



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

VIÑA DEL MAR – CHILE

**ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO
SANTA MARÍA, SEDE VIÑA DEL MAR**

Trabajo de titulación para optar al título de ingeniero en prevención de riesgos laborales y ambientales.

Alumno:

Rodrigo Carrillo Martínez

Profesor Guía:

Sr. Enrique Calderón Carmona

RESUMEN

Para evaluar la huella hídrica de la universidad, como antecedente, se utilizaron los datos del Reporte de Huella Hídrica realizado por la universidad el año 2022, en específico se utilizaron los datos correspondientes a la huella hídrica del año 2019. Se proponen 3 métodos de evaluación de huella hídrica, el método de Evaluación de Huella Hídrica de la Water Footprint Network, el método de la norma internacional ISO 14.046 y el Indicador de Impacto Hídrico de Montenegro, 2022. Se utiliza este último método para evaluar el impacto hídrico de la universidad, llegando a la conclusión de que actualmente se encuentra en una situación insustentable.

Se proponen 4 medidas para mejorar el uso del agua, reemplazar el pasto natural de la cancha por pasto sintético, implementar jardines secos, implementar sistemas de riego inteligente y realizar cambios al menú del casino reemplazando productos cárnicos por proteínas vegetales.

Se concluye que, de realizarse las medidas, el balance hídrico disminuiría en un 32%, y la huella hídrica indirecta en un 2.7% aproximadamente, y que hay que ver las medidas como una inversión a mediano y largo plazo, con efectos no solo económicos, sino también, efectos medioambientales y culturales.

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVOS.....	6
FUNDAMENTACIÓN.....	7
ALCANCE.....	7
1. ANTECEDENTES GENERALES SOBRE LA HUELLA HÍDRICA.....	9
1.1 Certificación Sede Sustentable.....	10
1.2 Huella hídrica de la UTFSM.....	21
1.3 Sostenibilidad de la UTFSM.....	27
2. MARCO TEÓRICO.....	39
2.1 Estado del arte.....	40
2.2 Método de análisis de la huella hídrica – Water Footprint Network.....	46
2.3 ISO 14.406: Gestión medioambiental – Huella de agua.....	58
2.4. Indicador de impacto hídrico.....	71
3. DIAGNÓSTICO DE LA HUELLA HÍDRICA.....	76
3.1 Alcance.....	77
3.2 Cálculo del Uso específico de agua de la universidad:.....	77
3.3 Cálculo de la disponibilidad menos demandada (AMD):.....	80
3.4 Determinación de puntos críticos:.....	81

4. PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO DE LA HUELLA HÍDRICA.....	84
4.1 Propuesta de mejora 1 – Reemplazo del pasto de la cancha de fútbol por pasto sintético	85
4.2 Propuesta de mejora 2 - Reemplazo de jardines verdes por jardines secos.....	90
4.3 Propuesta de mejora 3: Reemplazo de elementos cárnicos en las comidas del casino por proteínas alternativas	95
4.4 Propuesta de mejora 4 – Instalación de sistema de riego inteligente	101
4.5 Carta Gantt.....	106
4.6 Discusión	106
CONCLUSIÓN.....	108
REFERENCIAS	110
ANEXOS.....	117

INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico en Chile se ha visto afectado enormemente debido a los cambios climáticos y a la actividad humana y, aunque Chile se encuentre en el puesto 20 de agua disponible per cápita, cerca del 70% de las personas viven en regiones áridas y semiáridas, y 20 de 87 cuencas de agua se han visto alteradas por actividad humana provocando problemas de escasez en la zona norte y central de Chile (Barría et al. 2021). Además, debido a las bajas precipitaciones en el período de esta última década las fuentes de agua se ven directamente afectadas, especialmente la zona central de Chile (Álvarez et al. 2021), se anticipa que solo se podría lograr una recuperación parcial de las precipitaciones en el mejor de los casos en las décadas por venir (Garreaud et al. 2019), aunque otros estudios proyectan que para el año 2065 las precipitaciones disminuirán entre un 5% a un 20% (Matskovsky et al. 2021).

Las principales dimensiones del problema de escasez hídrica, además del cambio climático, tienen que ver la brecha de gestión del recurso hídrico, infraestructuras inadecuadas para enfrentar la escasez hídrica, disponibilidad y uso limitado de datos para la toma de decisiones, entre otros (Sistema de las Naciones Unidas, 2021). Es por esto que la necesidad de gestionar bien el uso del agua se vuelve muy importante para la sostenibilidad y encontrar nuevas soluciones que ofrezcan modalidades de consumo sostenible son de alto interés para las organizaciones, por lo que es fundamental identificar los “puntos críticos” donde las intervenciones tienen mayor potencial para mejorar los efectos ambientales y sociales de la organización (Naciones Unidas, s.f.).

La Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) tiene un compromiso profundo con capacitar y educar a sus estudiantes para desarrollar una comprensión de los desafíos de la

sostenibilidad. En total, entre 2018 y 2019 la casa de estudios se ha adjudicado 43 proyectos de investigación relacionados a energía y medio ambiente, además, la USM cuenta con carreras especializadas en el rubro ambiental como Ingeniería Ambiental, Ingeniería en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales, entre otros (Universidad Técnica Federico Santa María, s.f.). Como parte de este compromiso nace este trabajo, con la finalidad de aportar a la universidad y al medio ambiente mediante un análisis de la huella hídrica de la UTFSM sede Viña del Mar, y la elaboración de propuestas técnicas para la disminución de la huella hídrica de la universidad.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Analizar la huella hídrica de la Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Viña del Mar, para generar propuestas técnicas y tecnológicas de mejora que promuevan el uso eficiente del recurso agua.

Objetivos específicos:

- Determinar la metodología requerida para el análisis de la huella hídrica, considerando los procesos institucionales y el contexto de la organización.
- Aplicar un método de evaluación de la huella hídrica en la Sede Viña del Mar que permita determinar la sostenibilidad del uso del agua.
- Elaborar propuestas técnicas y tecnológicas que permitan reducir y mejorar el desempeño de la Sede Viña del Mar, respecto al uso del agua.
- Utilizar los datos obtenidos de consumo y mejora en el uso del agua, para incorporar al proyecto Sede Sustentable.

FUNDAMENTACIÓN

En la actualidad, la universidad se encuentra en una zona con escasez hídrica decretada Chile (Ministerio de Bienes Nacionales, 2022) y existen varios estudios (Garreaud, 2019; Matskovsky, 2021) que prevén un futuro seco en la zona central de Chile, e indican que las actividades humanas están dentro de los factores que han influido en la sequía de la zona (Barría, 2021), por lo tanto, podemos considerar las actividades realizadas en la universidad como una influencia en la sequía de la zona central. A raíz de esto, debido al compromiso de la universidad con la sustentabilidad (UTFSM, s.f.), se deben adoptar medidas para mitigar el impacto negativo que se puede estar teniendo sobre el recurso hídrico en la región y comenzar a actuar no solamente a nivel de docencia, sino que se deben realizar cambios con una visión a largo plazo, cambios que no se han visto aún en la universidad.

Se estima que, con la implementación de las medidas propuestas en este trabajo, se disminuyan el impacto negativo sobre el recurso hídrico al reducir el balance hídrico en un 32% aproximadamente, y disminuir la huella hídrica indirecta en un 2% aproximadamente. De ser así, se estaría dando un gran paso hacia una sede sustentable y, principalmente, se estaría ayudando a la comunidad a través del cuidado del medio ambiente.

ALCANCE

El siguiente análisis de huella hídrica se basará en los datos del estudio de huella hídrica realizado por la Universidad Técnica Federico Santa María el año 2022, considerando principalmente la huella hídrica de la universidad durante el año 2019 debido a la influencia que tuvo el contexto de pandemia durante el año 2020, ya que hubo una disminución en el consumo

hídrico en la universidad que no se considera representativo para las condiciones normales de la universidad. En la evaluación económica, para estimar el costo del agua se utilizará como valor referente la tarifa dispuesta por ESVAL el año 2024 (1.201,86 \$/m³), y los costos de proveedores serán estimados según cotizaciones realizadas por el autor. Las propuestas de mejores estarán dirigidas a la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña para el año 2025, en el contexto del proyecto Sede Sustentable. El trabajo se compone de un análisis de la huella hídrica y propuestas de mejoras para el rendimiento hídrico de la universidad. Ya que los costos y beneficios se basan en supuestos, se espera que las propuestas indicadas sirvan como inspiración para tomar acción frente al desafío del cambio climático y se lleven a cabo medidas profundas que involucren el compromiso de todos los niveles de la organización universitaria para llegar a una sede sustentable.

1. ANTECEDENTES GENERALES SOBRE LA HUELLA HÍDRICA

A continuación, se presentan antecedentes generales sobre la sustentabilidad y la certificación de Sede Sustentable, además de antecedentes sobre la huella hídrica, marco legal, y análisis de sustentabilidad de la UTFSM, enfocándose en la Sede Viña del Mar.

1.1 Certificación Sede Sustentable

La sustentabilidad se entiende como una construcción colectiva donde se aspira a la posibilidad de que todos los humanos y otras formas de vida florezcan en la tierra para siempre (Ehrenfeld, 2008). Se dice que es colectiva porque la sustentabilidad resultará de la co-creación de soluciones a distinta escala, adecuadas a distintos niveles y contextos ecológicos y culturales. Para alcanzar la sustentabilidad se considera el bienestar tanto del humano como del resto de los seres vivos, ya que somos todos partes de un sistema complejo e interdependiente, es decir no antropocéntrico, y la naturaleza tiene un valor intrínseco independiente de la utilidad que le otorga el hombre.

La UTFSM tiene como parte de sus ejes valóricos una visión de futuro y adaptabilidad, donde se compromete a generar nuevos conocimientos para el desarrollo y sostenibilidad del país y la sociedad, por lo que llegar a ser una sede sustentable está muy ligado con las definiciones estratégicas establecidas por la universidad, y para esto está la posibilidad de certificarse como Campus Sustentable (Universidad Técnica Federico Santa María, s.f.).

La certificación de Sede Sustentable se consigue a través del Acuerdo de Producción Limpia, que es el único instrumento de política pública que certifica a las instituciones como Campus Sustentables, y existen herramientas que ayudan como guía para conseguirlo, como por ejemplo la herramienta RESIES (Reporte y Evaluación de la Sustentabilidad para Instituciones de Educación Superior) desarrollada por la Red Campus Sustentable (Red Campus Sustentable, s.f.).

1.1.1 Red Campus Sustentable

La Red Campus Sustentable (RCS) es una asociación de instituciones de educación superior y profesionales, que se dedican a la promoción de la sustentabilidad en la educación superior, para a través de esto generar transformaciones en la sociedad para lograr la sustentabilidad.

La RCS tiene su origen en los Diálogos Universitarios, que al amparo de la División de Educación Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente, se comenzaron a realizar entre distintos actores universitarios, realizando el primer diálogo el año 2009, reuniéndose más de 200 personas para discutir y compartir experiencias.

Posteriormente, para formalizar el interés por la sustentabilidad bajo la forma de compromiso, el año 2010 se redactó el “Protocolo Marco para la colaboración Interuniversitaria: Campus Sustentable”.

