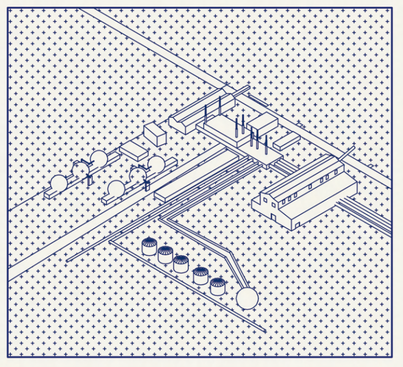
IMPACTOS DIRECTOS

ESCASEZ HÍDRICA, Disponibilidad del agua.

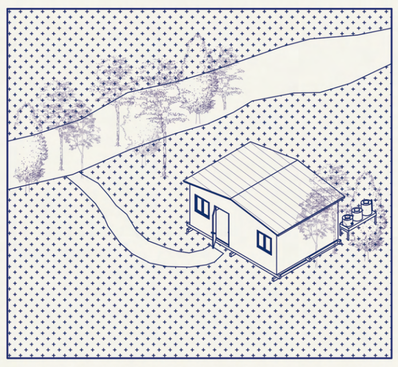
EFECTOS, Clave en Viviendas, Escuelas y Agricultura



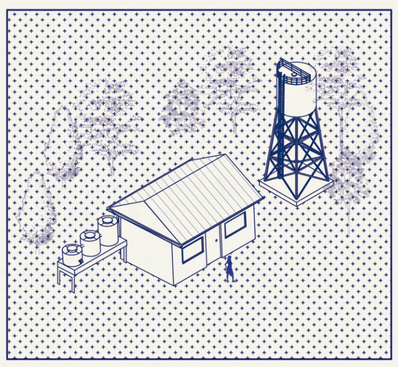
FALTA DE INFRAESTRUCTURA
-Dependencia de fuentes informales.
-Vulnerabilidad de los sistemas APR



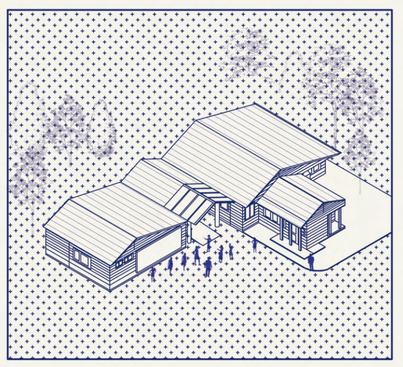
SOBREEXPLOTACÍON DE RECURSOS HIDRICOS
-Excesiva extracción para la agricultura y ganaderia.
-Distribución ineficiente del agua.
-Urbanización y demanda creciente



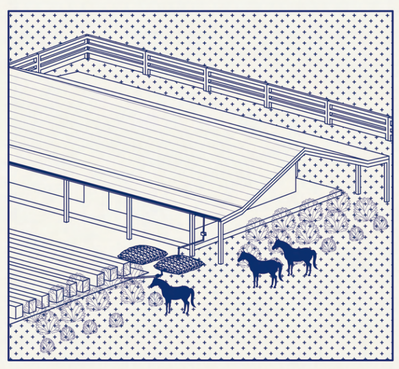
DESIGUALDAD SOCIO ECONOMICA
-Poblacíones vulnerables afectadas
-Sistemas de captacion de agua precarios.
-Inequidad en la gestión del agua



VIVIENDAS
-Falta de acceso a agua potable:
Las viviendas rurales dependen de fuentes informales (pozos, ríos, camiones aljibes), lo que limita el acceso constante y seguro al agua potable.
-Impacto en la calidad de vida:
La falta de agua potable y saneamiento adecuado reduce significativamente el confort y la seguridad en el hogar.

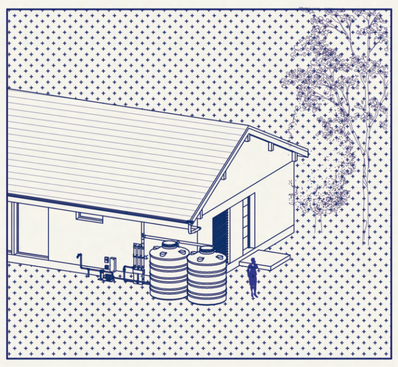


ESCUELAS
-Migración a las ciudades:
La pérdida de medios de vida por la escasez hídrica impulsa la migración hacia áreas urbanas en busca de mejores oportunidades.
-Interrupción de actividades escolares:
La escasez de agua puede llevar al cierre temporal de escuelas o a la reducción de la jornada escolar, afectando la continuidad del aprendizaje y el bienestar de los estudiantes.

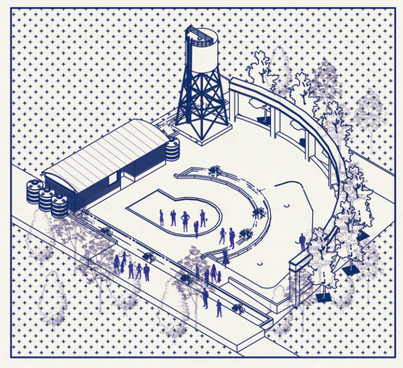


AGRICULTURA Y GANADAÍA
-Degradación del suelo:
La falta de agua contribuye a la erosión y pérdida de fertilidad del suelo, reduciendo su capacidad productiva.
-Disminución en la producción:
La falta de agua limita el riego y la disponibilidad de pasto, reduciendo significativamente la producción agrícola y ganadera, lo que afecta tanto la economía rural como la seguridad alimentaria.

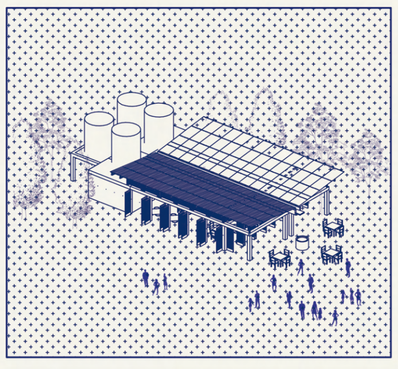
RESPUESTA Y ADAPTACIONES



INFRAESTRUCTURA Y GESTIÓN DEL AGUA
-Sistemas de captación de aguas lluvia: Incorporación de sistemas de recolección y almacenamiento en techos y superficies de edificaciones.
-Infraestructura descentralizada de abastecimiento:
Diseño de sistemas comunitarios de captación y almacenamiento que permitan la autogestión del agua, reduciendo la dependencia de redes centralizadas.



EDUCACIÓN Y ADAPTACIÓN COMUNITARIA
-Capacitación en uso eficiente del agua: Formación de comunidades rurales en prácticas sostenibles.
-Plazas de retención de agua: Espacios públicos que actúan como reservorios temporales durante lluvias intensas.



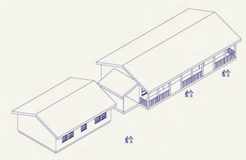
DISEÑO DE ESPACIOS PÚBLICOS MULTIFUNCIONALES
-Infraestructura educativa adaptativa: Escuelas con sistemas de captación de agua y espacios diseñados para la gestión eficiente del recurso hídrico.
-Centros comunitarios con infraestructura hídrica: Edificaciones que sirven como puntos de distribución de agua y educación ambiental para la comunidad.

CONTEXTO INMEDIATO

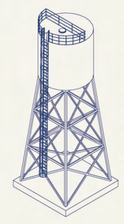
CATALIZADOR RURAL:
La escuela como abastecimiento hídrico

Escuela existente con bajo nivel constructivo

ESCUELA RURAL LEFUCO

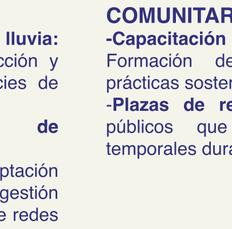


INFRAESTRUCTURA



Oportunidad proyectual con infraestructura hídrica y escolar

ACCESO AGUA POTABLE



Comunidades a 12km de Curacautin

USUARIOS



Adaptación a condiciones climáticas

Problemática de acceso y centralización

DISTANCIAS

CATALIZADOR RURAL:
Catalizador que tiene como significado estimular el desarrollo de un proceso, aplicado al contexto actual, la escuela con solución hídrica busca potenciar el desarrollo de la comunidad, promoviendo avances en los ámbitos académicos, sustentables y cultural

L2

NOMBRE: CATALINA LUZ GÓNZALEZ AZÚA
PROFESOR GUIA: DIEGO PALMA

TEMA: *MÁS ALLÁ DE LAS AULAS:* "LA ESCUELA COMO UNA SOLUCIÓN A LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA RURALIDAD MEDIANTE EL DISEÑO Y LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CURACAUTÍN, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA"
MENCÍON: DISEÑO Y CONSTRUCCÍON SUSTENTABLE

arq m

LUGAR: Curacautín, *sector rural Lefuco, Región de la Araucanía*

Curacautín

Sector rural de Lefuco

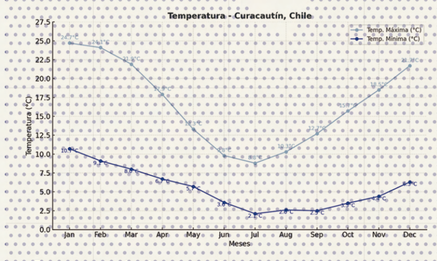
DISTANCIA DE SERVICIOS DESDE EL SECTOR RURAL DE LEFUCO A CURACAUTIN

Parada de bus	200mts
Escuela basica rural	400mts
Viviendas cercanas	500mts/1km
Almacen o supermercados	9km
Parques, Areas verdes recreativas	10km
Hospital	10,9km
Escuela basica y liceos	12km

750m
700m
650m
600m
550m
521m

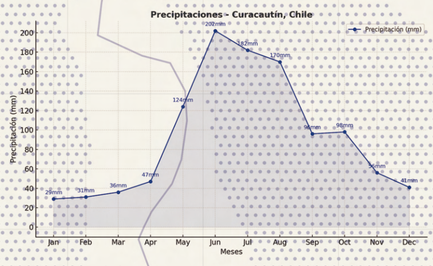
ANALISIS DE CLIMA

Temperaturas medias y precipitaciones



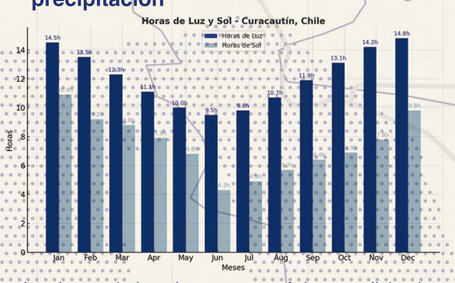
Presenta inviernos fríos con temperaturas mínimas cercanas a 2 °C y veranos templados con máximas de hasta 24.7 °C, reflejando una marcada variación estacional.

Cantidad de precipitación



Las precipitaciones son estacionales, alcanzando su máximo en junio (202 mm) durante el invierno. Los meses de verano (diciembre a febrero) son más secos, con valores entre 29 mm y 41 mm. Este patrón indica un clima templado lluvioso con lluvias concentradas en invierno.

Cielo nublado, sol y días de precipitación



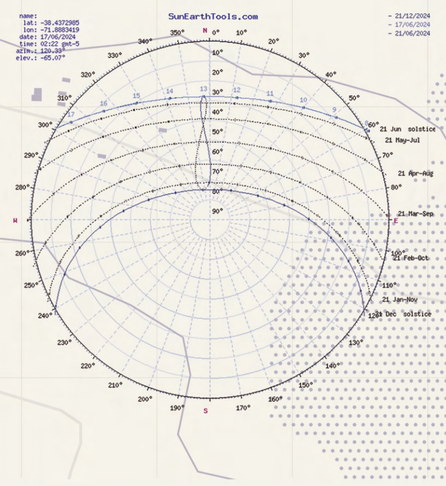
Las horas de luz alcanzan su máximo en diciembre (14.8 h) y mínimo en junio (9.5 h), reflejando la influencia estacional. Las horas de sol directo son menores y también varían, siendo más altas en verano (diciembre, 9.8 h) y más bajas en invierno (junio, 4.3 h). Esto indica una fuerte estacionalidad en la radiación solar.

Rosa de los ventos



Los vientos principales de mayor constancia provienen del oeste, con velocidades de 5 a 12 km/h, y con presencia de 19 km/h en menor cantidad. Por otro lado, del este provienen vientos no menores de 12 a 19 km/h, con mayor presencia mensual.

Carta solar



Conclusiones

Con relacion al analisis del clima el diseño se debe orientar hacia el norte para aprovechar la radiación solar en invierno y reducir la necesidad de calefacción, mientras que en verano es necesario integrar elementos de sombreado como aleros para evitar el sobrecalentamiento. es esencial implementar sistemas eficientes de captación y almacenamiento de aguas lluvia, considerando las altas precipitaciones invernales. optimizar la entrada de luz natural en los meses más oscuros con ventanas estratégicamente ubicadas. Además, se deben usar materiales con alto aislamiento térmico para mantener el confort interior en invierno y diseñar espacios exteriores protegidos para actividades durante las lluvias.

L3

NOMBRE: CATALINA LUZ GÓNZALEZ AZÚA
PROFESOR GUIA: DIEGO PALMA

TEMA: *MÁS ALLÁ DE LAS AULAS:* "LA ESCUELA COMO UNA SOLUCIÓN A LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA RURALIDAD MEDIANTE EL DISEÑO Y LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CURACAUTÍN, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA"
MENCÍON: DISEÑO Y CONSTRUCCÍON SUSTENTABLE

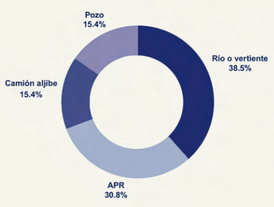
arq m

CASO: *Escuela rural, sector Lefuco*

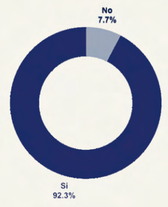
ENCUESTA SOBRE EL ACCESO AL AGUA POTABLE EN COMUNIDADES RURALES

La **encuesta realizada a apoderados de escuelas rurales en Curacautín** revela una problemática en torno al acceso y calidad del agua potable.

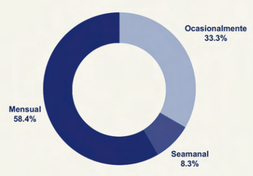
1.-¿Cuál es la principal fuente de agua potable en su hogar?



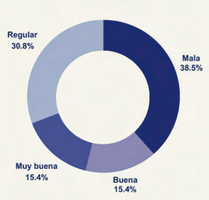
2.-¿Ha experimentado cortes de agua potable en los últimos seis meses?