El Protocolo Campus Sustentable trabajó en dos áreas: formación y gestión de campus. En el área de la formación se ha realizado desde el año 2011 el Diplomado en Educación para la Sustentabilidad, dirigido a egresados de diversas carreras y universidades, en 2011-2012 se completó un proyecto para crear un modelo de metodologías de educación ambiental para la sustentabilidad aplicable a distintos campus de educación superior. En gestión de campus se comenzaron las conversaciones para la creación del Acuerdo de Producción Limpia: Campus Sustentable, un instrumento de gestión ambiental que permite guiar y promover los esfuerzos en materia de gestión sustentable de campus en todo Chile.

A comienzos del año 2012 se realizó un encuentro entre los participantes del Protocolo Campus y se formó lo que hoy es la Red Campus Sustentable y a finales del año se concretó la

firma del Acuerdo de Producción Limpia: Campus Sustentable, que comprometió a 22 instituciones de educación superior con alcanzar 11 metas relacionadas a los distintos aspectos de sustentabilidad.

El año 2016 la Red Campus Sustentable obtuvo su personalidad jurídica, y en enero del año 2022 comenzó la implementación del II Acuerdo de Producción Limpia (APL) para Instituciones de Educación Superior (IES), acuerdo que la UTFSM está implementando actualmente (Vera, 2022).

1.1.2 Acuerdo de Producción Limpia y Marco Legal

El Acuerdo de Producción Limpia es un convenio de carácter voluntario celebrado entre una asociación empresarial representativa de un sector productivo y los organismos públicos competentes en materias ambientales, sanitarias, de higiene y seguridad laboral, eficiencia energética e hídrica y de fomento productivo, cuyo objetivo es aplicar la Producción Limpia a través de metas y acciones específicas en un plazo determinado para el logro de lo acordado (Agencia de Sustentabilidad y cambio climático, 2022).

El objetivo de los APL es mejorar las condiciones productivas y ambientales en términos de higiene y seguridad laboral, eficiencia energética e hídrica, reducción de emisiones, valorización de residuos, buenas prácticas, fomento productivo y otras temáticas abordadas por el acuerdo, buscando generar sinergias y economías de escala, así como el cumplimiento de las normas ambientales que propenden al aumento de la productividad y la competitividad de las empresas. El Acuerdo está impulsado por la Red Campus Sustentable y la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, junto a la colaboración de los ministerios de Salud, Medio Ambiente, Educación y Energía.

Según la Red Campus Sustentable, para las instituciones de educación superior, como la UTFSM, este acuerdo constituye un instrumento de gestión sustentable, una instancia para identificar los aspectos más relevantes, jerarquizar las prioridades en la gestión, comprometer actividades y metas para el mejoramiento continuo, contribuyendo de manera positiva al cumplimiento de los estándares de sustentabilidad. Ejecutar este acuerdo permite una integración ordenada y efectiva en el cumplimiento de los objetivos y plazos de un proyecto de sustentabilidad, para lograr cambios y evaluar el impacto de estos, manteniendo un diálogo constructivo entre los actores privados y públicos. Por todo lo anterior, este acuerdo emerge como un valioso instrumento de gestión, siendo un paso para generar Instituciones de Educación Superior sustentables.

Este acuerdo tiene como objetivo general “Fortalecer la sustentabilidad de las Instituciones de Educación Superior, incorporando acciones que contribuyan a la reducción de gases de efecto invernadero y a la adaptación al cambio climático, mediante el involucramiento de todos sus estamentos, generando una cultura sustentable, incorporando conocimiento y capacidades en la academia, realizando una gestión sustentable de los recursos, y con una fuerte vinculación con el medio y los territorios donde se emplazan”, y tiene como base el cumplimiento de la normativa ambiental y sanitaria relativa al manejo de residuos, y las Normas Chilenas oficiales de Acuerdo de Producción Limpia (Agencia de sustentabilidad y Cambio Climático, 2021). Estas son:

- Decreto Supremo N° 114 de 1961, del Ministerio de Salud, que establece normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza.
- Decreto con Fuerza de Ley N° 725 de 1967, del Ministerio de Salud, que establece el Código Sanitario.
- Decreto Supremo N° 735 de 1969, del Ministerio de Salud, que establece el reglamento de los servicios de agua destinados al consumo humano.

- Decreto Supremo N° 594 de 1999, del Ministerio de Salud, que establece el reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.
- Decreto Supremo N° 148 de 2003, del Ministerio de Salud, que aprueba el reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos.
- Decreto Supremo N° 1 de 2013 del Ministerio del Medio Ambiente, que aprueba reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC
- Decreto Supremo N° 40 de 2014, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece el reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental.
- Normas Chilenas Oficiales: NCh2796.Of2003: “Acuerdos de Producción Limpia (APL) - Vocabulario; NCh2797.Of2009: "Acuerdos de Producción Limpia (APL) - Especificaciones"; la NCh2807.Of2009: "Acuerdos de Producción Limpia (APL) - Diagnóstico, Seguimiento y Control, Evaluación Final y Certificación de Cumplimiento"; y NCh2825.Of2009: "Acuerdos de Producción Limpia (APL) - Requisitos para los Auditores y Procedimiento de la Auditoría de Evaluación de Cumplimiento”.

El Acuerdo posee cinco metas vinculadas con: Gobernanza, Gestión de Campus, Vinculación con el Medio y Responsabilidad Social, las cuales contemplan 116 acciones que deben ser cumplidas en un periodo de 36 meses. Este trabajo se realiza como parte de una serie de acciones para cumplir metas vinculadas con la meta N°4 de Gestión de Campus “Implementar medidas de prevención, eficiencia y mitigación mediante la gestión de la energía, residuos, agua y biodiversidad, para avanzar a la carboneutralidad”. Las acciones que se relacionan con la gestión del agua son las siguientes:

- **Acción 4.1:** La Red Campus Sustentable en conjunto con el Ministerio del Medio Ambiente y Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, definirán lineamientos para el inventario y programa de cuidado de la biodiversidad.
- **Acción 4.2:** Las Instituciones de Educación Superior, basadas en los lineamientos de la acción 4.1, realizarán un inventario y programa de cuidado de la biodiversidad de flora y fauna existente en sus instalaciones, el cual deberá ser difundido
- **Acción 4.3:** La Red Campus Sustentable con apoyo de la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, elaborarán un formato de diagnóstico de línea base de gestión del agua.
- **Acción 4.4:** Las instituciones de Educación Superior, elaborarán un diagnóstico de línea base de gestión del agua en sus instalaciones adheridas, de acuerdo al formato de la acción 4.3.
- **Acción 4.5:** Las Instituciones de Educación Superior, registrarán y/o estimarán mensualmente los usos de agua en las áreas críticas definidas en el diagnóstico de línea base de gestión del agua. Para ello instalarán medidores de flujo, si corresponde. En el caso de que no requiera la instalación de flujómetros, las instituciones deberán justificarlo técnicamente y/o económicamente.
- **Acción 4.6:** Las Instituciones de Educación Superior elaborarán o actualizarán, e implementarán un Plan anual de Gestión de Agua el que incluirá: Definición de metas de reducción de consumo; Identificación de buenas prácticas y mejores técnicas disponibles; Programa de incorporación de oportunidades de mejora.

1.1.3 RESIES

El Reporte y Evaluación de la Sustentabilidad en Instituciones de Educación Superior (RESIES) es una herramienta desarrollada por la Red Campus Sustentable, y tiene como objetivo facilitar la transición de las Instituciones de Educación Superior (IES) hacia la sustentabilidad. Es una herramienta diseñada específicamente para el contexto Latinoamericano y funciona tanto como una guía como un medio de evaluación y reporte de sustentabilidad (Red Campus Sustentable, 2021).

Esta herramienta puede ser usada de distintas formas en el contexto de educación superior, se puede usar como:

- Modelo para entender la sustentabilidad
- Hoja de ruta para guiar la implementación de una iniciativa de sustentabilidad
- Evaluar el desempeño de la institución, definir metas y hacer seguimiento del progreso de la sustentabilidad
- Celebrar el avance y liderazgo de IES que han asumido el desafío de ser sustentables
- Motivar la colaboración entre IES visibilizando aquellas con mejor desempeño en distintos ámbitos
- Primer paso de una iniciativa de sustentabilidad, a través de la creación de una línea base.

La creación de esta herramienta se basa en el entendimiento del funcionamiento de las IES, y muestra su estructura desde la perspectiva de la sustentabilidad plasmado en el modelo SIES en la **Figura 1-1**, donde se presentan las categorías del modelo (Gobernanza y seguimiento, Cultura sustentable, Academia, Gestión de campus y Responsabilidad social) y cómo se relacionan entre ellas.

Figura 1-1

Modelo SIES



Nota. Adaptado de *Modelo SIES*, de Red Campus Sustentable, 2021, Reporte y Evaluación de la Sustentabilidad en Instituciones de Educación Superior Manual de usuario v1.1 – 2021.

Al centro se ubica la categoría de *Gobernanza y seguimiento*, para destacar la importancia de la coordinación de instancias de gobierno, planificación y seguimiento. En torno a gobernanza, en mediación con el resto de las categorías, se encuentra la *Cultura sustentable* para señalar que todo cambio institucional depende directamente de la cultura interna de su comunidad. La parte superior muestra el principal canal de influencia de las IES. En el siguiente nivel aparece la *Academia*, que considera la formación y la investigación, y en la base se muestra la *Gestión de Campus*, que sería la plataforma de funcionamiento que soporta al resto de las funciones de las IES. Finalmente, el modelo completo se rodea de la *Responsabilidad social*, considerando acciones internas y la promoción de la sustentabilidad en la comunidad externa.

En la **Figura 1-2** se muestra un esquema de la jerarquía de evaluación de la herramienta RESIES, ilustrando las categorías y sub-categorías, donde las categorías aglutinan distintas temáticas relacionadas entre sí, y las sub-categorías corresponden a las temáticas específicas a tratar dentro de la Institución. Cada sub-categoría tiene al menos un indicador, y la calificación global corresponde al resultado ponderado de las distintas categorías, representando el grado de implementación de la sustentabilidad en una institución de educación superior. Este trabajo se centra en la sub-categoría “Agua”.



Figura 1-2

Niveles jerárquicos de la herramienta RESIES

Nota. Adaptado de *Niveles jerárquicos de la herramienta RESIES*, de Red Campus Sustentable, 2021, Reporte y Evaluación de la Sustentabilidad en Instituciones de Educación Superior Manual de usuario v1.1 – 2021

El recurso del agua es de vital importancia para los ecosistemas y los seres humanos y es un recurso limitado, y en las dependencias de las instituciones de educación superior se utiliza

diariamente para múltiples acciones como el consumo personal, baños, casinos y áreas verdes. Si este consumo no se realiza de manera responsable puede generar impactos en los recursos hídricos disponibles.

Para lograr el uso eficiente del agua se debe realizar un diagnóstico de los consumos y conocer las distintas fuentes de este recurso, para luego, implementar medidas y acciones que lleven a una reducción tangible de su consumo. Por esto, en esta sub-categoría se presentan dos puntos a tratar: La huella hídrica y la reducción del consumo de agua.

1.1.3.1 Huella hídrica

El objetivo a cumplir en este punto es evaluar la existencia de un reporte de huella hídrica actualizada de las instituciones. El reporte debe estar elaborado bajo los estándares de la organización Water Footprint Network (encontrados en su manual) y debe contener los siguientes flujos:

- **Huella hídrica verde:** volumen de agua evaporada de los recursos hídricos del planeta (agua de lluvia almacenada en el suelo como humedal)
- **Huella hídrica azul:** volumen de agua consumida de los recursos hídricos del planeta (aguas superficiales y subterráneas)
- **Huella hídrica gris:** volumen de agua contaminada asociada a la producción de los bienes y servicios.