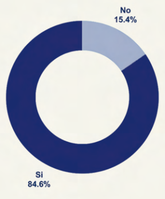
3.-Si su respuesta anterior fue "sí", ¿con qué frecuencia se producen estos cortes?



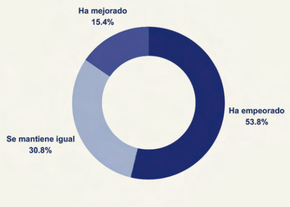
4.-¿Cómo calificaría la calidad del agua que recibe en su hogar?



5.-¿El cambio climático a afectado el suministro de agua potable, como la disponibilidad de agua en pozos, vertientes o como también los APR ?

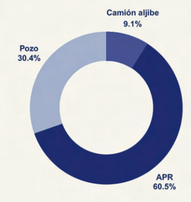


6.-¿Considera que el acceso al agua potable en su comunidad ha mejorado o empeorado en los últimos años?

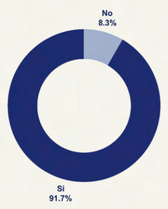


-Acceso al Agua en la Escuela

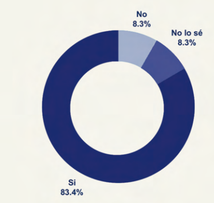
7.-¿De qué fuente proviene el agua que utiliza en la escuela rural que asiste?



8.-¿Ha afectado la falta de agua potable el funcionamiento de la escuela en algún momento (por ejemplo, suspensión de clases)?



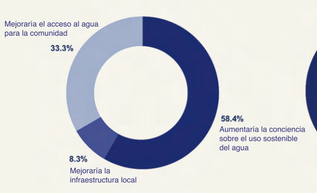
9.-¿Cree que la calidad o disponibilidad del agua afecta el rendimiento escolar?



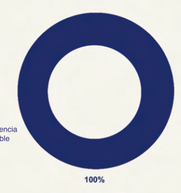
10.-¿Cree que la construcción de nuevas escuelas con sistemas de captación y gestión de agua podría beneficiar al desarrollo de la comunidad rural?



11.-¿Qué impacto cree que tendría una escuela con sistemas de captación de agua en la comunidad (ej. disponibilidad de agua para la comunidad, mejora en la calidad de vida, etc.)?



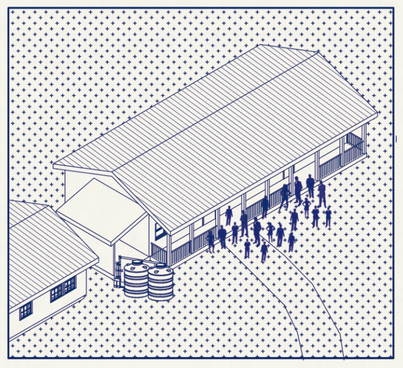
12.-¿Considera que una escuela rural con sistemas de captación de agua podría influir en otras áreas de la comunidad, como la agricultura o el abastecimiento domestico?

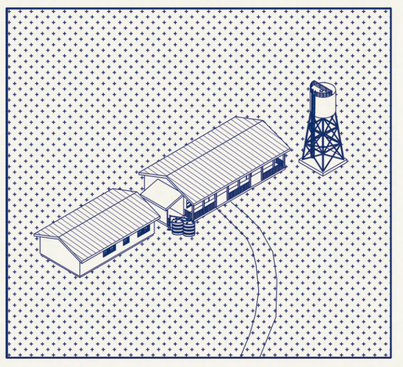


DEL LUGAR AL CASO

-Sector rural de Lefuco, comuna de Curacautín.
-Usuario
-La escuela







PROBLEMATICA

-La falta de agua potable limita la calidad de vida en la comunidad y el funcionamiento de la escuela, afectando el bienestar estudiantil y agravando la exclusión escolar en el sector rural.

LUGAR

El sector rural de Curacautín, a 12 km del centro, alberga a unas 120 personas y carece de servicios básicos como almacenes y parques, contando solo con una escuela rural básica y una parada de autobús.

USUARIO

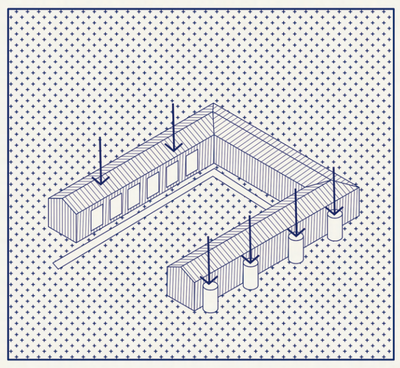
La escuela Lefuco, atiende a 20 niños de 6 a 12 años en una sala única. Cuenta con una profesora, un asistente y una manipuladora, siendo la opción más accesible para los estudiantes del sector rural.

LA ESCUELA

La escuela carece de red de agua potable, dependiendo de camiones aljibes. Su infraestructura es insuficiente para las necesidades escolares y no garantiza espacios para climas extremos como en invierno o verano.

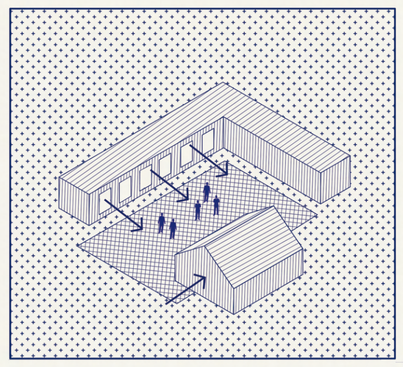
ESTRATEGIAS

-Escasez de agua en la comunidad educativa en sectores rurales



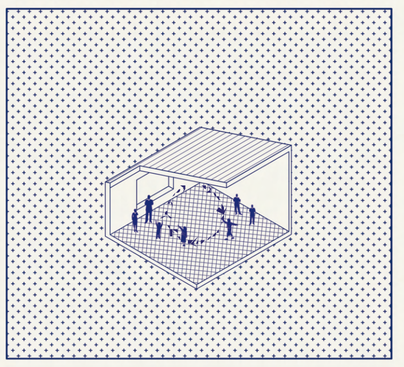
CAPTACIÓN DE AGUA

Recolección y almacenamiento de agua de lluvia mediante techos y tanques con sistemas de filtrado, promoviendo la autosuficiencia hídrica en comunidades rurales con acceso limitado al agua.



ESPACIOS COMUNITARIOS

Creación de espacios flexibles que sirven para actividades escolares y comunitarias, integrando elementos como parques que fomenten la cohesión social y el desarrollo colectivo.

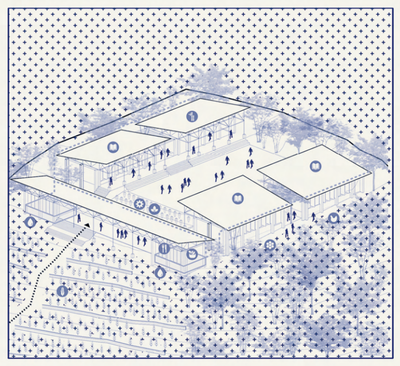


CONFORT TERMICO

mplementar diseño pasivo adaptado al clima, priorizando orientación, ventilación cruzada, techos ventilados y materiales térmicos, mejorando el confort térmico y la calidad de vida de los estudiantes.

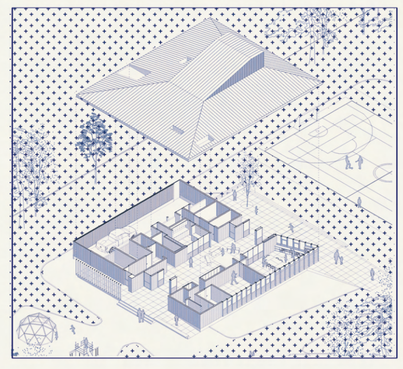
REFERENTES

-Las escuelas rurales muestran cómo la arquitectura puede integrar comunidad, espacios funcionales y gestión sostenible, fomentando la autosuficiencia, la convivencia y la educación práctica en torno al agua y el entorno.



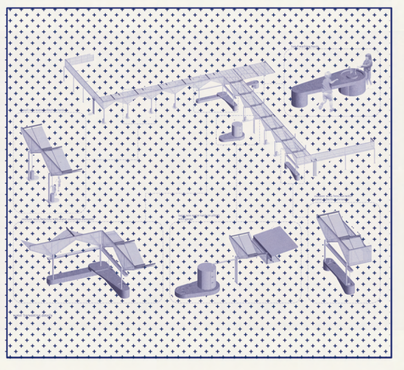
COMUNIDAD

La Escuela Rural Productiva en Tepetzintan actúa como un espacio comunitario que conecta a la población mediante la gestión colaborativa del agua y actividades educativas. A través de sistemas de captación y almacenamiento, se asegura el suministro para usos comunitarios y productivos, fortaleciendo la autosuficiencia.



ESPACIOS

Esta escuela rural de de Melirrehue ejemplifica cómo integrar de manera eficiente los espacios esenciales de una escuela rural, combinando aulas multigrado con áreas comunes que se conectan con los patios y comedores. Su diseño resalta la funcionalidad y la convivencia en un entorno adaptado a las necesidades de la comunidad.

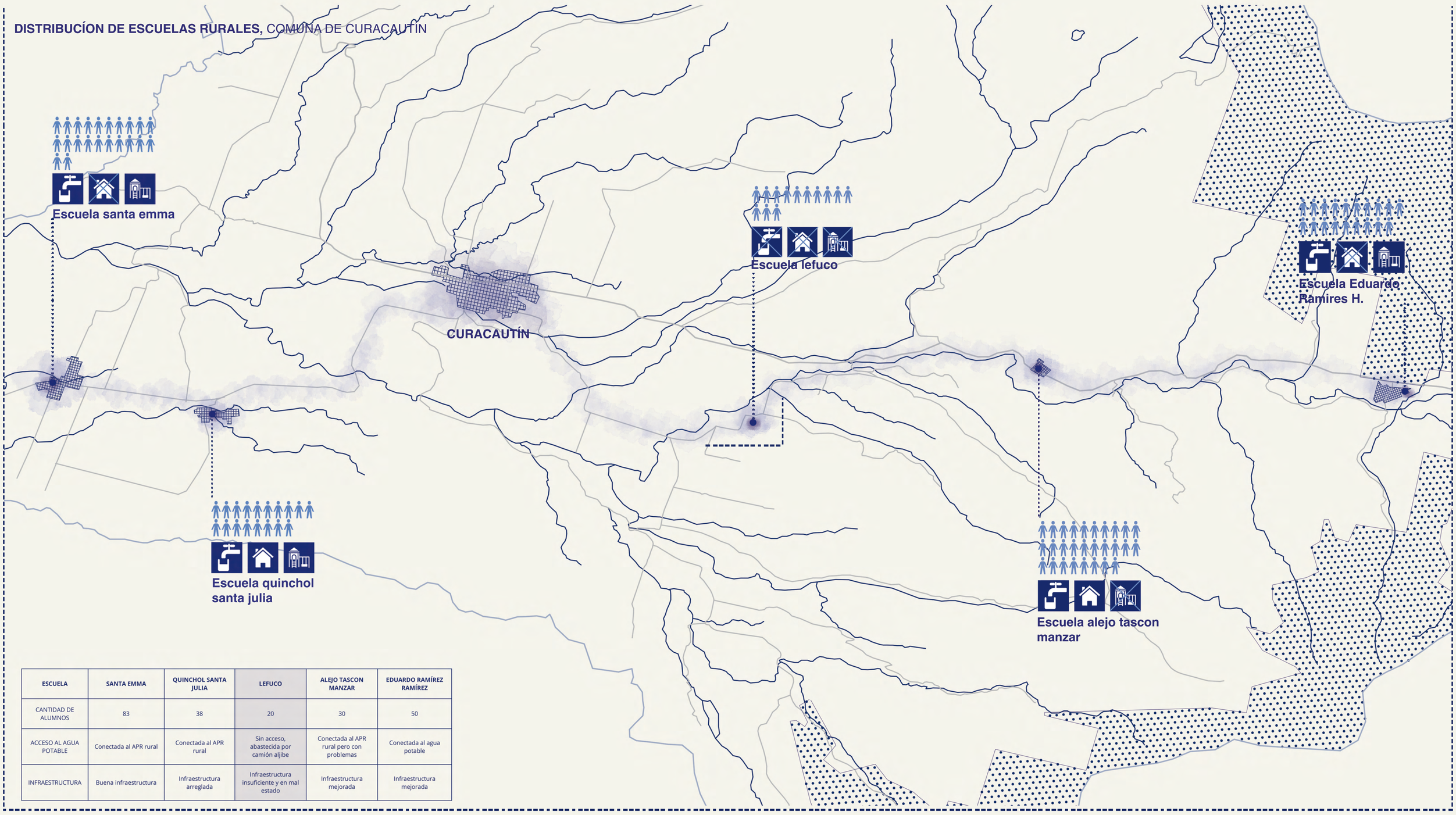


GESTION

Firbank Sandringham Curiosity Centre fomenta la sostenibilidad y la educación práctica al integrar sistemas de recolección de agua de lluvia que involucran a los estudiantes en su gestión, como el riego de huertos y la observación del ciclo del agua.

¿CÓMO PUEDE EL DISEÑO DE UNA ESCUELA RURAL, EN CONTEXTOS DE ESCASEZ HÍDRICA, INTEGRAR SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y GESTIÓN DE AGUA PARA GARANTIZAR EL ACCESO AL AGUA POTABLE Y PROMOVER ESPACIOS DE ENCUENTRO Y PARTICIPACIÓN PARA ESTUDIANTES Y VECINOS?