La UTFSM concluyó la elaboración de su reporte final sobre el estudio de huella hídrica en el mes de junio del año 2022, y un breve resumen se presenta a continuación en el punto 1.2.

1.1.3.2 Reducción del consumo de agua

El objetivo de este punto es evaluar la reducción del consumo del agua per cápita, en relación al consumo de un año base, además de la implementación de acciones concretas que aporten a lograr esta disminución en el consumo.

Para el cumplimiento de este objetivo debe existir un plan de gestión para el consumo del agua vigente para el año evaluado, y debe contemplar lo siguiente:

- Metas de reducción de consumo per cápita, validado por autoridades de la institución.
- Descripción de medidas concretas y cuantificables para lograr estas metas.
- Diagnóstico del estado actual de la institución en relación al consumo del agua

La institución obtendrá bonificación si implementa alguna o todas las acciones para la reducción del consumo de agua que se presentan a continuación:

- Sistema de captación de agua lluvia para la reutilización en la institución
- Sistema de tratamiento de aguas grises para la reutilización en el campus
- Sistema de urinarios secos
- Sistema de riego eficiente en sus áreas verdes (riego por goteo, aspersores, riego programado u otro).
- Sistemas de consumo eficiente de agua en griferías (aireadores, sensor u otro).
- Sistemas eficientes de uso de agua en estanques de baño (doble descarga u otro).
- Algún otro sistema de uso eficiente del agua que no se encuentre en la lista (la acción debe ser validada por la Red Campus Sustentable).

Para conseguir el máximo puntaje la institución debe lograr un 20% de reducción del consumo de agua per cápita en relación al consumo per cápita del año base entregado por la institución.

1.2 Huella hídrica de la UTFSM

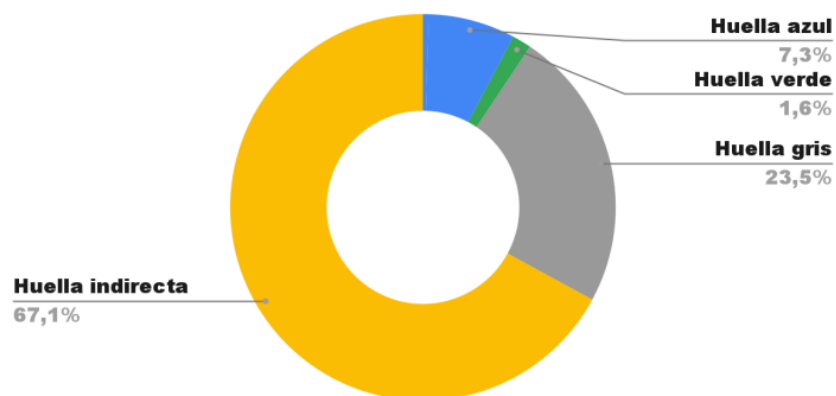
A continuación, se presentan los resultados del informe de la huella hídrica sin entrar en detalle de la metodología, puesto que en el punto 2 de este trabajo se explicará con más detalle.

En el informe final de la huella hídrica de la UTFSM se encuentra el balance hídrico y los resultados del estudio de la huella hídrica, usando el método elaborado por la Water Footprint Network, para las instalaciones de campus Valparaíso (o Casa Central), campus San Joaquín, campus Vitacura, sede Viña del Mar y sede Concepción, de la UTFSM para los años 2019 y 2020. La estimación indica una huella hídrica institucional de 1.181.161 m³ para el año 2019 y 494.774 m³ para el año 2020. Esta disminución de la huella hídrica se atribuye principalmente al efecto que el COVID significó en la demanda de raciones alimenticias dentro de la universidad. En este sentido el año 2019 es más representativo respecto a las operaciones históricas de la universidad (Universidad Técnica Federico Santa María, 2022).

A continuación, se presenta el, que indica la distribución porcentual entre la huella gris, huella verde, huella azul y huella indirecta durante el año 2009. Esta última representa el agua incorporada en los productos o servicios consumidos por la universidad y cuyos procesos son llevados a cabo fuera de los límites organizacionales del estudio. Se puede observar que el gran porcentaje de la huella hídrica corresponde a la huella indirecta, seguida por la huella gris, por lo que ahí se encuentran la mayor parte de las mejoras potenciales.

Gráfico 1-1

Distribución de la huella hídrica 2019 de la UTFSM



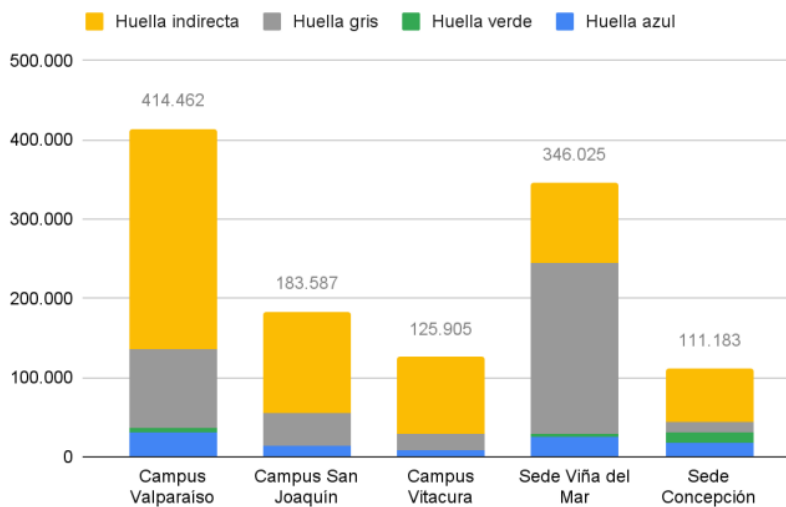
Nota. Adaptado de *Distribución de la huella hídrica 2019 de la UTFSM* de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

Dentro de las instalaciones de la UTFSM, el campus Valparaíso es el que aporta la mayor parte en la huella hídrica institucional para el año 2019 con 414.462 m³, mientras que para el año 2020, la sede Viña del Mar representa el mayor impacto con 205.326 m³. Considerando el año 2019, y calculando una huella hídrica por estudiante, la sede Viña representa el mayor exponente, con un valor unitario de 92 m³ por estudiante matriculado. El desglose por campus se muestra en el **Gráfico 1-2** y **Gráfico 1-3** para las huellas hídricas del año 2019 y 2020, correspondientemente, donde se observa claramente el alto valor de la huella hídrica en la sede viña en comparación a otras sedes

Para aplacar la huella hídrica se propone un plan de acción con cinco medidas que en conjunto tienen el potencial de reducir en un 9% la huella hídrica proyectada para el año 2030 (Universidad Técnica Federico Santa María, 2022).

Gráfico 1- 2

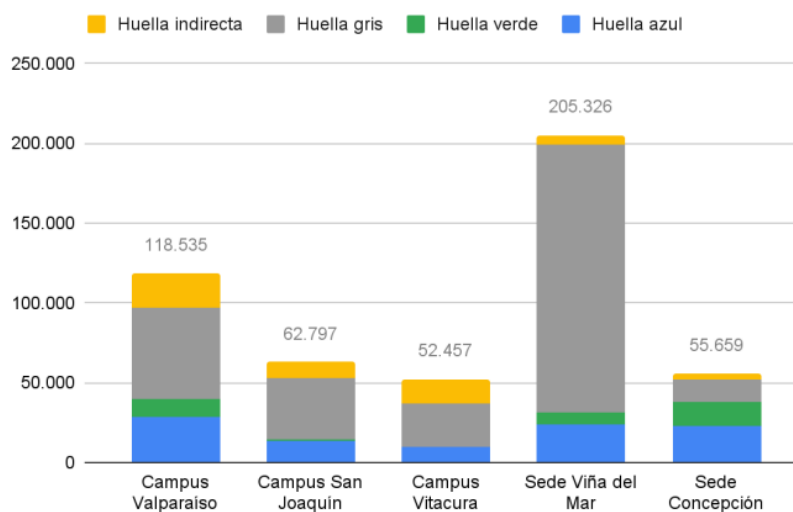
Huella hídrica por instalación UTFSM para el año 2019



Nota. Adaptado de *Huella hídrica por instalación UTFSM para el año 2019*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

Gráfico 1-3

Huella hídrica por instalación UTFSM para el año 2020



Nota. Adaptado de *Huella hídrica por instalación UTFSM para el año 2020*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

Para llegar a las cinco medidas propuestas se identificaron en un comienzo nueve medidas en base a la revisión de referentes relevantes para el contexto de la universidad. Estas medidas se describen en la siguiente **Tabla 1-1**:

Tabla 1-1

Lista de las medidas de disminución de huella hídrica evaluadas para UTFSM

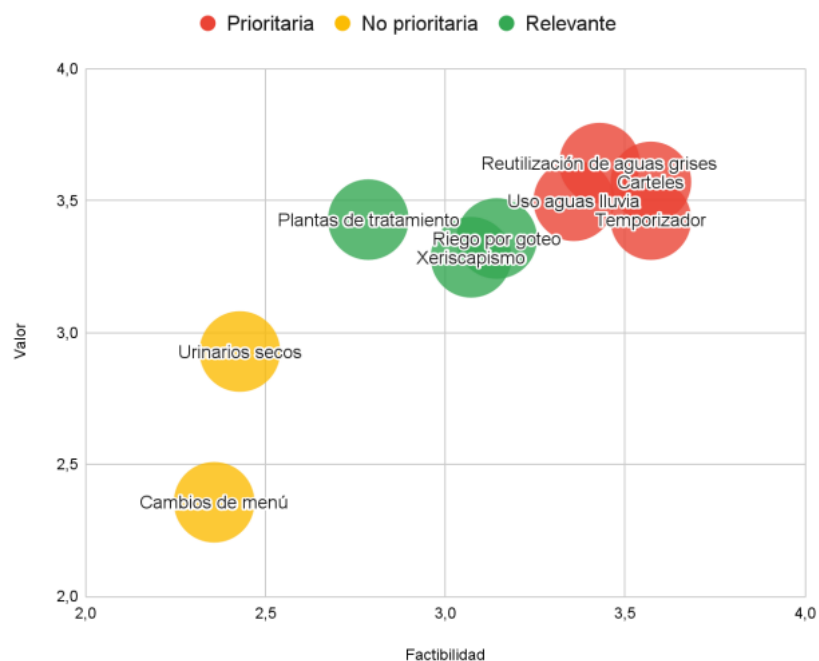
N	Nombre de la medida	Descripción
1	Temporizador (sensores)	Instalación de lavamanos con temporizador y aireador en todas las sedes.
2	Urinarios secos	Instalación de sistema de urinarios secos (los cuales no consumen agua) en todas las sedes
3	Riego por goteo	Instalación de sistemas de riego por goteo en todas las sedes.
4	Xeriscapismo	Reemplazo de pradera por especies arbustivas y pradera nativa u otras especies de baja o nula necesidad de riego en todos los campus y sedes
5	Plantas de tratamiento	Implementación de plantas de tratamiento de aguas servidas en todos los campus y sedes de la universidad.
6	Cambios de menú	Disminución de productos de origen animal en la oferta de alimentos de los casinos de todos los campus y sedes.
7	Reutilización de aguas grises	Acumulación y reutilización de aguas grises (utilizadas para consumo humano) para el riego de todos los campus y sedes.
8	Uso aguas lluvia	Acumulación de aguas lluvias para su uso en riego.
9	Carteles	Instalación de material gráfico en los baños y cocinas para promover el uso eficiente de agua en todos los campus y sedes.