DISTRIBUCÍON DE ESCUELAS RURALES, COMUNA DE CURACAUTÍN



ESCUELA	SANTA EMMA	QUINCHOL SANTA JULIA	LEFUCO	ALEJO TASCON MANZAR	EDUARDO RAMÍREZ RAMÍREZ
CANTIDAD DE ALUMNOS	83	38	20	30	50
ACCESO AL AGUA POTABLE	Conectada al APR rural	Conectada al APR rural	Sin acceso, abastecida por camión aljibe	Conectada al APR rural pero con problemas	Conectada al agua potable
INFRAESTRUCTURA	Buena infraestructura	Infraestructura arreglada	Infraestructura insuficiente y en mal estado	Infraestructura mejorada	Infraestructura mejorada

L4

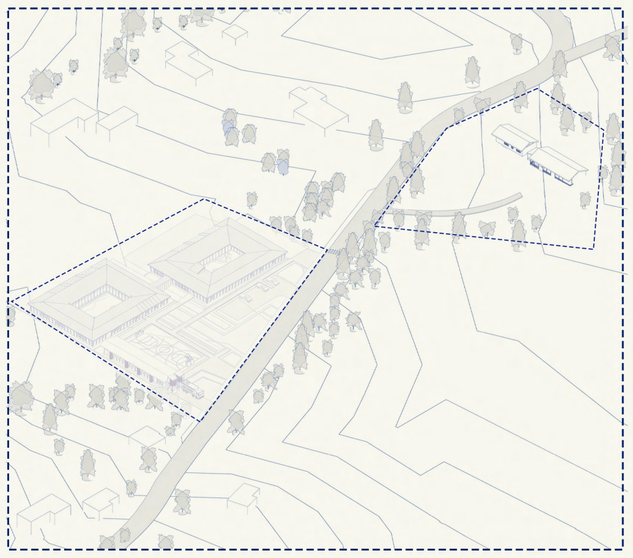
NOMBRE: CATALINA LUZ GÓNZALEZ AZÚA
PROFESOR GUIA: DIEGO PALMA

TEMA: *MÁS ALLÁ DE LAS AULAS:* "LA ESCUELA COMO UNA SOLUCIÓN A LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA RURALIDAD MEDIANTE EL DISEÑO Y LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CURACAUTÍN, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA"
MENCÍON: DISEÑO Y CONSTRUCCÍON SUSTENTABLE

marq

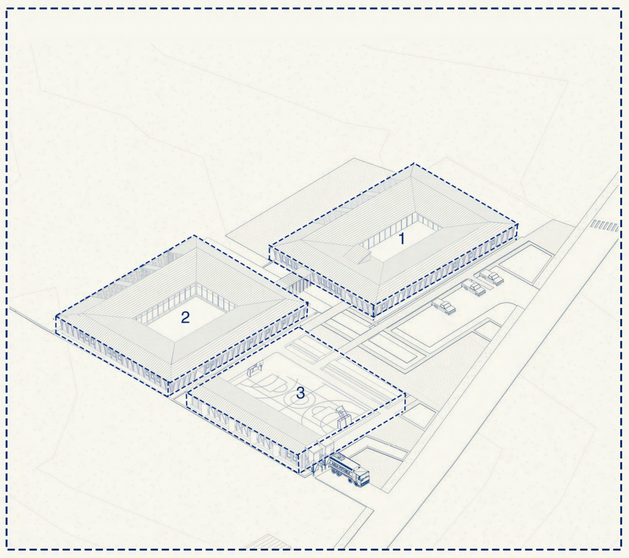
ESTRATEGIAS PROYECTUALES, *Forma, programas, sustentable y agua*

UBICACÍON



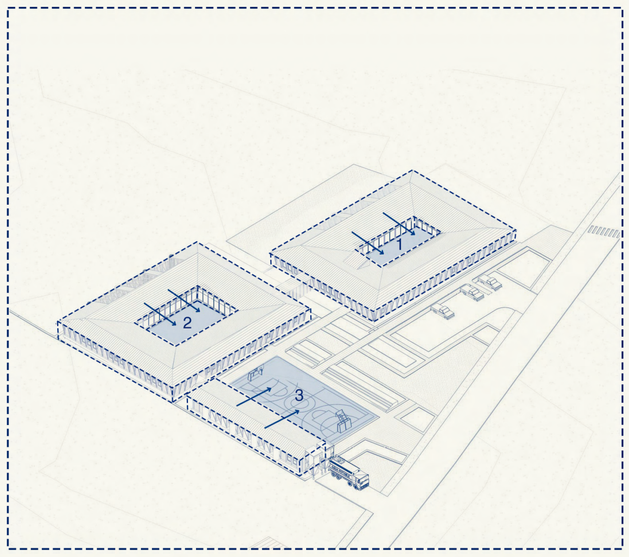
El proyecto se emplaza cerca de la escuela existente porque es un lugar estratégico donde se cruzan dos caminos principales. Este punto está a una distancia similar de las casas del sector rural, lo que hace más fácil el acceso. Además, la cercanía con la escuela mejora la conexión del proyecto con la comunidad

FORMA



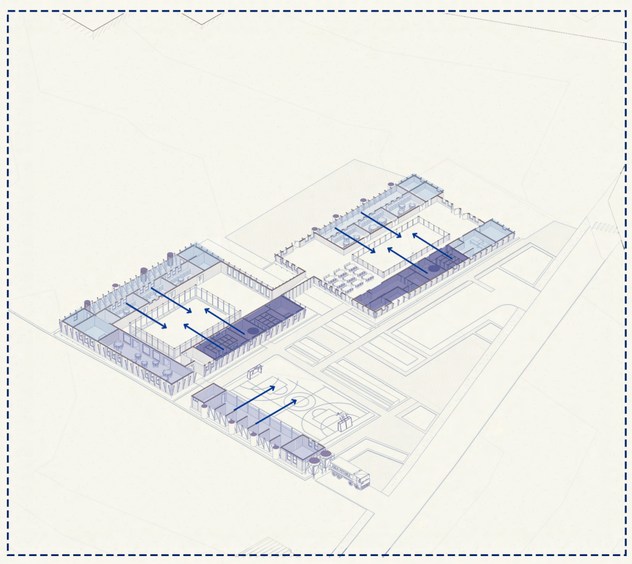
Se contemplan tres volúmenes diferenciados según su uso. El primero alberga las salas para los cursos menores, desde 1° hasta 3° básico. El segundo está destinado a los cursos mayores, desde 4° hasta 8° básico. El tercer volumen, ubicado en la parte frontal del proyecto, está destinado a actividades comunitarias

PATIOS



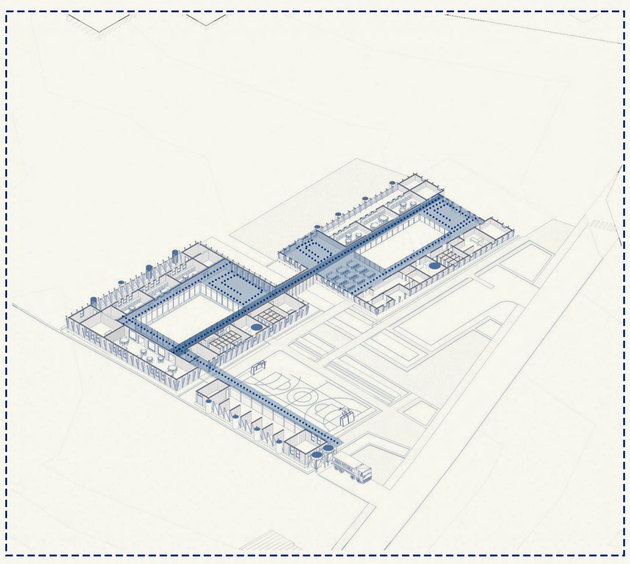
A partir de los tres volúmenes, se generan tres patios definidos por los vacíos centrales de cada uno. Cada patio está diseñado para una actividad específica: el primero está destinado a juegos infantiles, el segundo a cultivos y el tercero a actividades comunitarias, ofreciendo espacios diferenciados que responden a las necesidades de los usuarios.

PROGRAMAS



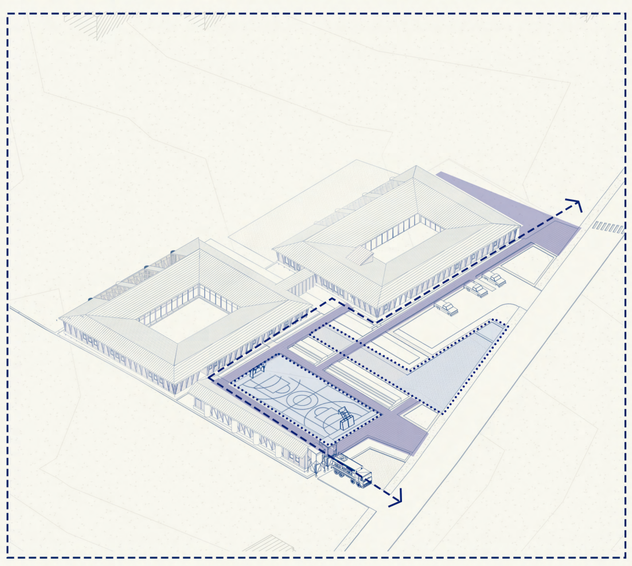
Los programas se organizan en torno a los patios de cada módulo y se orientan según su uso. Las aulas se ubican en el lado norte, los servicios en el lado sur, mientras que los espacios de uso parcial se sitúan en los lados este y oeste.

CIRCULACIÓN



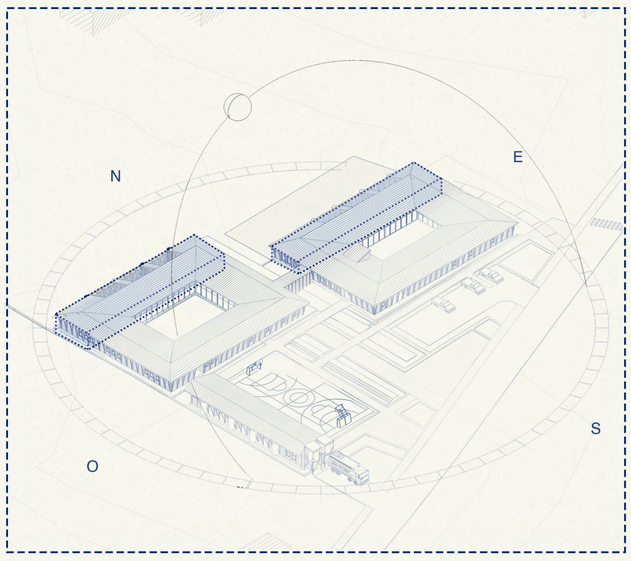
Las circulaciones se estructuran alrededor de un eje principal que conecta los patios exteriores e interiores. Además, las circulaciones secundarias rodean los patios, facilitando el acceso y la conexión entre los diferentes espacios.

ESPACIO PUBLICO



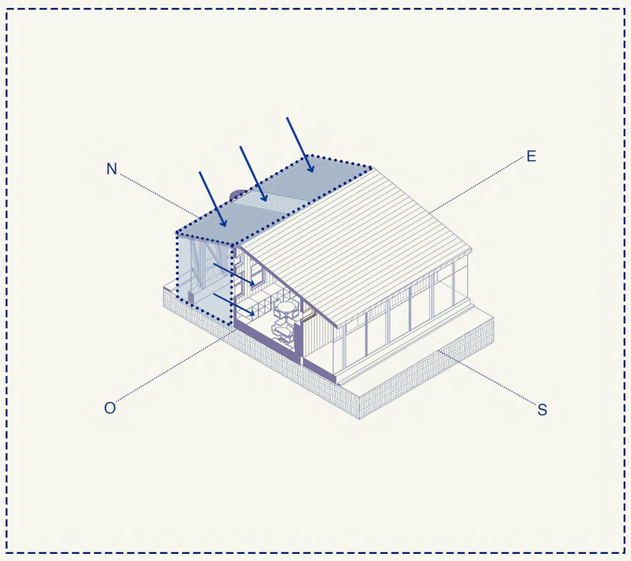
El espacio público se plantea en la parte frontal del proyecto, integrando programas comunitarios como una cancha, una feria, una sede para la junta de vecinos y un parque. Esta propuesta busca no solo potenciar la actividad de la escuela, sino también revitalizar la vida comunitaria en el entorno rural.

ORIENTACÍON



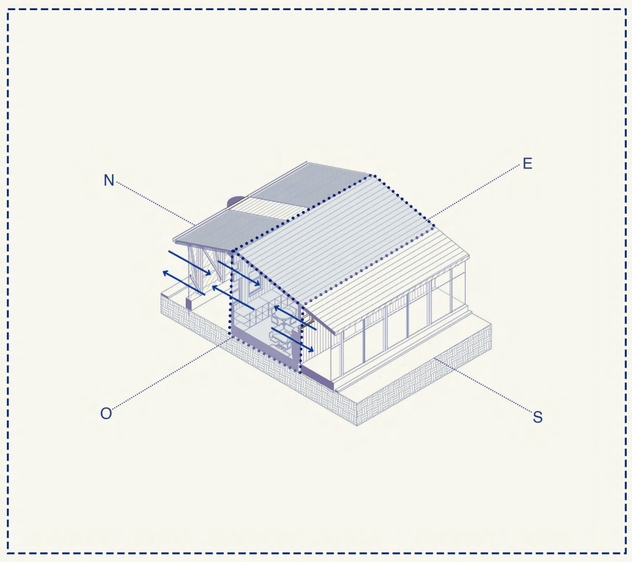
Las aulas de clases se ubican en los volúmenes del lado norte, orientados para aprovechar al máximo la luz y el calor del sol en invierno. Esto ayuda a reducir la necesidad de calefacción y asegura mayor luminosidad. Además, se incluye un invernadero en la fachada para enfrentar las bajas temperaturas del invierno.

AMORTIGUADOR TERMICO



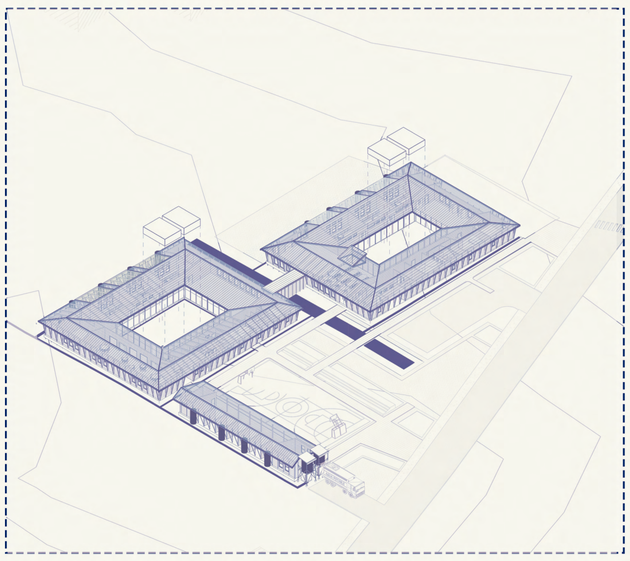
En el lado norte del proyecto se integra un invernadero que actúa como amortiguador térmico, captando y acumulando radiación solar para distribuirlo hacia las salas de clases. Esta estrategia pasiva contribuye a mejorar el confort térmico durante el invierno, reduciendo la dependencia de sistemas de calefacción tradicionales

VENTILACIÓN CRUZADA



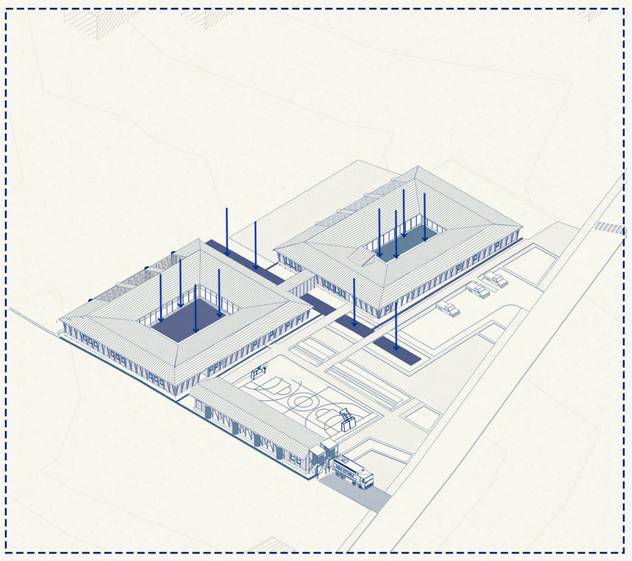
Se prioriza la ventilación natural cruzada en los espacios de la escuela, especialmente en las salas de clases, para favorecer la renovación constante del aire y mejorar las condiciones de confort.