Nota. Adaptado de *Lista de las medidas de disminución de huella hídrica evaluadas*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

Estas medidas descritas en la **Tabla 1-1** fueron evaluadas por los prevencionistas de riesgo de la universidad y por los encargados de mantención e infraestructura a través de una encuesta en línea, donde se solicitó que cada encuestado indique en una escala de cinco niveles (muy en desacuerdo, en desacuerdo, neutro, de acuerdo y muy de acuerdo) si la medida es factible de ejecutar y si la medida agrega valor a la institución. Las respuestas fueron agregadas y parametrizadas para elaborar un mapa de valor y factibilidad que se presenta en el **Gráfico 1-4** a continuación.

Gráfico 1-4

Mapa de factibilidad y valor agregado de las medidas



Nota. Adaptado de *Mapa de factibilidad y valor agregado de las medidas*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

El análisis del mapa permite diferenciar en tres grupos las medidas de acuerdo a los criterios de factibilidad y valor agregado. Estos grupos son en primer lugar “medidas prioritarias”, aquellas medidas con mayor valor agregado y factibilidad; en segundo lugar, está el grupo de “medidas relevantes” que contiene medidas con factibilidad y valor agregado medio y finalmente, el grupo de medidas “no prioritarias” que fueron evaluadas con un valor agregado y factibilidad menor a los otros grupos.

Por lo tanto, las cinco medidas prioritarias que se proponen en el plan de acción son las siguientes:

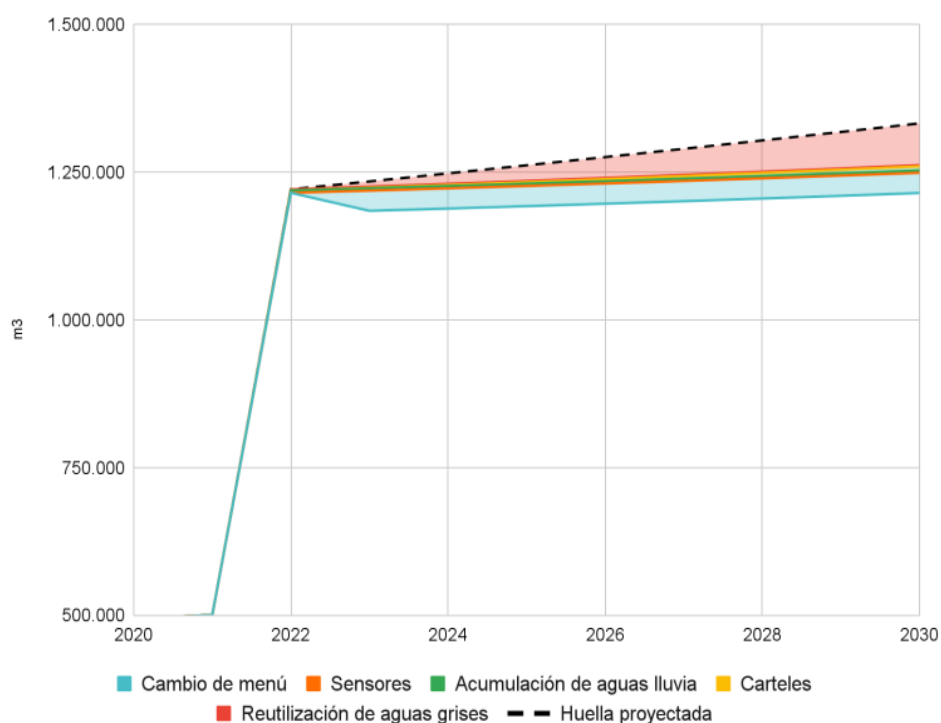
- **Uso de aguas grises:** contempla instalación de sistemas para la acumulación, transporte y tratamiento de aguas grises para riego.
- **Instalación de carteles:** considera la instalación de material informativo con mensajes que promuevan el uso eficiente del recurso hídrico en espacios con grifería y con acceso a la comunidad universitaria.
- **Uso de aguas lluvia:** la acumulación de aguas lluvia se considera para uso exclusivo de riego.
- **Temporizadores:** contempla la instalación de sensores automáticos para regular el flujo del agua en los grifos en espacios con acceso a la comunidad universitaria tales como baños y cocina.
- **Cambios de menú:** consiste en reemplazar o eliminar componentes cárnicos en los menús de los casinos.

A continuación, en el **Gráfico 1-5** se representa gráficamente la proyección de la huella hídrica y el impacto de las medidas evaluadas. Se puede observar que la medida con mayor impacto

para la reducción de la huella hídrica es la reutilización de aguas grises, seguidas por los cambios de menú. Esto sugiere que estas medidas requieren mayor prioridad de acción. Cabe mencionar que las medidas corresponden ser implementadas por la administración de la Sede.

Gráfico 1-5

Proyección huella hídrica e impacto de las medidas evaluadas



Nota. Adaptado de *Proyección huella hídrica e impacto de las medidas evaluadas*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

1.3 Sostenibilidad de la UTFSM

A continuación, se presenta un análisis de sostenibilidad de la huella hídrica de la UTFSM en relación a sus efectos ambientales, sociales y económicos dentro del contexto particular que componen los límites organizacionales de la universidad.

1.3.1 Sostenibilidad hídrica

Para el análisis del impacto ambiental y social de las operaciones de la UTFSM se deben considerar las proyecciones climáticas, especialmente debido a la confirmación de los efectos del cambio climático en la región. Según el último informe del “Panel Intergubernamental sobre Cambio climático” (IPCC por sus siglas en inglés) existen impactos altos sobre los ecosistemas y agua en Chile (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022). Además, se observa una tendencia a la disminución de las precipitaciones en general para la zona centro de Chile (Boisier, et al, 2016), en donde vive cerca del 80% de la población y donde se encuentran todas las sedes de la universidad, y aunque haya diferencias en la disponibilidad de agua superficial por escorrentía entre las distintas zonas donde se encuentran las sedes, existe presencia de sequías agravadas en todas las regiones (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, 2018).

Según el Visor de Sequía del año 2022, el 100% de las comunas de la región del Biobío, el 95% de la región de Valparaíso y el 38% de la región Metropolitana tienen decretada emergencia agrícola. Específicamente, el agua de uso doméstico urbano presenta una escasez en el 50% de la región del Biobío, 88% de la región de Valparaíso y un 60% de la región Metropolitana. Con respecto a las comunas donde se encuentran las distintas sedes de la universidad, existen efectos de la sequía prolongada en prácticamente todas las comunas, afectando la seguridad hídrica futura. En este contexto, como se muestra en la **Tabla 1-2**, actualmente 3 de las 5 comunas donde se encuentran las sedes de estudio presentan un decreto de escasez hídrica (Ministerio de Bienes Nacionales, 2022).

Tabla 1-2

Información de riesgo hídrico por comuna de cada instalación

Instalación	Región	Comuna	Déficit de precipitaciones	% de efecto negativo futuro estimado en la seguridad hídrica de uso doméstico urbano	Decreto de escasez Hídrica
Campus Valparaíso	Valparaíso	Valparaíso	<30%	88%	SI
Campus San Joaquín	Santiago	San Joaquín	<30%	83%	NO
Campus Vitacura	Santiago	Vitacura	<30%	88%	SI
Sede Viña del Mar	Valparaíso	Viña del Mar	<30%	83%	SI
Sede Concepción	Biobío	Talcahuano	25-30%	62%	NO

Nota. Adaptado de *Visor de Sequía*, de Ministerio de Bienes Nacionales, 2022,

<https://sequia.visorterritorial.cl/>.

Debido al escenario actual frente a la escasez hídrica presente, resulta sumamente relevante las acciones que se puedan realizar en la región de Valparaíso, por ser este el lugar de la casa central y donde puede haber una sinergia directa con la sede Viña del Mar, ya que se encuentran en similares condiciones territoriales y climáticas. En segundo lugar, se prioriza el campus Vitacura por su escenario crítico también marcado por su reconocimiento de escasez hídrica, para después abordar el campus San Joaquín y la sede Concepción.

1.3.2 Conflictos socioambientales

Para el análisis de conflictos socioambientales donde pueden tener injerencia la universidad se analiza el Mapa de conflictos socioambientales elaborado por el Instituto Nacional de Derechos Humanos, que ofrece una indicación geográfica de los conflictos de esta índole más relevantes del territorio nacional (Instituto Nacional de Derechos Humanos, 2022). El objetivo de este análisis es

identificar situaciones críticas en las cuales la UTFSM puede tener injerencia tanto directa (actor relevante con potencial para incidir fuertemente en el conflicto), indirecta (actor secundario sin potencial para incidir de manera relevante en el conflicto) o nula (sin relación evidente con el conflicto), en conflictos relacionados con la administración o acceso al recurso hídrico. Un listado con los distintos conflictos socioambientales se presenta en la siguiente **Tabla 1-3**.

Tabla 1-3

Conflictos socioambientales relacionados al recurso hídrico en las regiones

Región	Conflicto Socioambiental	Injerencia de la UTFSM
Metropolitana	Desastre ecológico en humedal de Batuco	Nula
	Central hidroeléctrica Guayacán	Indirecta
	Proyecto hidroeléctrico Alto Maipo	Indirecta
Valparaíso	Embalse Chacrillas	Nula
	Central Termoeléctrica Campiche	Indirecta
	Central Térmica RC Generación	Indirecta
	Central Termoeléctrica Energía Minera	Indirecta
	Embalse Puntilla del Viento	Nula
	Termoeléctrica Los Rulos	Indirecta
	Termoeléctrica Nueva Era	Indirecta
	Derrame Río Aconcagua	Nula
Derrame de petróleo en bahía de Quintero	Nula	

	Expansión portuaria en Humedal "Ojos de Mar" de Lolleo	Nula
Bío-bío	Central hidroeléctrica Aguas Calientes	Indirecta
	Proyecto central hidroeléctrica Angostura (PCH-Angostura)	Indirecta
	Disputa Laguna Laja	Indirecta
	Planta de Tratamiento de lodos Cabrero	Nula

Nota. Adaptado de *Conflictos socioambientales relacionados al recurso hídrico en las regiones Metropolitana, Valparaíso y Bío-bío*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

De acuerdo a este análisis, la UTFSM no tiene injerencia directa con ningún conflicto socioambiental relacionado al recurso hídrico. Esto se debe a que los proyectos de embalses analizados se relacionan a satisfacer las necesidades de las industrias agrícolas y/o mineras de las regiones, en los que la UTFSM no es una parte activa del conflicto, y los proyectos de plantas hidroeléctricas fueron considerados con una injerencia indirecta debido a que se puede considerar a la UTFSM como un consumidor institucional de la matriz energética a la que estos proyectos buscan contribuir.