TECHUMBRE



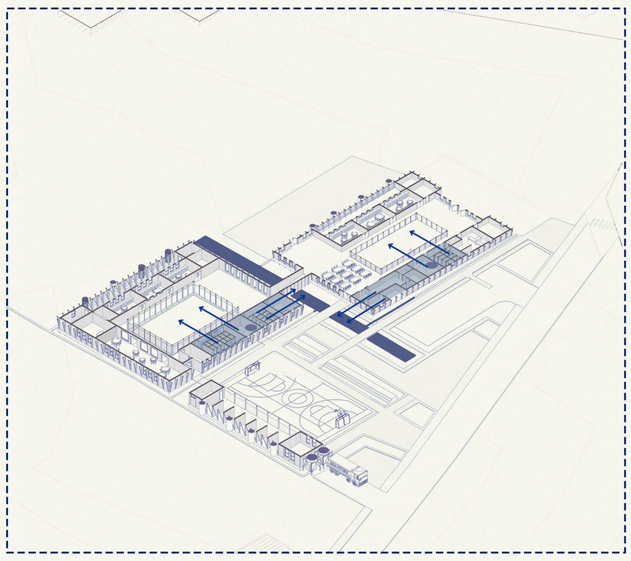
Se propone una techumbre a dos aguas con un diseño inspirado en el impluvium, orientada estratégicamente para captar y canalizar la mayor cantidad posible de agua de lluvia.

CAPTACIÓN DE AGUA



A partir del diseño de la techumbre se conforman patios recolectores de aguas lluvias, los cuales son el eje central alrededor del cual se organizan los programas de la escuela. Estos patios se complementan con un humedal construido, encargado de purificar las aguas grises.

PROGRAMAS Y EL AGUA



Los programas de servicios que utilizan agua se ubican estratégicamente cerca de los colectores y del humedal construido, destinado a la purificación de las aguas grises. Esta disposición optimiza la eficiencia del sistema hídrico y minimiza las pérdidas en la distribución del agua.

L5

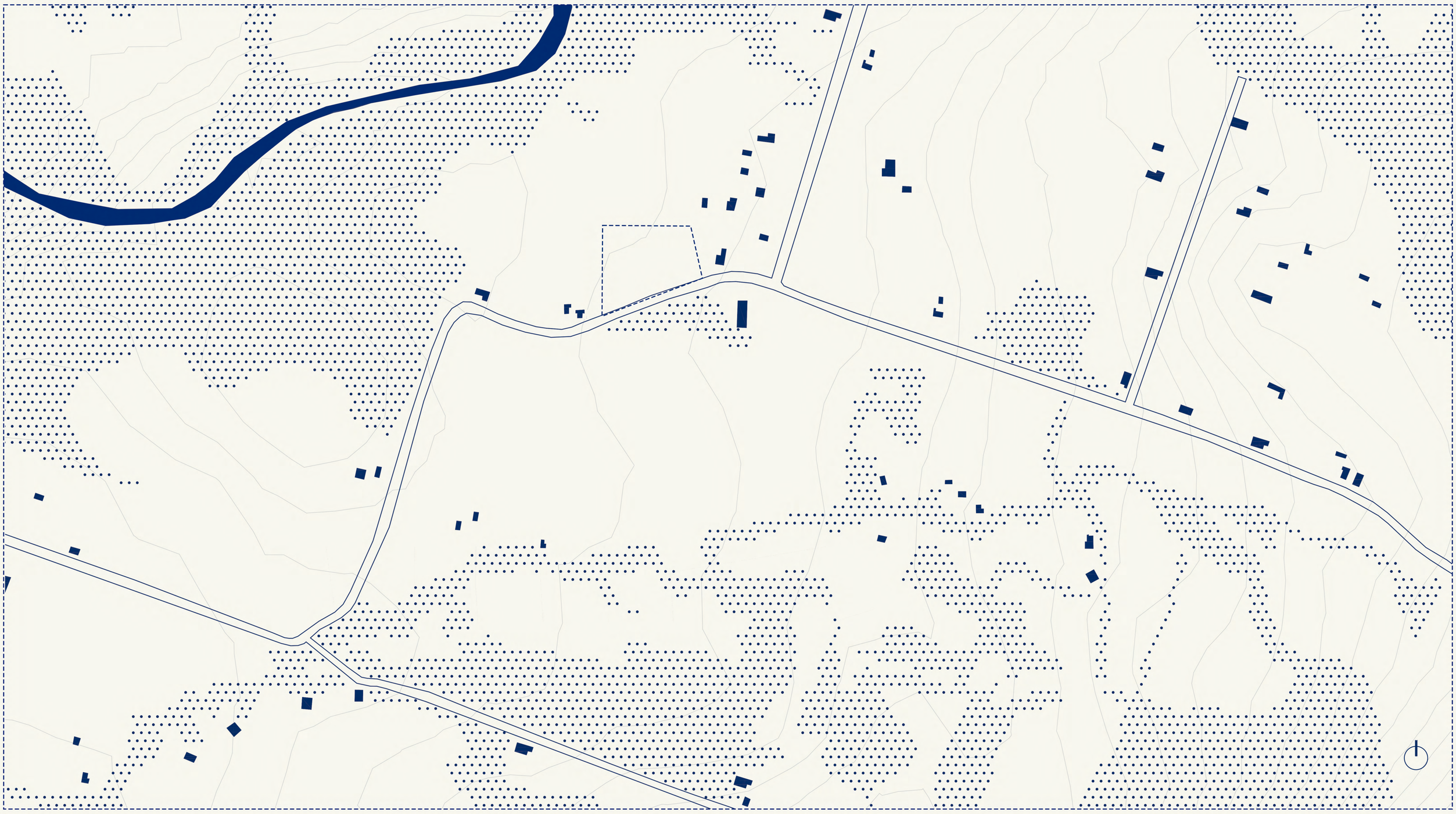
NOMBRE: CATALINA LUZ GÓNZALEZ AZÚA
PROFESOR GUIA: DIEGO PALMA

TEMA: *MÁS ALLÁ DE LAS AULAS:* "LA ESCUELA COMO UNA SOLUCIÓN A LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA RURALIDAD MEDIANTE EL DISEÑO Y LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CURACAUTÍN, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA"
MENCÍON: DISEÑO Y CONSTRUCCÍON SUSTENTABLE

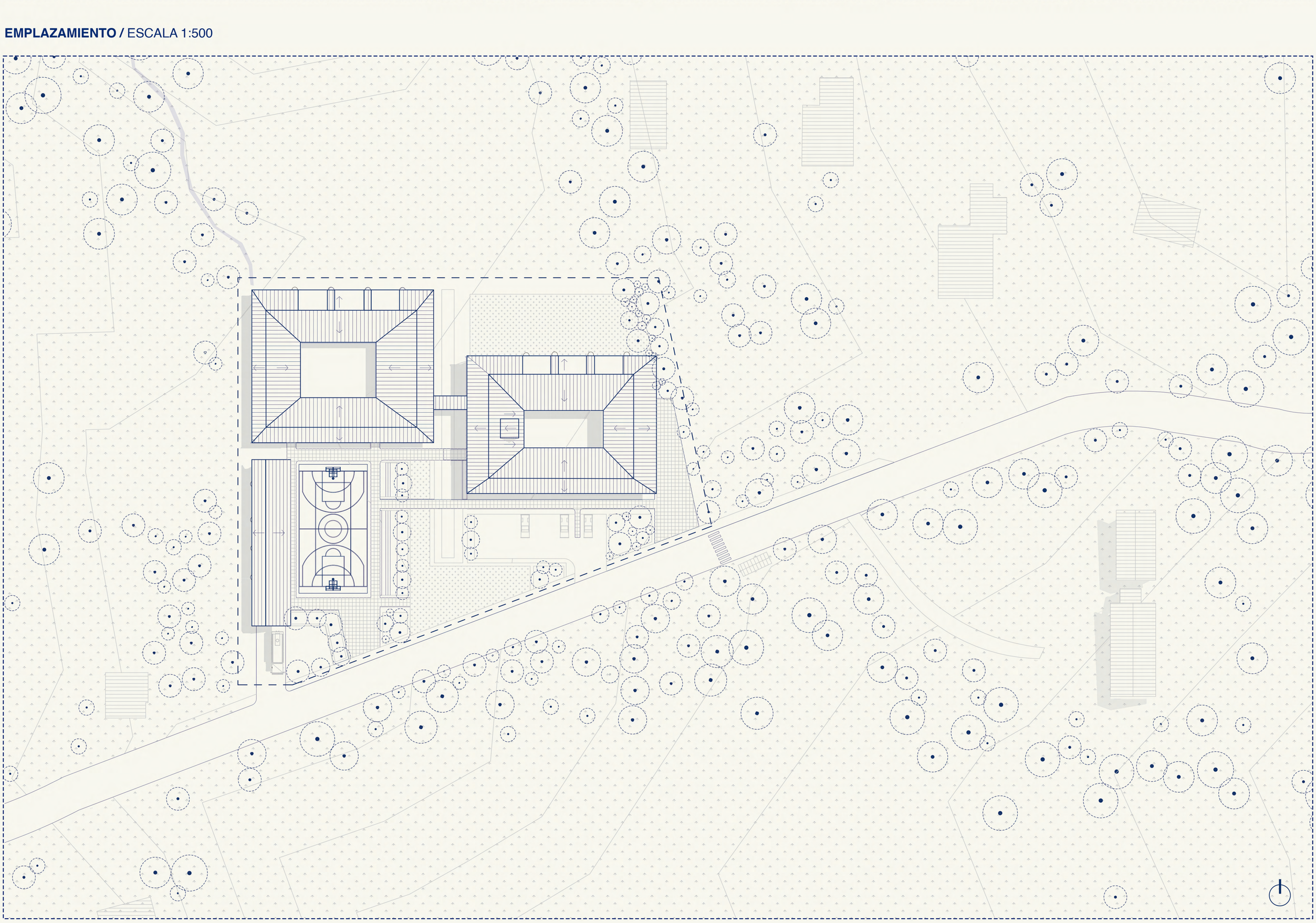
arq m

UBICACIÓN Y EMPLAZAMIENTO, *Sector rural de Lefuco, Curacautín*

UBICACÍON / ESCALA 1:2000



EMPLAZAMIENTO / ESCALA 1:500



L6

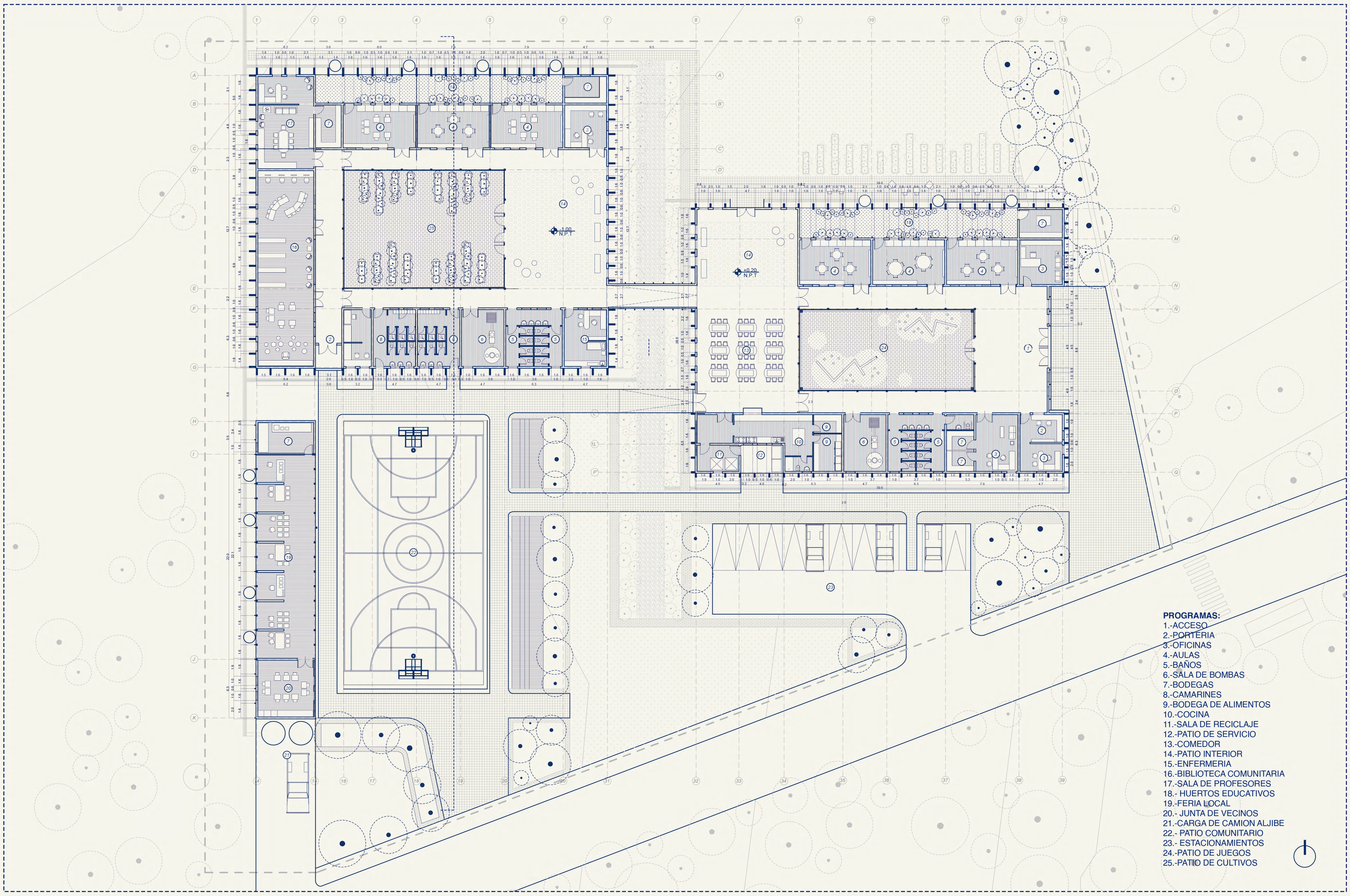
NOMBRE: CATALINA LUZ GÓNZALEZ AZÚA
PROFESOR GUIA: DIEGO PALMA

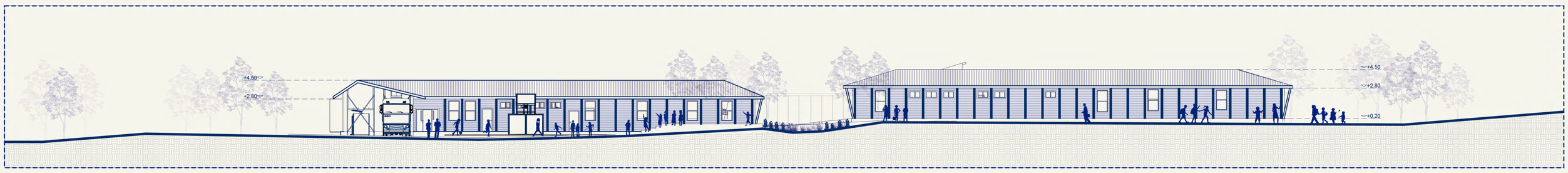
TEMA: *MÁS ALLÁ DE LAS AULAS:* "LA ESCUELA COMO UNA SOLUCIÓN A LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA RURALIDAD MEDIANTE EL DISEÑO Y LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CURACAUTÍN, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA"
MENCÍON: DISEÑO Y CONSTRUCCÍON SUSTENTABLE

marq

PLANTA Y ELEVACIONES, *Catalizador rural*

PLANTA / ESCALA 1:250





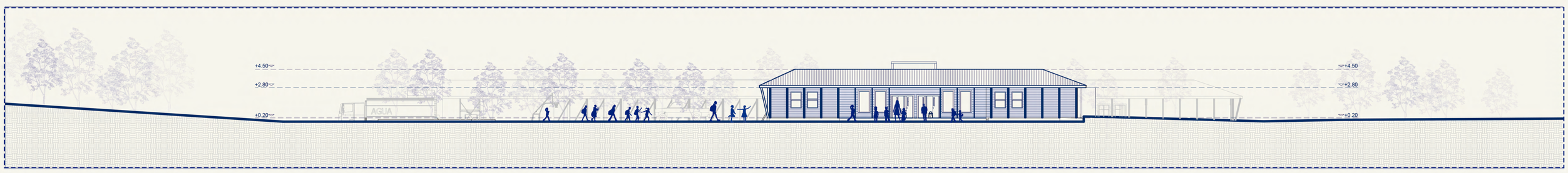
ELEVACIÓN SUR / ESCALA 1:250



ELEVACIÓN NORTE / ESCALA 1:250



ELEVACIÓN OESTE / ESCALA 1:250



ELEVACIÓN ESTE / ESCALA 1:250

L7

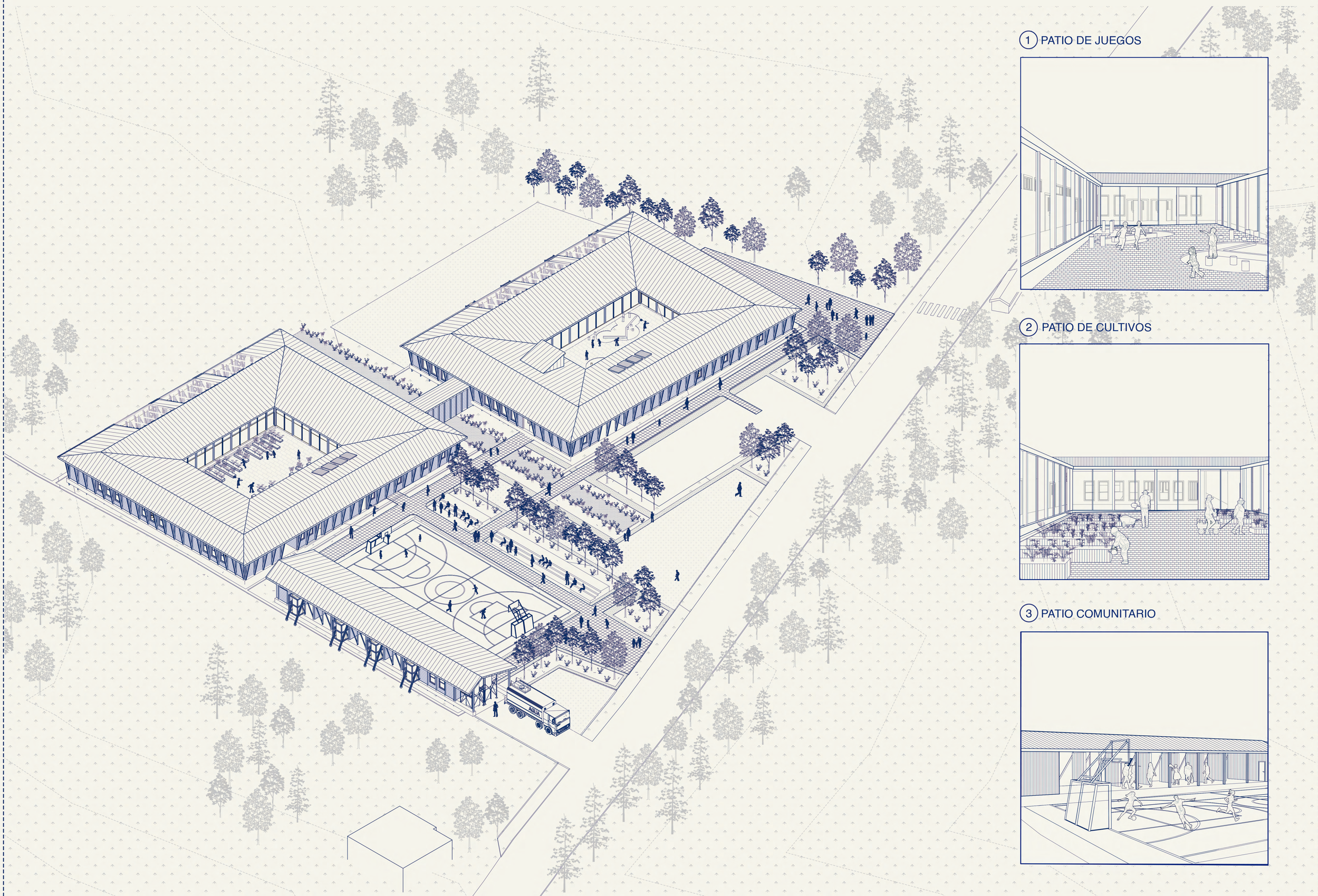
NOMBRE: CATALINA LUZ GÓNZALEZ AZÚA
PROFESOR GUIA: DIEGO PALMA

TEMA: *MÁS ALLÁ DE LAS AULAS:* "LA ESCUELA COMO UNA SOLUCIÓN A LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA RURALIDAD MEDIANTE EL DISEÑO Y LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CURACAUTÍN, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA"
MENCÍON: DISEÑO Y CONSTRUCCÍON SUSTENTABLE

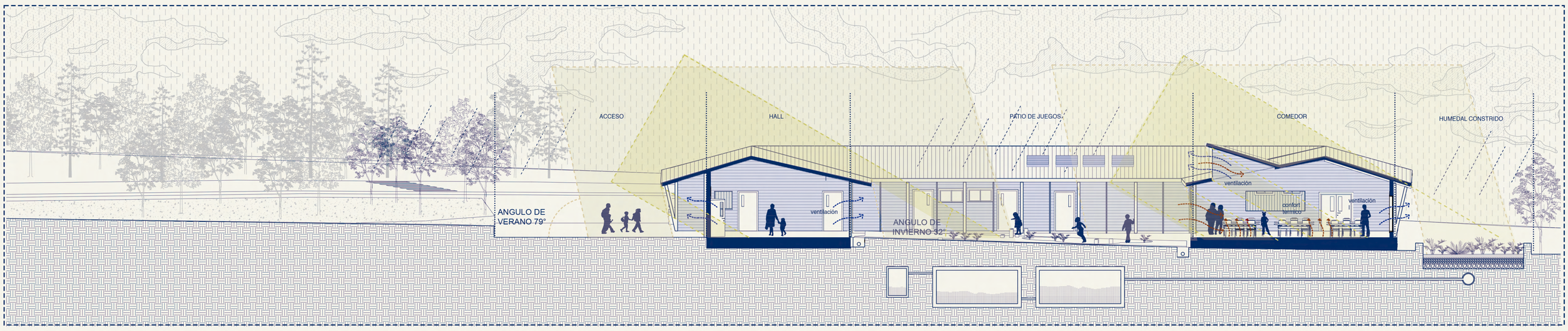
arq m

ISOMETRICA-CORTES BIOCLIMATICOS, *Catalizador rural*

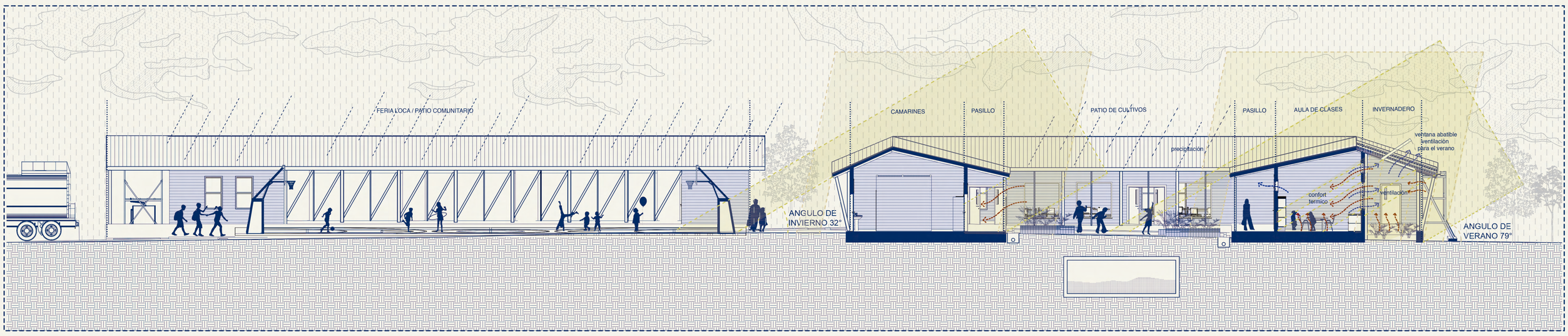
ISOMETRICA



CORTE BIOCLIMATICO A-A' / ESCALA 1:500



CORTE BIOCLIMATICO B-B' / ESCALA 1:500



L8

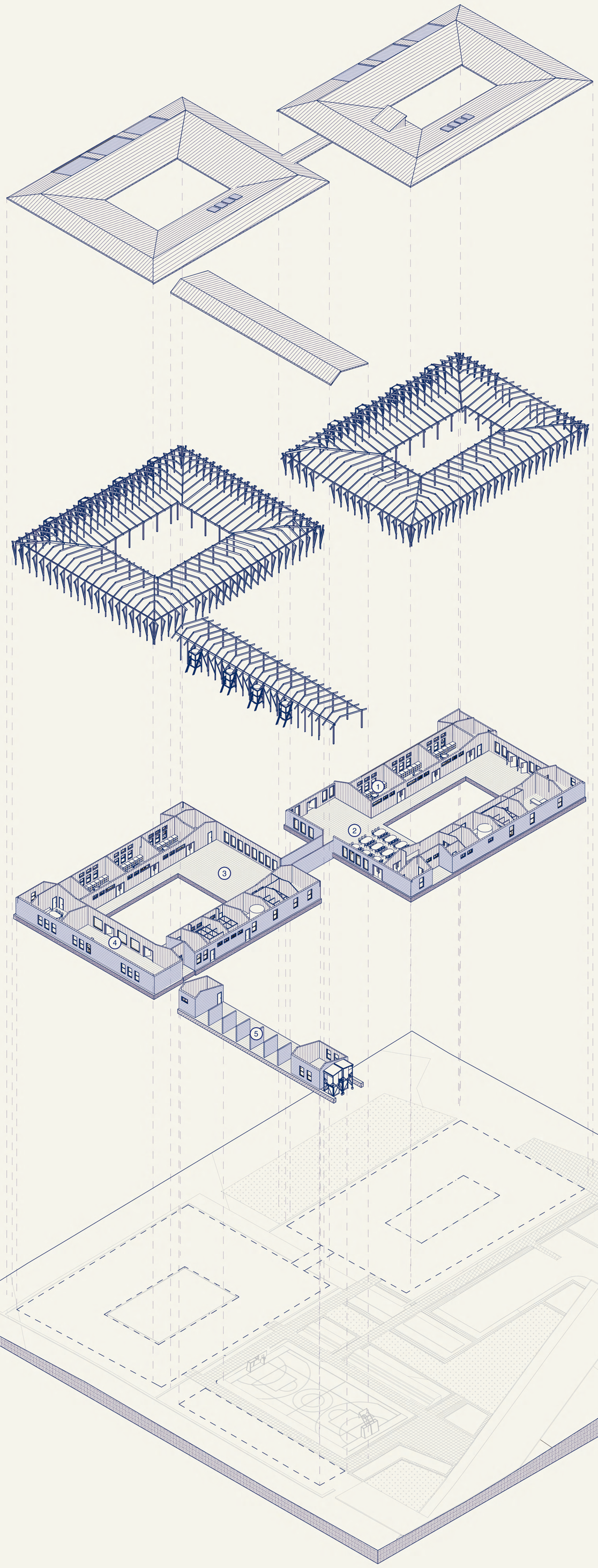
NOMBRE: CATALINA LUZ GÓNZALEZ AZÚA
PROFESOR GUIA: DIEGO PALMA

TEMA: *MÁS ALLÁ DE LAS AULAS:* "LA ESCUELA COMO UNA SOLUCIÓN A LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA RURALIDAD MEDIANTE EL DISEÑO Y LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CURACAUTÍN, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA"
MENCÍON: DISEÑO Y CONSTRUCCÍON SUSTENTABLE

arq m

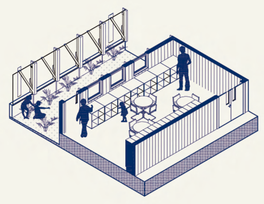
ISOMETRICA EXPLOTADA Y ESPACIOS, *Catalizador rural*