1.3.3 Impacto ambiental de las aguas residuales

El destino de las aguas residuales de las instalaciones de la universidad es el principal responsable de la huella gris de la UTFSM, la cual representa el 20% de la huella hídrica total de la organización. En el caso de las instalaciones de sede Viña del Mar y campus Valparaíso, el proceso de tratamiento de las aguas residuales es de carácter mecánico, donde no existe análisis y

gestión de carga orgánica y la dilución de los contaminantes se realiza cuando se mezcla con el agua andina, por esto, el cálculo de la huella se realizó en base a la mayor capacidad de dilución existente por normativa (Decreto Supremo N°90, 2001, Ministerio Secretaría General De La Presidencia) correspondiente a un requerimiento de 10 litros de agua marina por cada litro que es descargado al alcantarillado. En este sentido se considera que la universidad está teniendo un alto impacto ambiental debido a las aguas residuales, aunque se mantengan dentro de la normativa vigente, resulta perjudicial para la cuenca donde se inserta. Como posibilidad futura de manejo de este componente de la huella hídrica, especialmente en las instalaciones de la región de Valparaíso, la implementación de una planta de tratamiento para la reutilización de aguas grises para riego puede ser una buena medida de disminución del impacto ambiental asociado a las aguas residuales.

Respecto al uso de fertilizante, el nitrato originado por el uso de estos, es el contaminante más extendido mundialmente en las aguas subterráneas (Organización de las Naciones Unidas, 2022). Al igual que con las aguas residuales, para no afectar negativamente a las aguas subterráneas, se necesitan 10 litros de agua por la concentración residual del nitrato que se lixivia. Por esto, es importante mantener cuidado con las concentraciones, temporalidad y periodicidad de la fertilización para incurrir en el menor exceso de lixiviado posible.

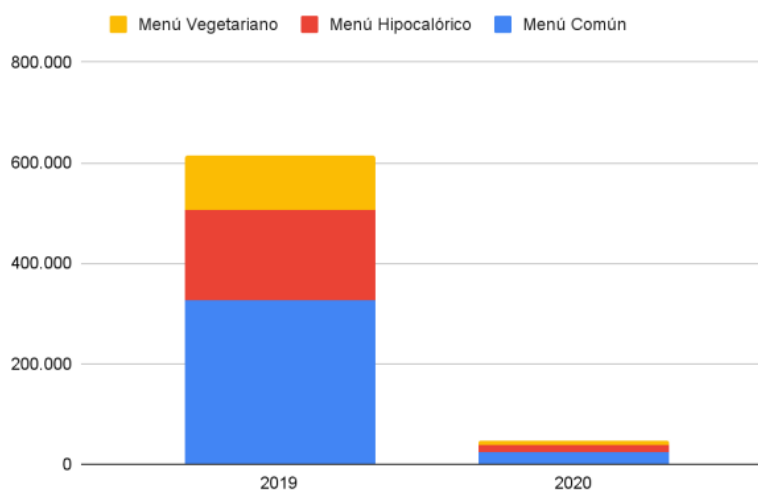
1.3.4 Impacto de la alimentación

Sobre la sostenibilidad de la huella hídrica asociada a la alimentación de la UTFSM, la magnitud de la huella hídrica depende de los componentes de los distintos menús, los que se dividen en el menú común, menú hipocalórico y menú vegetariano. En el **Gráfico 1-6** se muestra que el impacto principal se debe al menú común, lo que se explica debido a que es el de mayor

preferencia dentro de la comunidad universitaria (>50%), además de contener una huella 13% mayor al menú hipocalórico y un 50% mayor al vegetariano.

Gráfico 1-6

Huella por alimentación según tipo de menú en la UTFSM en m³



Nota. Adaptado de *Huella por alimentación según tipo de menú en la UTFSM en m³*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

La diferencia entre las huellas por tipo de menú se detalla en la **Tabla 1-4**, donde se ve que el menú común es el que más se consume y que genera mayor huella por ración, seguido del hipocalórico y vegetariano.

Tabla 1-4

Huella por tipo de menú

Resumen	Proporción de consumos por menú	Huella hídrica por menú (m ³)

Menú Común	53%	0,89
Menú Hipocalórico	29%	0,78
Menú Vegetariano	18%	0,58

Nota. Adaptado de *Huella por tipo de menú*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

En la **Tabla 1-5** se detallan los tipos de alimentos considerados y su huella respectiva y se puede observar que la predominancia de carnes en el menú común e hipocalórico entregan un aumento mayor al 50% de la huella respecto a la proteína vegetal. Por otro lado, el uso de vegetales por sobre los carbohidratos genera una disminución en la huella, aunque menos significativa.

Tabla 1-5

Huella por tipo de alimento servido en cada menú

Tipo de menú	Alimento	Huella semanal por tipo (m ³)
Común	Sopa	0.05
	Jugo	0.19
	Pan	0.35
	Postre	0.31
	Ensalada	0.07
	Proteína general	2.90
Vegetariano	Acompañamiento general	0.56
	Proteína general	1.34

	Acompañamiento general	0.57
Hipocalórico	Proteína general	3.20
	Ensalada	0.18

Nota. Adaptado de *Huella por tipo de alimento servido en cada menú*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

Los resultados del análisis de las huellas asociadas a la alimentación indican que promover una dieta baja en productos de origen animal y reemplazarlos por vegetales es un factor que permitiría disminuir el aporte a la huella hídrica por parte de la alimentación.

1.3.4 Análisis operativo y económico

A continuación, se presentan los puntos críticos asociados a las operaciones y el carácter económico de la gestión del recurso hídrico en la universidad. Esta información fue entregada por representantes de la UTFSM.

1.3.4.1 Control central y mantenimiento

A través de visitas a terreno se identificó que no existen recontadores ni medidores de agua de ningún tipo en las diferentes áreas de la universidad, lo que dificulta la realización de evaluaciones a los consumos y, por consiguiente, la toma de decisiones informadas para lograr una gestión eficiente del recurso hídrico. Así mismo, no se identificaron protocolos comunes sobre el uso del agua que se puedan aplicar a todas las instalaciones de la universidad, por lo que existe la oportunidad de estandarizar las operaciones a través de mejoras prácticas y lineamientos clave hacia la sostenibilidad. Además, existe espacio para avanzar hacia una cultura de uso eficiente del agua a través de mejoras en las prácticas de riego, ya que, aunque se observó voluntad de evitar

pérdidas de agua y el riego en lugares que no lo necesitan, se identificó a través de visitas que se riegan espacios sin cobertura vegetal como espacios de circulación peatonal y sistemas con desperfectos, como se muestra en la **Figura 1-3**.

Figura 1-3

Riego de vereda por aspersores en sede Concepción



Nota. Adaptado de *Riego de vereda por aspersores en sede Concepción*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

1.3.4.2 Riego

Respecto al riego existen iniciativas de recambio de la vegetación, como el reemplazo de pasto por jardines secos con un menor consumo hídrico en las instalaciones de la sede Viña y el campus San Joaquín, aunque este tipo de iniciativa no responde a un plan centralizado por parte de la universidad. Por otra parte, todas las instalaciones cuentan con sistemas automatizados de riego con tiempos de uso acotados, como también riego manual en situaciones particulares. Las

canchas del campus Valparaíso y la sede Viña son regadas de manera automática a excepción de la sede Concepción.

En todas las sedes, a excepción de la sede Concepción, el agua que se usa para riego viene de la red de agua potable, por lo que su uso está adicionado al del agua con uso sanitario. En la sede Concepción se notan tiempos de riego menos restringidos y falta de mediciones asociadas al uso de los pozos surtidores, esto se debe a que existe la noción de que el agua “no es un recurso escaso” por lo que queda al criterio del personal el régimen de riego en la sede.

Se pudo corroborar también que existen algunos grifos, bombas y redes en malas condiciones de atención, lo que denota que las mantenciones existentes son de tipo correctivo y no preventivo.

1.3.4.3 Servicios Higiénicos

En general todos los baños de la universidad cumplen con estándares de eficiencia similares, los lavamanos y duchas cuentan con grifería con pulsador, los urinarios con pulsador y/o fluxómetro y en algunos casos con sensores de proximidad, y los inodoros cuentan con pulsador y/o fluxómetro. Las únicas excepciones a este estándar son algunos baños de uso poco frecuente o perteneciente a personal específico dentro de algunas instalaciones. Los distintos sistemas encontrados en visitas a las distintas sedes se especifican en la **Tabla 1-6**.

Tabla 1-6

Sistemas encontrados en visitas a la universidad

Instalación	Urinarios	Inodoros	Lavamanos
--------------------	------------------	-----------------	------------------

Campus Valparaíso	Fluxómetros	Sensor/ Fluxómetros/pulsadores	Pulsador
Campus San Joaquín	Fluxómetros/pulsadores	Fluxómetros	Pulsador
Campus Vitacura	Sensor	Fluxómetros/pulsador	Pulsador
Sede Viña del Mar	Fluxómetros/pulsadores	Fluxómetros	Pulsador
Sede Concepción	Fluxómetros	Fluxómetros/Doble descarga	Pulsador

Nota. Adaptado de *Sistemas encontrados en visitas a la universidad*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

1.3.4.4 Laboratorios y espacios docentes

Dentro del análisis a los espacios docentes y de investigación hay una utilización reducida de caudales de agua y hay usos menores de lavatorios, la excepción a esto ocurre en algunos procesos que utilizan agua para enfriamiento y la purificación para procesos a pequeña escala. En relación a los riles, estos se manejan a través de empresas externas de residuos peligrosos y se realiza manejo de carga orgánica y dilución en laboratorios docentes. No se observaron protocolos de seguimiento y de calidad al respecto.

2. MARCO TEÓRICO

A continuación, se introducen conceptos relacionados a la huella hídrica, y se presentan resumidas 3 metodologías para la evaluación de la huella hídrica, de las cuales se utilizará una para el desarrollo del diagnóstico de la huella hídrica de la UTFSM.

2.1 Estado del arte

El agua es crucial para la economía global, básicamente todo sector económico, desde agricultura, generación de energía, manufactura, y en este caso educación, requieren agua para sustentar los negocios. A la vez la escasez de agua y su contaminación han incrementado alrededor del mundo debido al crecimiento poblacional, cambios de patrones de consumo y la mala gestión del recurso hídrico. La huella hídrica es un indicador de la apropiación humana del agua fresca medido en volumen de agua consumido y/o contaminado. La huella hídrica como número no entrega una medida del impacto económico, social o medioambiental asociado al consumo y/o contaminación del agua, por lo que se debe realizar una evaluación integral de la huella hídrica. La evaluación de la huella hídrica nos permite determinar dónde se encuentra la huella hídrica, qué tan grande es y si es sustentable o no. Esta evaluación es precursora a la identificación de los puntos prioritarios y proporcionando información para determinar acciones estratégicas para reducir la huella hídrica y volverla sustentable. Esta evaluación nos sirve también para monitorear y evaluar el progreso hacia los objetivos de desarrollo sustentable (indicados en **Figura 2-1**), como por ejemplo el consumo y producción sustentable (Chapagain, 2017).

Figura 2-1

Objetivos de desarrollo sostenible



Nota. Adaptado de *Objetivos de desarrollo sostenible*, de Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, (s.f),

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

2.1.1 Red de la Huella Hídrica

La Red de la Huella Hídrica (Water Footprint Network) es una comunidad internacional fundada el año 2008, dedicada a la sostenibilidad, equidad y eficiencia del uso del agua. Tienen como misión el usar el concepto de la huella hídrica para promover la transición hacia el uso sustentable, justo y eficiente del agua a nivel mundial, y tienen como visión un mundo en el que se comparta agua dulce limpia de manera justa entre todas las personas para sustentar comunidades prósperas y la diversidad de la naturaleza (Water Footprint Network, 2022).

Para lograr su misión han desarrollado un estándar mundial para la “evaluación de la huella hídrica”, donde se incluyen un amplio repertorio de definiciones y métodos para la contabilidad de la huella hídrica, se muestra cómo se calcula para procesos individuales y productos, así como

para consumidores, naciones y empresas. Además, incluye los métodos para el análisis de la sostenibilidad (Hoekstra, et al. 2011).

2.1.2 Concepto de evaluación de huella hídrica

La huella hídrica de una persona, comunidad o negocio, se define como el volumen total de agua fresca que se usa para producir el bien o servicio consumido por un individuo o comunidad, o producido por el negocio. La huella hídrica muestra la apropiación del hombre sobre el recurso limitado de aguas frescas, por lo tanto, proporciona una base para determinar el impacto de bienes y servicios en sistemas de agua fresca y formular estrategias para reducir ese impacto.

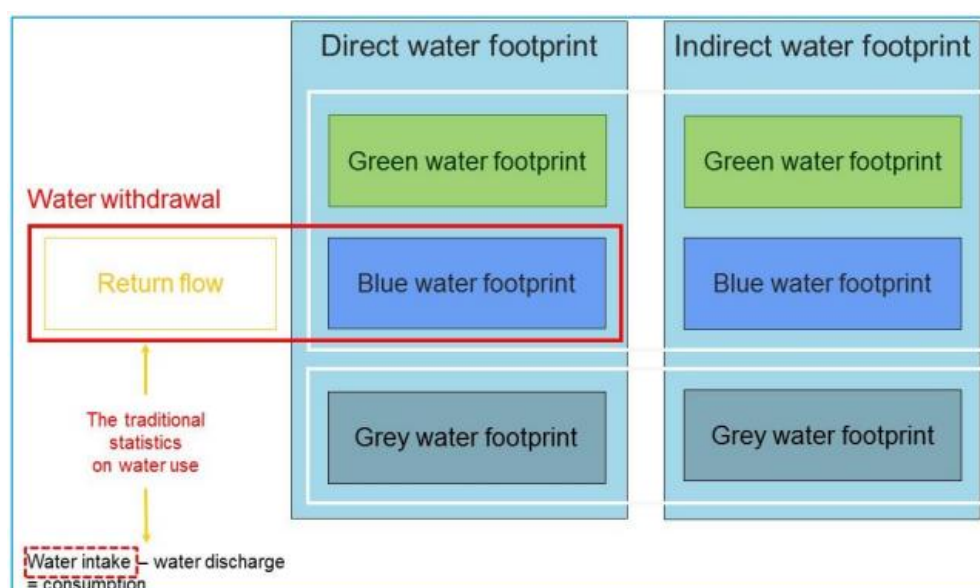
El concepto de huella hídrica es parte de una familia de conceptos que se han desarrollado en las ciencias medioambientales durante la última década. Una “huella”, en general, es una medida cuantitativa que indica la apropiación de recursos naturales o presión hacia el medio ambiente por parte del ser humano. La huella ecológica es una medida del uso de espacio para la bio-producción medido en hectáreas, la huella de carbono mide la cantidad de gases de invernadero medidos en toneladas de dióxido de carbono equivalente, y la huella hídrica mide el uso de agua en metros cúbicos por año. Estos tres indicadores son complementarios pues miden cosas completamente diferentes y, aunque metodológicamente tienen varias similitudes, cada huella tiene sus peculiaridades debidas al tipo de sustancias que se consideran.

Tradicionalmente, las estadísticas del uso del agua se concentran en la medición de la extracción de agua y el uso directo del agua como se muestra en la **Figura 2-2**. En cambio, la evaluación de huella hídrica toma una perspectiva más amplia ya que considera el uso de agua directa e indirecta, donde esta última se refiere al uso de agua en la cadena productiva de un producto. Por lo tanto, la huella hídrica relaciona a los consumidores finales y negocios

intermedios al uso de agua durante toda la cadena productiva. Esto es relevante porque la visión de dependencia real del agua respecto al negocio puede cambiar drásticamente, ya que generalmente el uso directo del agua es pequeño en comparación al uso indirecto del agua y el uso de agua en lo operacional de un negocio también es menor al uso de agua de la cadena de suministros.

Figura 2-2

Componentes de la huella hídrica y las estadísticas tradicionales del uso de agua



Nota. Adaptado de *Componentes de la huella hídrica y las estadísticas tradicionales del uso de agua*, de Chapagain, 2017, *Water footprint State of the art: What, why and how?*

Otra diferencia entre la estadística tradicional y la huella hídrica es que esta última ve el consumo del agua (a diferencia de extracción de agua), donde el consumo se refiere a la parte del agua extraída que se pierde por evaporación, además no solo mide la huella azul (uso de aguas superficiales y subterráneas), sino también agrega los componentes de la huella verde (uso de aguas lluvia) y huella gris (cantidad de agua requerida para asimilar un contaminante).

2.1.3 Huella azul

La huella hídrica azul es un indicador del consumo de aguas dulces superficiales o subterráneas. Este consumo se refiere a uno de los cuatro casos siguientes:

- El agua se evapora
- El agua se incorpora al producto
- El agua no regresa a la misma zona de captación
- El agua no regresa en el mismo período

El agua que se consume no significa que desaparece, siempre permanece en el ciclo y volverá a siempre a algún lugar. El agua es un recurso renovable, pero no siempre disponible, la cantidad de agua que recarga las reservas de aguas subterráneas y la que fluye por un río están siempre limitadas a una cantidad determinada. Por lo tanto, el agua de estas fuentes puede ser destinada para el uso humano, pero no se puede consumir más de lo disponible. La huella hídrica azul mide la cantidad de agua disponible consumida en un período determinado.

La huella hídrica azul en una etapa del proceso se calcula de la siguiente manera:

$$HH_{proc,azul} = \text{evaporación de agua azul} + \text{incorporación de agua azul} \\ + \text{flujo de retorno perdido [volumen/tiempo]}$$

2.1.4 Huella verde

La huella hídrica verde es un indicador del uso que hacen las personas del agua verde, que se refiere a las precipitaciones terrestres que no se transforman en escorrentía ni en aguas

subterráneas, sino que se almacenan en el suelo o se quedan de forma temporal en el suelo o de la vegetación

La huella hídrica verde es el volumen de agua de lluvia consumida durante el proceso de producción y equivale a:

$$HH_{proc,verde} = \text{evaporación de agua verde} \\ + \text{incorporación de agua verde [volumen/tiempo]}$$

La diferencia entre la huella hídrica azul y la verde es importante porque los impactos hidrológicos, ambientales y sociales, además de los costes de oportunidad económicos en cuanto al uso del agua superficial y subterránea para la producción, son muy diferentes a los impactos y costes del uso del agua de lluvia (Falkenmark y Rockström, 2004; Hoekstra y Chapagain, 2008).

2.1.5 Huella gris

La huella hídrica gris de una etapa de un proceso es un indicador del grado de contaminación de agua dulce que puede asociarse con la etapa del proceso. Se define como el volumen de agua dulce que se necesita para asimilar la carga de contaminantes basado en las concentraciones en condiciones naturales y en las normas o legislación de calidad ambiental del agua existentes.

La huella hídrica gris se calcula dividiendo la carga de contaminante (L , en masa/ tiempo) entre la diferencia entre la norma de calidad ambiental del agua de ese contaminante (la concentración máxima permitida $c_{m\acute{a}x}$, en masa/volumen) y su concentración natural en la masa de agua receptora (c_{nat} , en masa/volumen).

$$HH_{proc,gris} = \frac{L}{c_{m\acute{a}x} - c_{nat}} [volumen/tiempo]$$

2.2 Método de análisis de la huella hídrica – Water Footprint Network

En el “Manual de evaluación de la huella hídrica: Establecimiento del estándar mundial” (Hoekstra, 2011) se presenta detalladamente la estructura y paso a paso para la evaluación de la huella hídrica. A continuación, se presenta la estructura de forma resumida y consta de cuatro fases:

1. **Establecer objetivos y alcance:** Identificación de objetivos y alcance de la evaluación, incluyendo límites temporales, geográficos y de la cadena de suministro.
2. **Evaluación de la huella hídrica:** Cálculo de la huella hídrica directa (operacional) e indirecta (cadena de suministro), incluyendo parámetros cuantitativos y cualitativos.
3. **Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica:** Evaluación de la huella hídrica frente a criterios medioambientales, sociales y económicos.
4. **Formulación de respuesta a la huella hídrica:** Identificación de acciones estratégicas para reducir la huella hídrica o mejorar su sostenibilidad.

2.2.1 Objetivos de la evaluación de la huella hídrica

Los estudios de huella hídrica pueden tener uno o varios objetivos y adaptarse a diferentes contextos. Cada objetivo requiere la definición del alcance del estudio y, por tanto, permite diferentes opciones a la hora de realizar suposiciones. Ya que la huella hídrica se puede calcular en muchos contextos distintos, como por ejemplo la huella hídrica de una nación, la huella hídrica

relacionada al comercio internacional o la huella hídrica de un lugar demográfico específico, es importante especificar en qué contexto se está interesado. En este caso la universidad corresponde a una huella hídrica organizacional.

El manual muestra una serie de preguntas que ayudan a definir el objetivo de la evaluación de huella hídrica ya sea de un proceso, un producto, una empresa y otras opciones. A continuación, se muestran las preguntas generales y preguntas sobre la huella hídrica de una empresa:

Preguntas generales

- ¿Cuál es el objetivo final? ¿Concienciar, identificar los puntos críticos, formular políticas o definir objetivos cuantitativos?
- ¿Se centra en una fase en especial? ¿Se centra en la contabilidad, en el análisis de sostenibilidad o en la formulación de respuestas?
- ¿Cuál es el ámbito de interés? ¿La huella hídrica directa o indirecta? ¿La huella hídrica verde, azul o gris?
- ¿Cómo se maneja el tiempo? ¿Se centra en la evaluación de un año en particular, en la media de unos pocos años o en un análisis de tendencias?

Evaluación de la huella hídrica de una empresa

- ¿Cuál es la escala de estudio? ¿Una unidad de negocio, la empresa entera o un sector completo?
- ¿Cuál es el ámbito de interés? ¿Evaluar la huella hídrica operacional o la de la cadena de suministro?
- ¿Cuál es el sector de interés? ¿Riesgos para negocio, transparencia de productos, informes medioambientales corporativos, etiquetado de productos, evaluación comparativa con

niveles de referencia (benchmarking), certificación de la empresa, identificación de los componentes críticos de la huella hídrica o formulación de objetivos cuantitativos de reducción?

2.2.2 Alcance de la contabilidad de la huella hídrica

Al momento de plantear la contabilidad de la huella hídrica hay que determinar los límites del inventario, es decir, qué cosas incluir o excluir de las cuentas en función del objetivo de la contabilidad, para esto se puede usar la siguiente lista de control para el planteamiento de la contabilidad de la huella hídrica:

- ¿Considerar la huella hídrica azul, verde o gris?
- ¿Dónde truncar el análisis de la cadena de suministro?
- ¿Qué nivel de resolución espaciotemporal?
- ¿En qué período de datos?
- Para consumidores y empresas: ¿considerar la huella hídrica directa o indirecta?
- Para naciones: ¿considerar la huella hídrica dentro de la nación o la huella hídrica del consumo nacional; considerar la huella hídrica interna o externa del consumo nacional?