ISOMETRICA EXPLOTADA

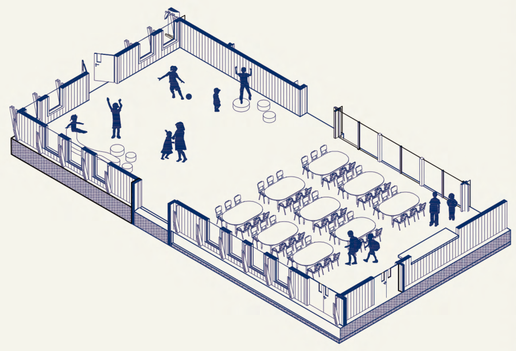


ESPACIOS INTERIORES

1 AULA Y INVERNADERO



2 COMEDOR Y MEDIOPATIO INTERIOR



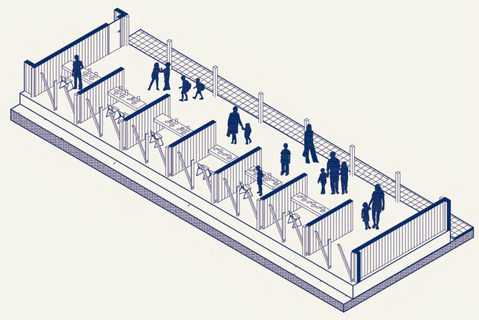
3 PATIO INTERIOR



4 BIBLIOTECA COMUNITARIA



5 FERIA LOCAL



L9

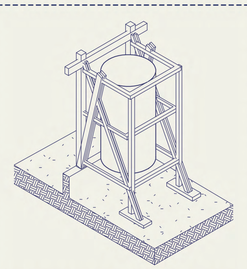
NOMBRE: CATALINA LUZ GÓNZALEZ AZÚA
PROFESOR GUIA: DIEGO PALMA

TEMA: *MÁS ALLÁ DE LAS AULAS:* "LA ESCUELA COMO UNA SOLUCIÓN A LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA RURALIDAD MEDIANTE EL DISEÑO Y LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CURACAUTÍN, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA"
MENCÍON: DISEÑO Y CONSTRUCCÍON SUSTENTABLE

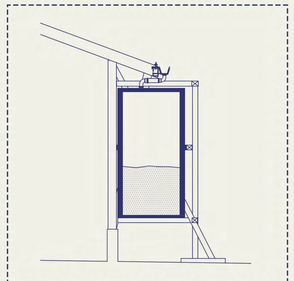
arq m

CORTE CONSTRUCTIVO Y DETALLES: *catalizador rural*

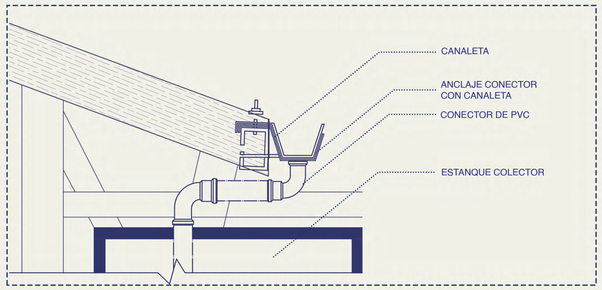
ARTEFACTO DE CAPTACIÓN DE AGUA



VOLÚMEN

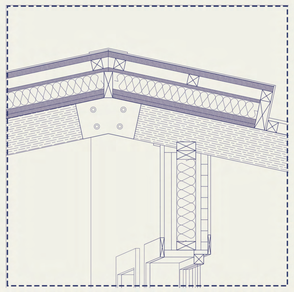


CORTE CAPTACIÓN

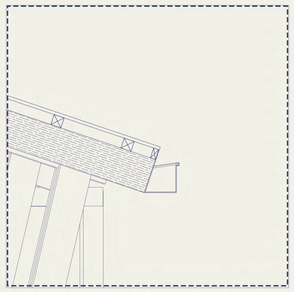


DETALLE/ ESTANQUE TECHUMBRE

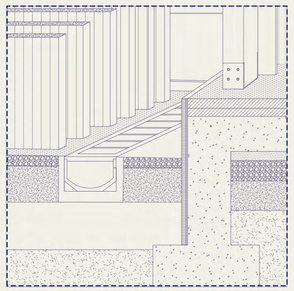
DETALLES CONSTRUCTIVOS 1:10



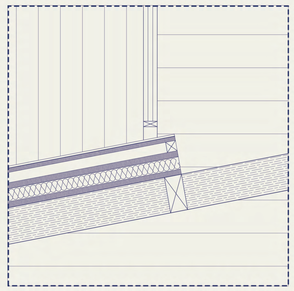
DETALLE A



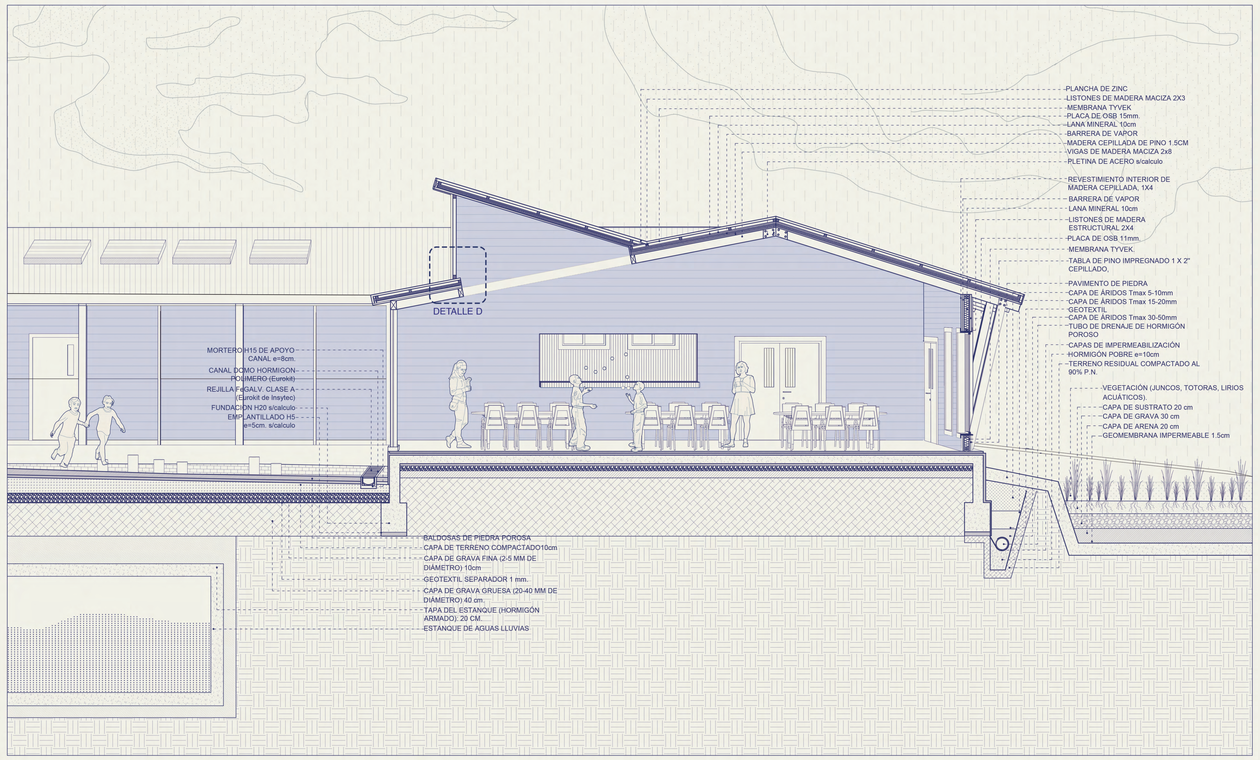
DETALLE B

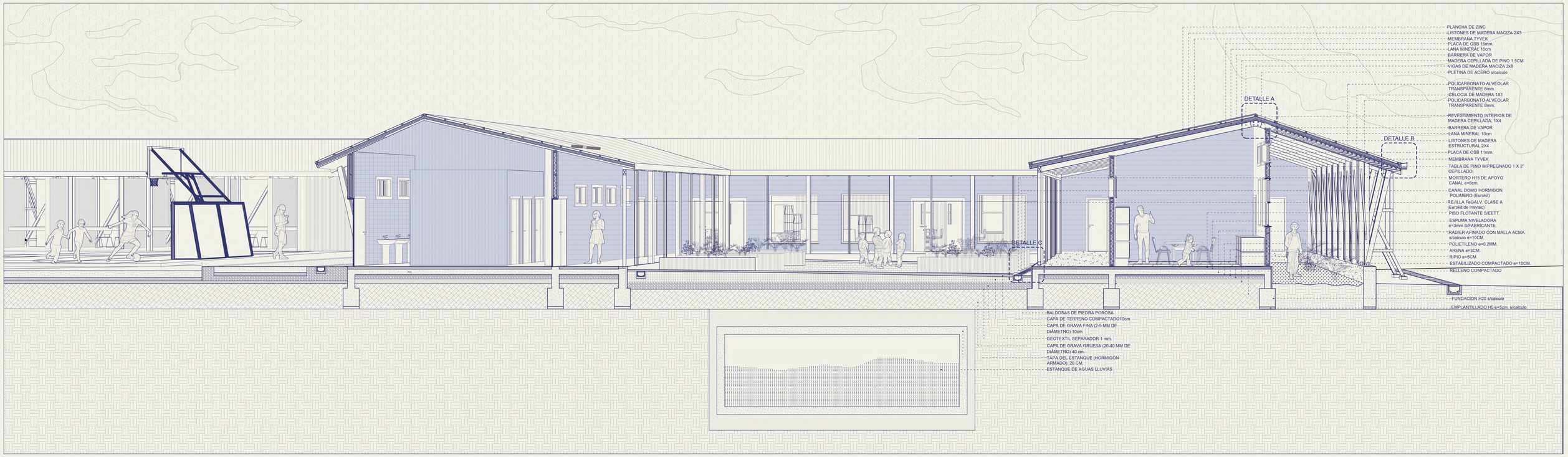


DETALLE C



DETALLE D





L10

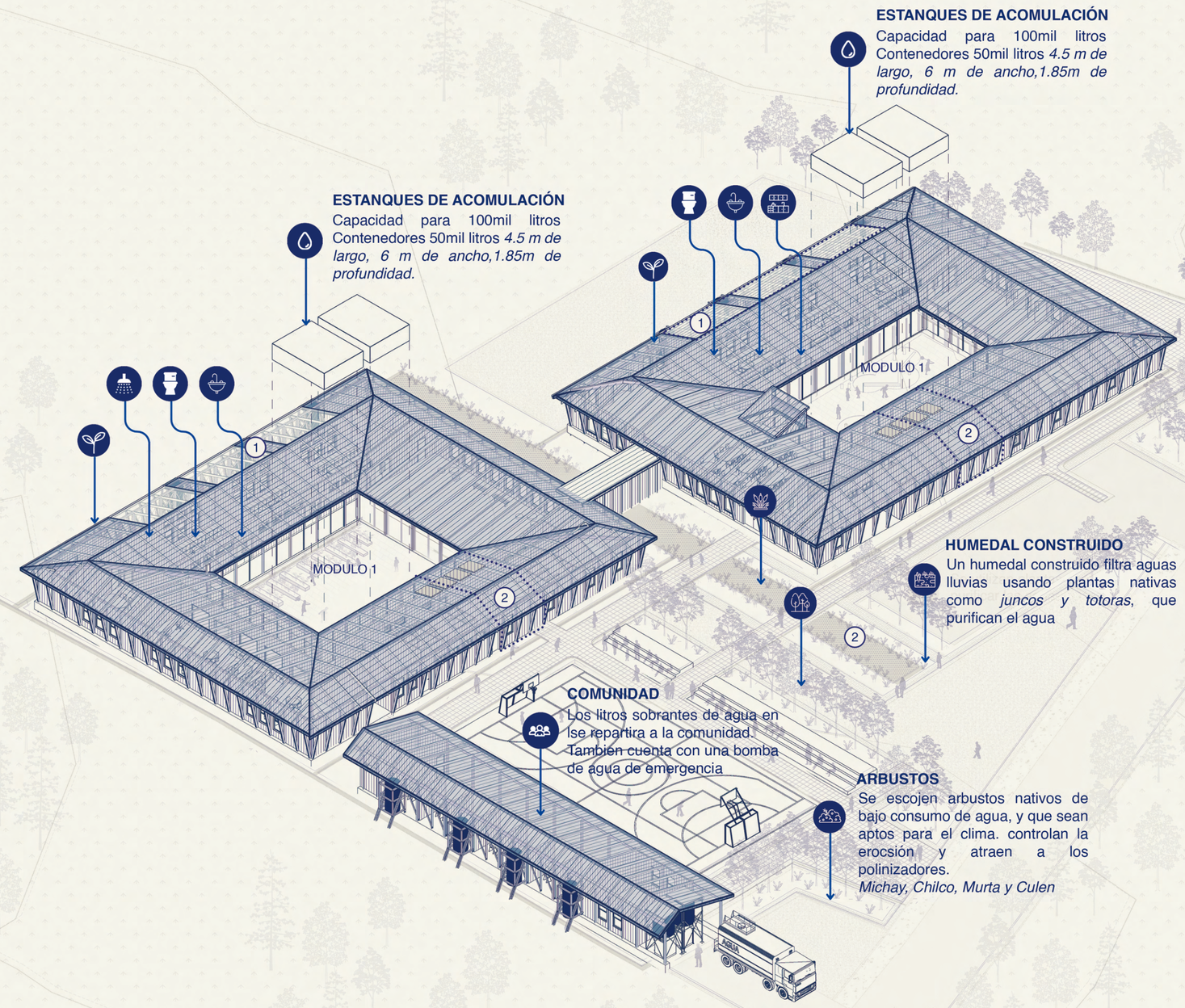
NOMBRE: CATALINA LUZ GÓNZALEZ AZÚA
PROFESOR GUIA: DIEGO PALMA

TEMA: *MÁS ALLÁ DE LAS AULAS:* "LA ESCUELA COMO UNA SOLUCIÓN A LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA RURALIDAD MEDIANTE EL DISEÑO Y LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CURACAUTÍN, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA"
MENCÍON: DISEÑO Y CONSTRUCCÍON SUSTENTABLE

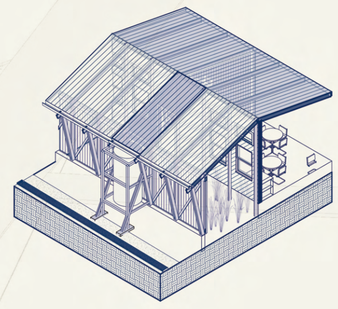
arq m

GESTION DE AGUAS LLUVIAS Y HUMEDAL CONSTRUIDO

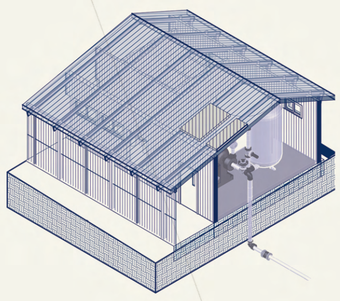
ISOMETRICA



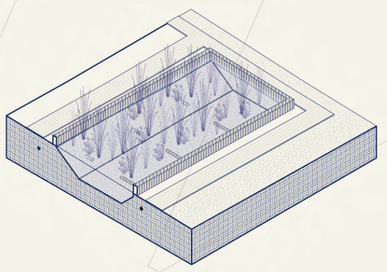
1 INVERNADERO Y ESTANQUE DE AGUA



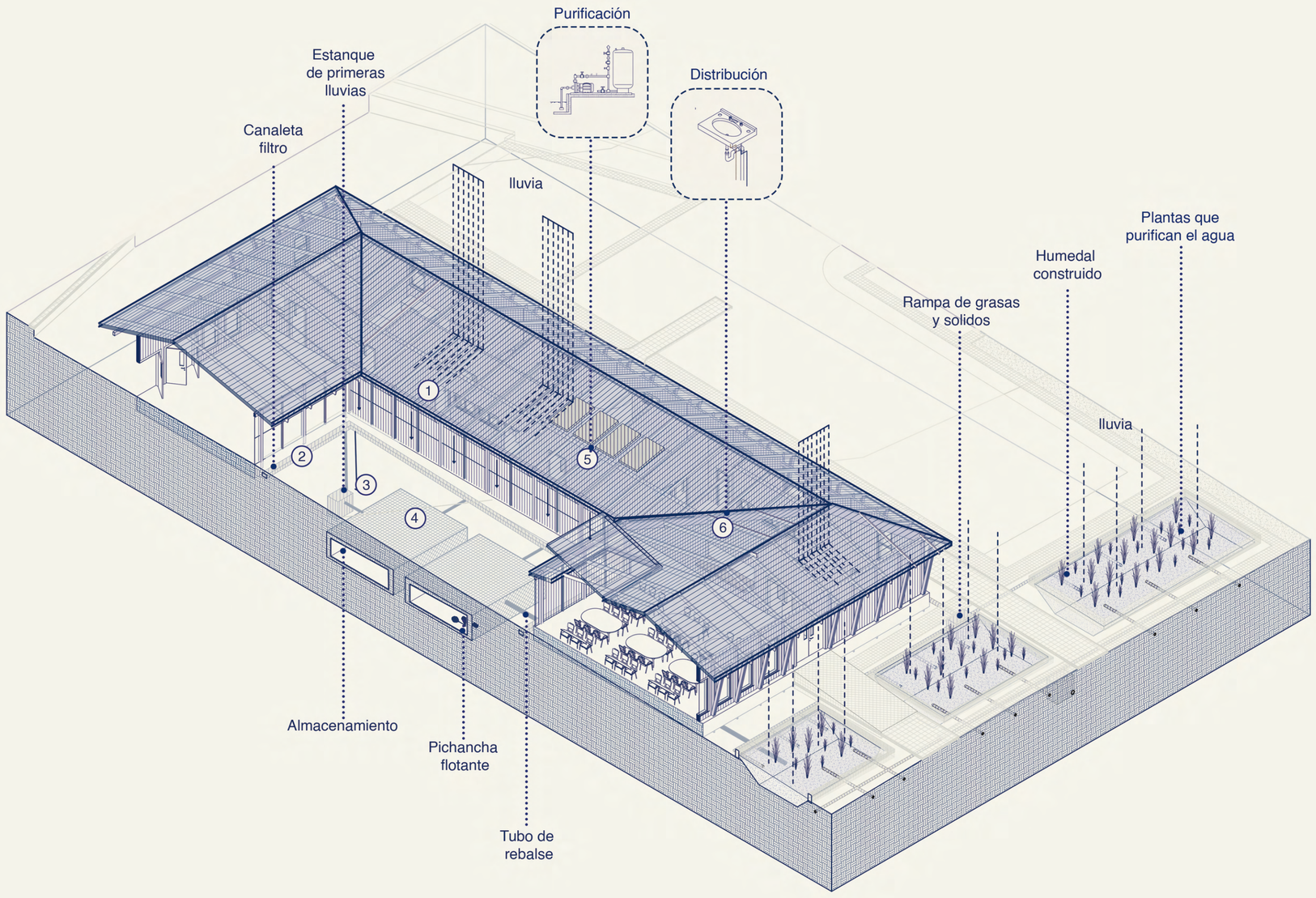
2 SALA DE BOMBAS



3 HUMEDAL CONSTRUIDO



ISOMETRICA PROCESO DEL AGUA



GESTIÓN DE AGUAS LLUVIAS: DESDE LA CAPTACIÓN HASTA LA DISTRIBUCIÓN

1 CAPTACIÓN

El agua lluvia se recoge en superficies impermeables, como techos o cubiertas inclinadas, que conducen el agua hacia los sistemas de almacenamiento, evitando contaminantes y facilitando su recolección eficiente.

2 RECOLECCÍON

El agua captada es conducida por canaletas, hacia el tanque de almacenamiento. Estas se instalan con inclinación para garantizar el flujo continuo y se mantienen limpias para evitar obstrucciones.

3 INTERCEPTOR

El interceptor o separador de primeras lluvias desvía el agua inicial que arrastra impurezas, evitando que llegue al tanque de almacenamiento. Se complementa con filtros en las canaletas o tuberías para retener residuos y debe mantenerse limpio para asegurar su funcionalidad.

4 ALMACENAMIENTO

El agua se almacena en un estanque subterráneo de hormigón, protegido de contaminantes externos. La pichancha flotante permite extraer agua desde la superficie, evitando residuos del fondo y garantizando su calidad.

5 PURIFICACIÓN

El proceso de purificación del agua elimina las impurezas para garantizar su calidad. La cloración, un método económico y efectivo, desinfecta el agua eliminando bacterias, virus y protozoos mediante la adición de cloro, ideal para zonas rurales por su fácil implementación.

6 DISTRIBUCIÓN

El agua del estanque subterráneo se extrae con una bomba conectada a una pichancha flotante, evitando sedimentos. Desde la sala de bombas en el nivel 1, se distribuye por tuberías hacia baños, riego y limpieza, asegurando un flujo constante y eficiente.

L11

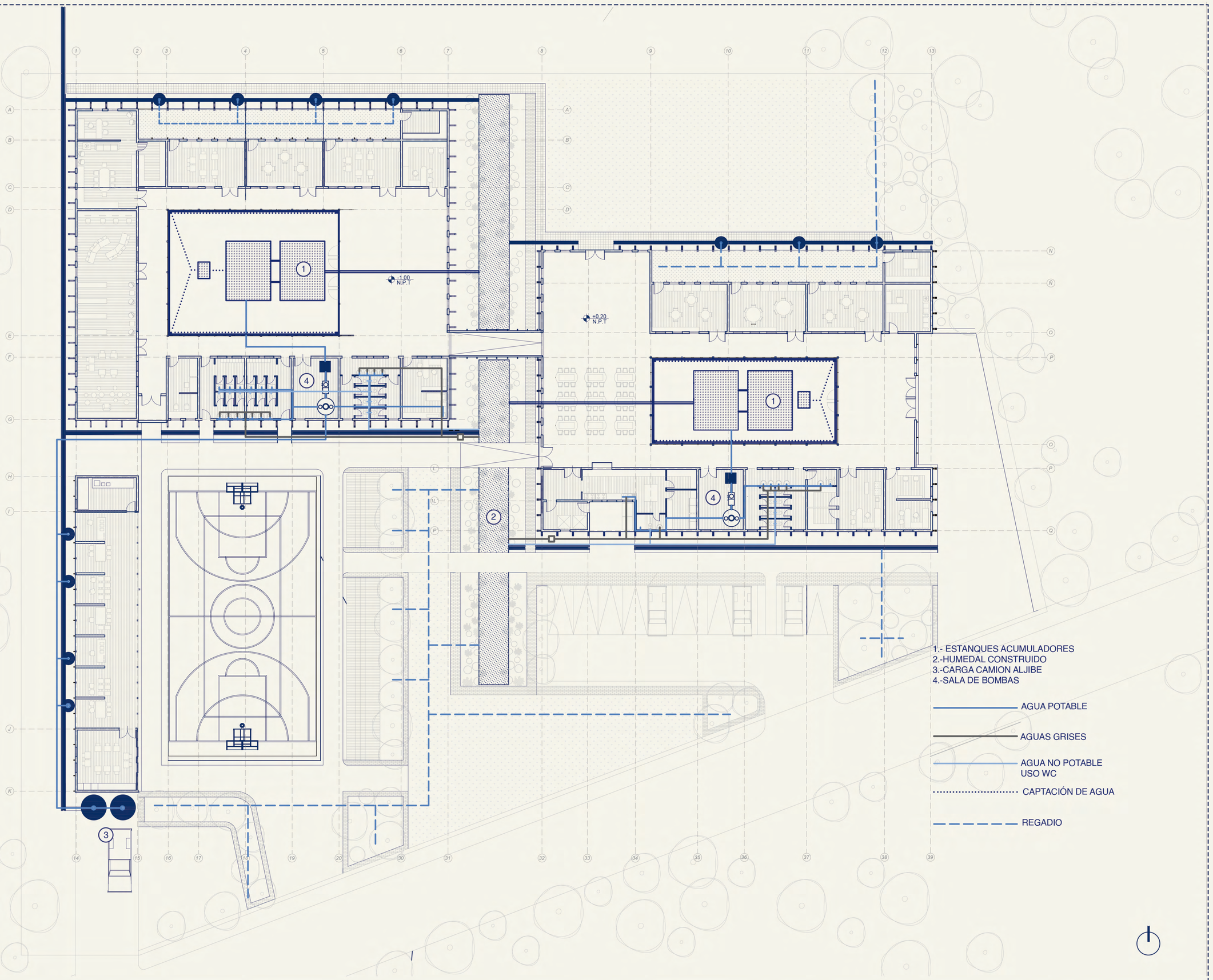
NOMBRE: CATALINA LUZ GÓNZALEZ AZÚA
PROFESOR GUIA: DIEGO PALMA

TEMA: *MÁS ALLÁ DE LAS AULAS:* "LA ESCUELA COMO UNA SOLUCIÓN A LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA RURALIDAD MEDIANTE EL DISEÑO Y LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CURACAUTÍN, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA"
MENCÍON: DISEÑO Y CONSTRUCCÍON SUSTENTABLE

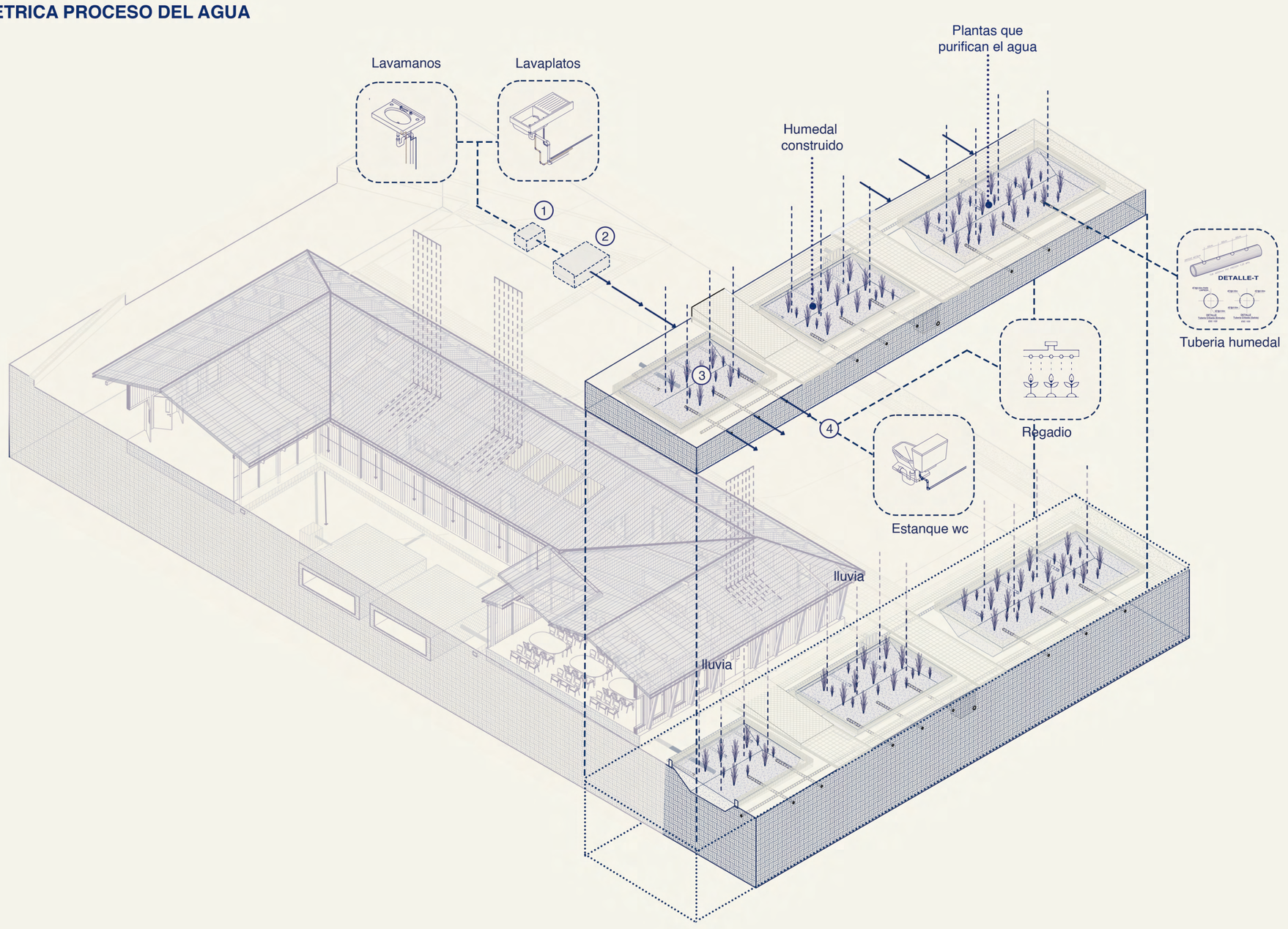
arq m

GESTION DE AGUAS LLUVIAS Y HUMEDAL CONSTRUIDO

PLANTA SISTEMAS DE CAPTACION DE AGUAS LLUVIAS / 1:250



ISOMETRICA PROCESO DEL AGUA



GESTIÓN DE AGUAS GRISES: DESDE LA RECOLECCIÓN HASTA LA DISTRIBUCIÓN

1 RECOLECCIÓN Y PRETRATAMIENTO

Las aguas grises, provenientes de lavamanos y lavaplatos, se canalizan por tuberías independientes de las aguas negras. Pasan por un pretratamiento mecánico (rejillas o trampas) para remover sólidos y grasas, evitando obstrucciones.