2.2.3 Alcance del análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica

Para la fase del análisis de la sostenibilidad, la cuestión principal es si se toma la perspectiva geográfica o la de un proceso, producto, consumidor o productor

2.2.4 Alcance de la formulación de respuestas de la huella hídrica

El alcance de la formulación de respuestas depende del tipo de huella hídrica que se analiza y es importante tener claro desde qué perspectiva o ángulo se van a identificar las medidas. También es necesario determinar de quién será formulada la respuesta.

2.2.5 Huella hídrica de una empresa

La huella hídrica de una empresa es el volumen total de agua dulce que se usa de forma directa o indirecta para su funcionamiento. Esta huella tiene una componente operacional (directa) y de suministro (indirecta) donde la huella operacional es el agua consumida por la actividad de la empresa y la huella de suministro es el volumen de agua consumido para producir los bienes y servicios que forman parte de las entradas de producción de la empresa (Hoekstra, 2011).

Además de la huella hídrica operacional y de la cadena de suministro, es posible identificar una huella hídrica de la fase de utilización, lo que se refiere al consumo y contaminación de agua por los consumidores. Estrictamente hablando esta huella no es parte de la huella hídrica de la empresa ni del producto, sino parte de la huella hídrica del consumidor.

Para un análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica de una empresa es útil observar los detalles espacio temporales de la huella hídrica, porque saber dónde y cuándo se ha usado esa agua puede servir para un análisis detallado sobre los impactos ambientales, sociales y económicos, y para descubrir riesgos empresariales asociados.

2.2.6 Análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica

El análisis de la sostenibilidad de huella hídrica consiste en comparar la huella hídrica humana y lo que la Tierra puede soportar de manera sostenible. Existen diferentes dimensiones de la sostenibilidad (ambiental, social y económica), los impactos pueden ser formulados a distintos

niveles (primarios, secundarios) y la huella hídrica tiene diferentes colores (verde, azul y gris) (Hoekstra, 2011).

El análisis de la sostenibilidad se puede considerar desde distintas perspectivas según (Hoekstra, 2011):

- **Geográfica** - ¿Es la huella hídrica total dentro de un área geográfica determinada es sostenible?
- **De proceso** - ¿Es la huella hídrica del proceso sostenible? ¿Se sitúa el proceso en un período donde la huella hídrica total es insostenible?
- **De producto** - ¿Es la huella hídrica del producto sostenible? ¿Es la huella hídrica del productor sostenible?
- **De consumidor** - ¿Es la huella hídrica del consumidor sostenible?

La sostenibilidad de la huella hídrica de un proceso, producto, productor o consumidor depende de los contextos geográficos donde se localicen los componentes de la huella hídrica, por lo que cuando la huella hídrica de un proceso, producto, productor o consumidor contribuyen a una situación insostenible dentro de un contexto geográfico determinado, cabe decir que esta huella hídrica también es insostenible (Hoekstra, 2011).

Por lo tanto, para analizar la huella hídrica de un proceso necesitamos conocer la sostenibilidad de la huella hídrica total en la zona de captación donde se localiza el proceso, así mismo, tenemos que conocer la sostenibilidad de los procesos que se involucran en la elaboración de un producto para analizar la sostenibilidad de este, y necesitamos conocer la sostenibilidad de los productos producidos o consumidos para analizar la sostenibilidad de los consumidores y productores.

Perspectiva geográfica

Los pasos para realizar el análisis de sostenibilidad son los siguientes:

1. Identificación de los criterios de sostenibilidad (ambientales, sociales y económicos)
2. Identificación de los puntos críticos (subzonas de captación específicas, períodos del año)
3. identificación y cuantificación de los impactos primarios en los puntos críticos
4. Identificación y cuantificación de los impactos secundarios en los puntos críticos

La sostenibilidad desde la perspectiva geográfica puede analizarse desde lo ambiental, social y económico, y existen criterios de sostenibilidad para cada una de estas perspectivas. Un criterio de sostenibilidad define cuando una huella hídrica deja de ser sostenible.

Sostenibilidad Ambiental:

Para que la huella sea sostenible ambientalmente la calidad del agua debe permanecer dentro de ciertos límites, donde lo más adecuado es considerar las normas de calidad ambiental vigentes. Además, los flujos de aguas superficiales y subterráneas deben permanecer dentro de unos límites comparados con la esorrentía natural. En el caso de ríos existe el caudal mínimo ecológico, que define los límites para las alteraciones de la esorrentía. Para el agua verde, las necesidades de agua de los ecosistemas terrestres definen los límites de apropiación del agua verde para uso humano.

Sostenibilidad social:

La sostenibilidad social significa que es necesario asegurar a nivel de zona de captación un suministro mínimo de agua de uso doméstico para beber, lavar y cocinar. Así mismo, se debe asegurar una asignación mínima de agua para la producción de alimentos a nivel global. Esto

quiere decir que solo la fracción del suministro de agua que queda después de satisfacer las necesidades hídricas del medio y las necesidades básicas humanas puede destinarse a bienes de “lujo”.

Sostenibilidad económica:

La sostenibilidad económica consiste en asignar y usar el agua de forma eficiente desde lo económico. Los beneficios de las huellas hídricas que resultan del uso del agua deben ser mayores a los costes totales asignados a las mismas huellas, incluyendo costes de oportunidad, externalidades y una renta de escasez. Si esto no se logra, la huella hídrica es insostenible.

Cuando la huella hídrica verde, azul o gris en una zona de captación no cumpla con uno de los criterios de sostenibilidad ambiental, social o económica, no podemos considerarla como geográficamente sostenible.

Tras identificar los puntos críticos es posible estudiar las implicaciones ambientales, sociales y económicas de forma más detallada. Distinguimos entre impactos primarios y secundarios. Los primarios se refieren a la alteración de los flujos y la calidad del agua (comparados con las condiciones naturales, sin intervención humana).

Los impactos secundarios son aquellos bienes o servicios ecológicos, sociales y económicos que se ven deteriorados en una zona de captación debido a los impactos primarios.

Criterios de sostenibilidad para identificar puntos críticos ambientales

Puntos críticos:

Son lugares y períodos del año en el que las huellas hídricas analizadas no son sostenibles. Estas huellas deben ser reducidas.

Desde el punto de vista ambiental, se crea un punto crítico cuando se violan las necesidades hídricas ambientales o cuando la contaminación sobrepasa la capacidad de asimilación de cargas contaminantes. Para obtener un índice de gravedad de un punto crítico, se puede calcular la escasez de agua verde y azul y el nivel de contaminación del agua. Cuando se sobrepasa el 100% en la escasez o contaminación del agua nos referimos a un punto crítico.

Sostenibilidad ambiental de la huella hídrica verde

Se considera un punto crítico de la huella verde cuando se sobrepasa la disponibilidad de agua verde. La disponibilidad de agua verde (DA_{verde}) en una cuenca x en un período determinado t se define de la siguiente forma:

$$DA_{verde}[x, t] = ET_{verde}[x, t] - ET_{veg}[x, t] - ET_{improd}[x, t] \left[\frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} \right]$$

Dónde:

- DA_{verde} = Disponibilidad de agua verde
- ET_{verde} = Evapotranspiración total del agua de lluvia almacenada en el suelo
- ET_{veg} = Evapotranspiración del agua del suelo reservado para la vegetación natural
- ET_{improd} = Evapotranspiración en las superficies improductivas

La variable ET_{veg} representa las necesidades de agua verde de los ecosistemas y se refiere a la cantidad de agua verde usada por la vegetación natural en áreas de la zona de captación que están reservadas a la naturaleza. Y la variable ET_{improd} se refiere a la evapotranspiración que no puede usarse en la producción agrícola.

El nivel de escasez de agua verde en una zona de captación x en un período t se define como la proporción entre el total de huellas hídricas verdes en la zona de captación y la disponibilidad de agua verde:

$$EA_{verde}[x, t] = \sum \frac{HH_{verde}[x, t]}{DA_{verde}[x, t]}$$

Este indicador indica la fracción de apropiación de los recursos de agua verde disponibles. La escasez de agua verde del 100% significa que se ha consumido la totalidad del agua verde disponible, por lo que los valores sobre 100% son insostenibles.

Sostenibilidad ambiental de la huella hídrica azul

Cuando la huella hídrica azul en un período y zona determinada excede la disponibilidad de agua azul se genera un punto crítico. La disponibilidad de agua azul se define de la siguiente forma:

$$DA_{azul}[x, t] = E_{nat}[x, t] - CME[x, t] \left[\frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} \right]$$

Dónde:

- DA_{azul} : Disponibilidad de agua azul
- E_{nat} : Escorrentía natural de la zona de captación
- CME : Caudal mínimo ecológico

Cuando la huella azul supera la disponibilidad de agua azul, se ha sobrepasado el caudal mínimo ecológico en el período y zona de captación analizada. El caudal mínimo ecológico se formula en base a la cantidad y la periodicidad de los flujos de agua que se necesitan para preservar

los ecosistemas, estuarios y el bienestar de las personas que dependen de estos ecosistemas. En este caso la huella hídrica azul es insostenible desde el punto de vista ambiental.

La escasez de agua azul en una zona de captación x y en un período t se define de la siguiente forma:

$$EA_{azul}[x, t] = \sum \frac{HH_{azul}[x, t]}{DA_{azul}[x, t]}$$

Dónde:

- EA_{azul} : Escasez de agua azul
- HH_{azul} : Huella hídrica azul
- DA_{azul} : Disponibilidad de agua azul

Al igual que con la huella hídrica verde, si se supera el 100% de escasez la huella hídrica se considera insostenible

Sostenibilidad ambiental de la huella hídrica gris

Cuando una huella hídrica gris viola las normas de la calidad ambiental en un período y zona específica genera un punto crítico, es decir, cuando se consume por completo la capacidad de asimilación de contaminantes en el agua.

Como indicador de impacto local se puede calcular el nivel de contaminación de agua, y se calcula de la siguiente forma:

$$NCA[x, t] = \sum \frac{HH_{gris}[x, t]}{E_{real}[x, t]}$$

Dónde:

- NCA: Nivel de contaminación del agua
- HH_{gris} : Huella hídrica gris
- E_{real} : Escorrentía real de la zona

Cuando el nivel de contaminación de agua supera el 100% quiere decir que se consumió completamente la capacidad de asimilación de contaminantes, por lo tanto, la huella hídrica gris es insostenible.

Criterios de sostenibilidad para identificar puntos críticos sociales

Cuando la huella hídrica total en un lugar determinado provoca que no se cubran las necesidades humanas básicas para los habitantes de esa zona se considera un punto crítico social.

Criterios de sostenibilidad para identificar puntos críticos económicos

Se considera un punto crítico económico cuando el agua no se asigna y usa de manera eficiente en cuanto a lo económico. Los beneficios de una huella hídrica que resultan del uso de agua para un fin determinado deberían superar el coste total asociado a esta huella hídrica, incluyendo externalidades, costes de oportunidad y costes de escasez del agua.

Evaluación de los impactos primarios y secundarios en los puntos críticos identificados

Identificar los puntos críticos permite saber en qué zona y período del año la escasez y contaminación del agua entran en conflicto con los criterios de sostenibilidad. Además, se conoce qué tan grave es el punto crítico, ya que, mientras mayor la escasez, mayor es el problema. Luego de localizar y conocer la gravedad de los puntos críticos se pueden evaluar los impactos primarios y secundarios de cada punto crítico, siempre y cuando esté dentro del alcance del estudio.

Las variables a tener en cuenta son la escorrentía y los niveles de agua asociados y parámetros de calidad de agua relevante al caso estudiado. Es necesario que todas las variables se comparen con un marco de referencia.