2 ALMACENAMIENTO TEMPORAL

El agua gris cruda se homogeniza en un estanque inicial para un flujo uniforme hacia el humedal. Una vez tratada, se almacena en un segundo estanque por un periodo corto antes de su reutilización.

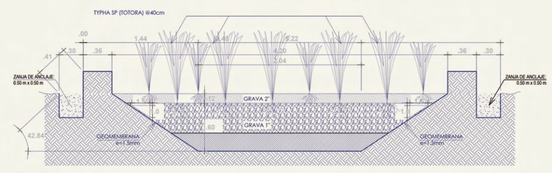
3 FILTRACIÓN EN EL HUMEDAL

El agua fluye por capas de grava y arena, donde se utilizan plantas nativas como juncos y totoras. Estas plantas, junto con microorganismos, eliminan materia orgánica, grasas y nutrientes como nitratos y fosfatos, purificando el agua de manera natural.

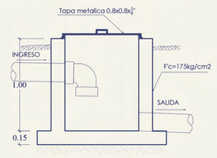
4 SALIDA Y REUTILIZACIÓN

El agua tratada que sale del humedal construido es purificada y adecuada para usos no potables, como el riego de áreas verdes, huertos o la descarga de inodoros. Este sistema permite ahorrar agua potable, reduce la demanda sobre fuentes hídricas y promueve una gestión más sostenible del recurso, maximizando el uso eficiente del agua tratada.

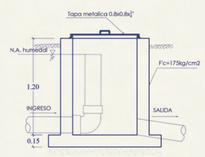
-Detalle humedal



-Entrada al humedal / *tuberia*



-Salida del humedal / tuberia



L12

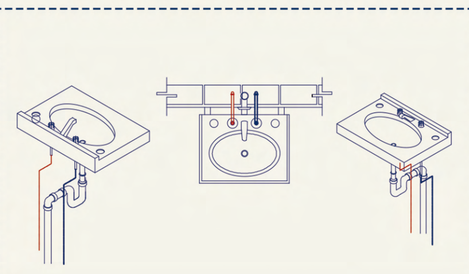
NOMBRE: CATALINA LUZ GÓNZALEZ AZÚA
PROFESOR GUIA: DIEGO PALMA

TEMA: *MÁS ALLÁ DE LAS AULAS:* "LA ESCUELA COMO UNA SOLUCIÓN A LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA RURALIDAD MEDIANTE EL DISEÑO Y LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CURACAUTÍN, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA"
MENCÍON: DISEÑO Y CONSTRUCCÍON SUSTENTABLE

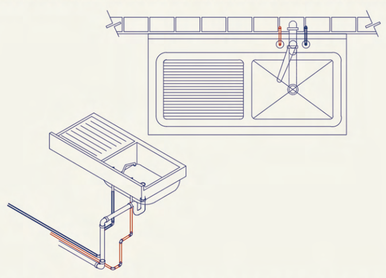
arq m

DEMANDAS Y ESTIMACIÓN DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS

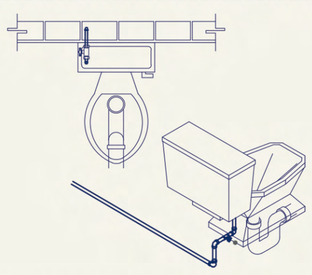
ARTEFACTOS SANITARIOS



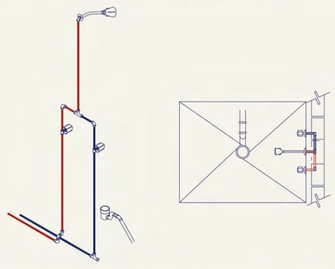
LAVAMANOS
El uso de agua en los lavamanos, con 252 litros/día por módulo, es significativo. La cual se aprovecha esta agua como agua gris para riego o descargas podría reducir la demanda total.



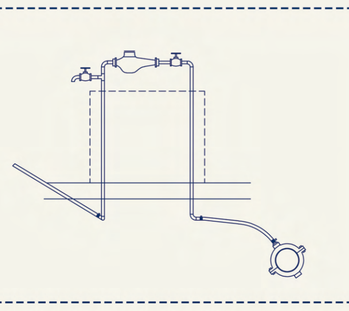
LAVAPLATOS
El lavaplatos consume 300 litros/día y, además, suministra los 210 litros diarios requeridos para beber y cocinar. Su agua, al ser considerada agua gris, se aprovecha para riego o descargas.



INODORO WC
El WC utiliza 315 litros/día y, en este caso, no se emplea agua potable, sino agua gris proveniente de otras actividades, como lavamanos y lavaplatos.



DUCHA
Las duchas consumen 750 litros/día, con uso esporádico y puntual. Su agua no se reutiliza como agua gris, lo que exige un uso eficiente para minimizar el impacto.



REGADIO
El agua no potable de la escuela rural se reutiliza para el riego de los huertos y las áreas verdes, que están diseñadas con vegetación nativa y de bajo consumo hídrico.

DEMANDAS MODULO 1

CATEGORÍA	USUARIOS (a)	NÚMERO DE USOS (b)	CONSUMO (c) [LITROS]	SUB-TOTAL LITROS/DÍA	SUB-TOTAL LITROS/MES	TOTAL AÑO LITROS/AÑO
WC INODOROS	35	3 cantidad	3	315	9,450	114,975
LAVAMANOS	35	0.3 seg	8	252	7,560	91,980
LAVAPLATOS	1	3 min	10	300	9,000	109,500
BEBER-COCINAR	70	-	3	210	6,300	76,650
TOTAL				1,077	32,310	393,105

SOLO DEMANDA DE AGUA POTABLE	**22.860 LITROS**

AGUAS GRISES	LITROS
LAVAMANOS	7,560
LAVAPLATOS	9.000
TOTAL AGUAS GRISES MENSUAL	16.560

USO WC AGUAS GRISES	LITROS
SUB-TOTAL MENSUAL	9,450

DEMANDAS MODULO 2

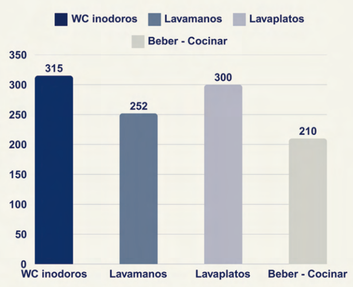
CATEGORÍA	USUARIOS (A)	NÚMERO DE USOS (B)	CONSUMO (C) [LITROS]	SUB-TOTAL LITROS/DÍA (E = A * B * C)	SUB-TOTAL LITROS/MES (E * 30)	TOTAL AÑO LITROS/AÑO (E * 365)
WC INODOROS	35	3 cantidad	3	315	9,450	114,975
DUCHAS	10	10min	0.5	750	22,500	273,750
LAVAMANOS	35	0.3 seg	8	252	7,560	91,980
TOTALES				1,317	39,510	480,705

SOLO DEMANDA DE AGUA POTABLE	**30.060 LITROS**

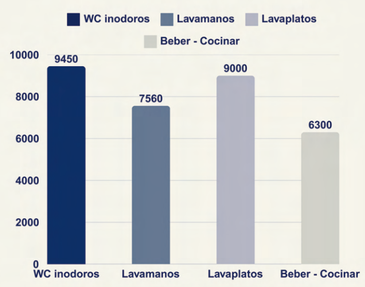
AGUAS GRISES	LITROS
LAVAMANOS	7,560
DUCHAS	22,500
TOTAL AGUAS GRISES MENSUAL	**30,060**

USO WC AGUAS GRISES	LITROS
Sub-total mensual	9,450

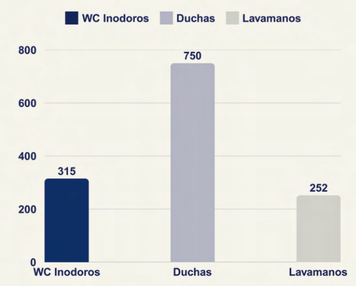
DEMANAS MODULO 1 **DIARIA**



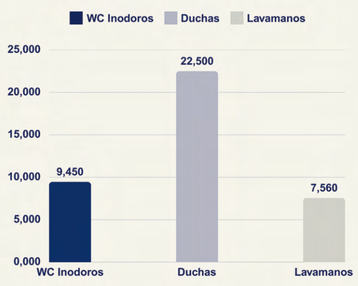
DEMANAS MODULO 1 **MENSUAL**



DEMANAS MODULO 2 **DIARIA**



DEMANAS MODULO 2 **DIARIA**



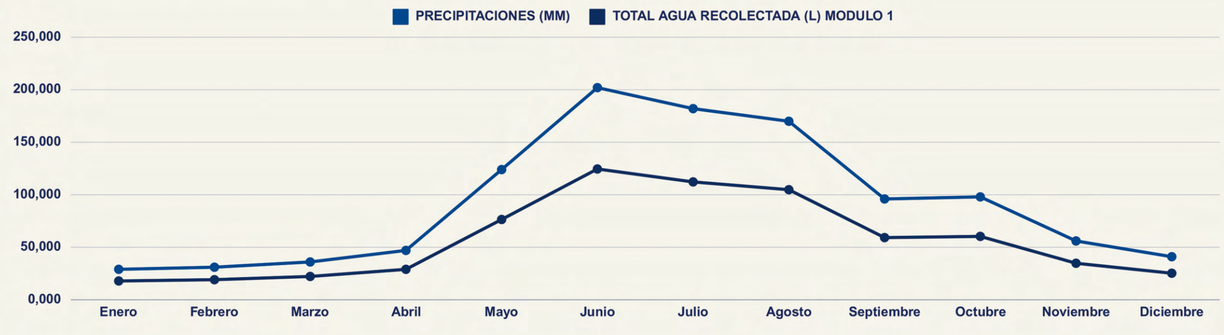
ESTIMACIÓN DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS / MODULO 1

MES	ÁREA DE RECOLECCIÓN (M²)	PRECIPITACIONES (MM)	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	FACTOR DE SEGURIDAD	TOTAL AGUA RECOLECTADA (LITROS)	SOBRANTE (LITROS)
ENERO	806	29	0.9	0.85	17,881	-4,979
FEBRERO	806	31	0.9	0.85	19,114	-3,746
MARZO	806	36	0.9	0.85	22,197	-663
ABRIL	806	47	0.9	0.85	28,980	6,120
MAYO	806	124	0.9	0.85	76,457	53,597
JUNIO	806	202	0.9	0.85	124,551	101,691
JULIO	806	182	0.9	0.85	112,219	89,359
AGOSTO	806	170	0.9	0.85	104,820	81,960
SEPTIEMBRE	806	96	0.9	0.85	59,193	36,333
OCTUBRE	806	98	0.9	0.85	60,342	37,482
NOVIEMBRE	806	56	0.9	0.85	34,759	11,899
DICIEMBRE	806	41	0.9	0.85	25,280	2,420
TOTAL		**1,071**			**685,793**	

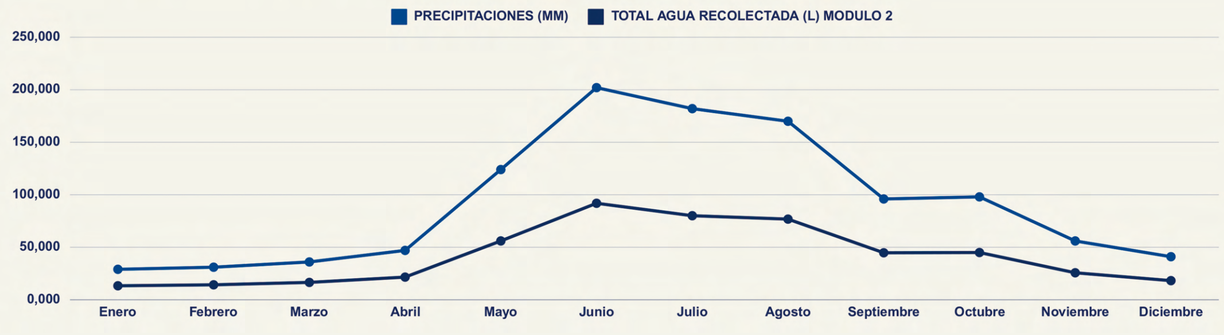
ESTIMACIÓN DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS / MODULO 2

MES	ÁREA DE RECOLECCIÓN (M²)	PRECIPITACIONES (MM)	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	FACTOR DE SEGURIDAD	TOTAL AGUA RECOLECTADA (L)	AGUA SOBRANTE (L)
ENERO	600	29	0.9	0.85	13,311	-17,289.00
FEBRERO	600	31	0.9	0.85	14,229	-16,371.00
MARZO	600	36	0.9	0.85	16,524	-14,076.00
ABRIL	600	47	0.9	0.85	21,573	-9,027.00
MAYO	600	124	0.9	0.85	56,016	25,416.00
Junio	600	202	0.9	0.85	91,890	61,290.00
JULIO	600	182	0.9	0.85	80,034	49,434.00
AGOSTO	600	170	0.9	0.85	76,803	46,203.00
SEPTIEMBRE	600	96	0.9	0.85	44,748	14,148.00
OCTUBRE	600	98	0.9	0.85	44,982	14,382.00
NOVIEMBRE	600	56	0.9	0.85	25,704	-4,896.00
DICIEMBRE	600	41	0.9	0.85	18,198	-12,402.00
TOTAL		**1,071**	-	-	**510,408**	

PRECIPITACIONES V/S AGUA RECOLECTADA



PRECIPITACIONES V/S AGUA RECOLECTADA



L13

NOMBRE: CATALINA LUZ GÓNZALEZ AZÚA
PROFESOR GUIA: DIEGO PALMA

TEMA: *MÁS ALLÁ DE LAS AULAS:* "LA ESCUELA COMO UNA SOLUCIÓN A LA ESCASEZ HÍDRICA EN LA RURALIDAD MEDIANTE EL DISEÑO Y LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CURACAUTÍN, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA"
MENCÍON: DISEÑO Y CONSTRUCCÍON SUSTENTABLE

arq m