Perspectiva de proceso

Para que la huella hídrica de un proceso sea insostenible hay que considerar los siguientes criterios:

1. Contexto geográfico: la huella hídrica de un proceso es insostenible cuando el proceso se encuentra en un punto crítico
2. Características del proceso como tal: la huella hídrica de un proceso es insostenible en sí misma (independientemente del contexto geográfico) cuando esta se pueda reducir o evitar (a un coste social aceptable).

Si la huella hídrica de un proceso contribuye a generar un punto crítico, este proceso es insostenible.

Perspectiva de producto

La huella hídrica de un producto es la suma de las huellas hídricas de los procesos que se necesitan para producir el producto, por lo tanto, la sostenibilidad de un producto depende de la sostenibilidad de los procesos asociados a su elaboración.

La sostenibilidad de los componentes individuales de la huella hídrica de un producto se puede evaluar basándose en dos criterios:

1. El componente de la huella hídrica ¿está localizado en una zona de captación y en un período del año identificado como un punto crítico?

2. ¿Es la huella hídrica del proceso insostenible en sí misma? Es decir, ¿se puede evitar la huella hídrica en su totalidad o reducirse con un coste social razonable?

Este procedimiento se debe llevar a cabo de manera individual para el componente verde, el azul y el gris de la huella hídrica de un producto. Esto implica que cada componente puede ser insostenible por separado.

La conclusión final tras haber evaluado la sostenibilidad de una huella hídrica del producto se puede expresar como x% de la huella hídrica del producto es insostenible.

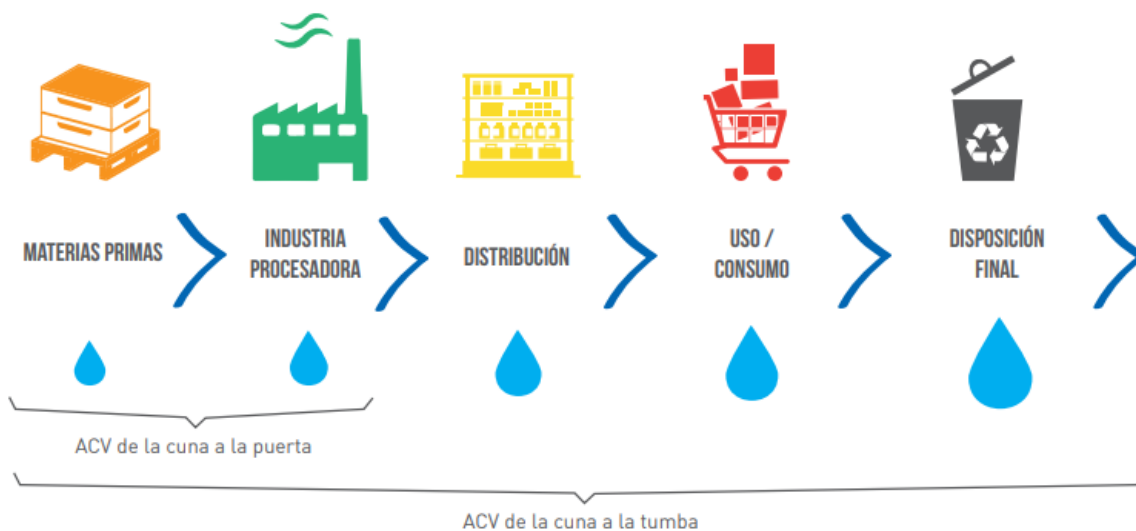
2.3 ISO 14.406: Gestión medioambiental – Huella de agua

La norma ISO 14046 de huella hídrica es una herramienta para evaluar los impactos de la huella hídrica y tiene un enfoque metodológico basado en el “análisis de ciclo de vida” (ACV) de un producto o servicio, proceso u organización. El análisis de ciclo de vida es la recopilación y evaluación de las entradas, salidas y potenciales impactos ambientales de un sistema productivo durante su ciclo de vida, es decir el análisis de las etapas del sistema, desde la adquisición de materias primas, hasta la disposición final del producto. Para la norma ISO 14.406, la huella hídrica es una métrica de los impactos ambientales relacionados con el recurso hídrico (International Organization for Standardization, 2014).

El ACV puede realizarse delimitando el alcance “desde la cuna a la puerta” o “desde la cuna a la tumba”. En el primer caso se considera desde el procesamiento de materias primas hasta la salida del producto en la puerta de la fábrica, y el segundo caso incluye además las etapas de distribución, uso/consumo de productos y la disposición final de residuos. En la **Figura 2-3** se muestra un esquema de los distintos alcances.

Figura 2-3

Esquema del enfoque de análisis de ciclo de vida en el cálculo de la huella hídrica



Nota. Adaptado de *Esquema del enfoque de análisis de ciclo de vida en el cálculo de la huella hídrica*, de Fundación Chile y Agualimpia, 2016, Manual de Aplicación para la Evaluación de Huella Hídrica Acorde a la Norma ISO 14046.

A partir del análisis de huella hídrica se pueden identificar y cuantificar los puntos clave en el uso de agua, conocidos como “hotspots”, lo que permite priorizar medidas de reducción de consumo y contaminación de agua directas, por ejemplo, en áreas específicas de una industria; o indirectas, por ejemplo, a partir de la cadena de suministros y las energías usadas.

Una evaluación de huella hídrica incorpora las etapas de objetivos y alcance, análisis de inventario y evaluación de impactos. Asimismo, en cada una de estas etapas se debe tener en cuenta el avance e interpretación de los resultados de acuerdo a los objetivos establecidos, para determinar si se debe seguir adelante o si es necesario realizar alguna modificación o incorporar nueva información.

2.3.1 Objetivos y alcance de la evaluación

Objetivos del estudio:

Para definir los objetivos y el alcance se deben responder las siguientes preguntas: ¿Cuáles son las razones para llevar a cabo el estudio? ¿Cuál es la aplicación deseada de los resultados? ¿Hacia quién están dirigidos los resultados? Es muy importante entonces, que estos aspectos queden bien definidos para que todo el procedimiento sea coherente con el propósito del estudio y que los datos, cálculos y supuestos permitan cumplir con lo que se espera del estudio.

Alcance del estudio:

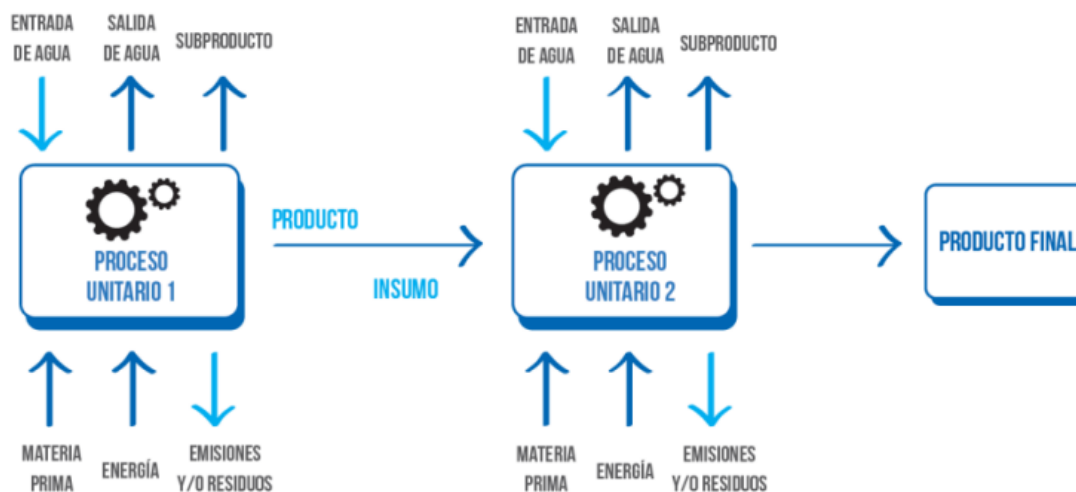
En esta fase se establece la entidad de estudio (producto específico, proceso o industria), el límite del sistema, la unidad funcional, la cobertura temporal y geográfica, los datos requeridos, los supuestos considerados, el grado de incertidumbre y la metodología de evaluación de impacto de la huella hídrica.

2.3.2 Análisis de inventario

En esta fase se cuantifican entradas y salidas relevantes o que contribuyan de manera significativa en los impactos ambientales con el uso del agua del sistema a estudiar. Como se observa en la **Figura 2-4**, en la cuantificación se consideran: entradas y salidas directas de agua; entrada de materias primas, insumos del proceso y energías; y salidas de productos y contaminantes.

Figura 2-4

Diagrama general del proceso estudiado

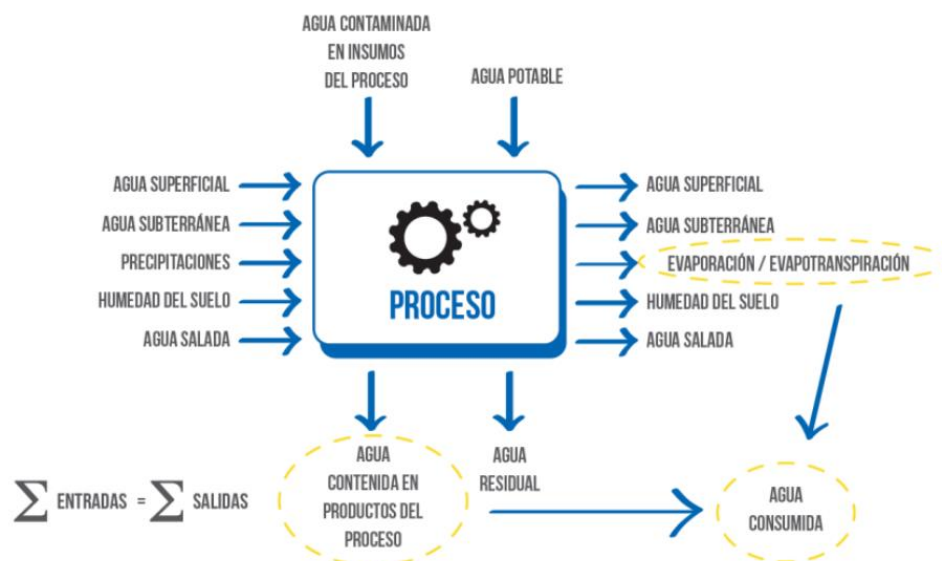


Nota. Adaptado de *Diagrama general del proceso estudiado*, de Fundación Chile y Agualimpia, 2016, Manual de Aplicación para la Evaluación de Huella Hídrica Acorde a la Norma ISO 14046.

También se realiza un balance directo del agua, donde se consideran las entradas y salidas del sistema como se muestra en la **Figura 2-5**. Los flujos horizontales son los llamados flujos elementales que corresponden a los flujos de agua desde y hacia el medio ambiente, y los flujos verticales son los flujos de la tecnosfera que corresponden a los flujos desde y hacia las actividades humanas.

Figura 2-5

Balance hídrico de un proceso



Nota. Adaptado de *Balance hídrico de un proceso*, de Fundación Chile y Agualimpia, 2016, Manual de Aplicación para la Evaluación de Huella Hídrica Acorde a la Norma ISO 14046.

Los flujos elementales deben incluir la siguiente información:

- Cantidades de agua utilizadas: en masa o volumen.
- Tipos de recursos de agua utilizados: precipitación, superficie del agua, agua de mar, agua salobre, agua subterránea, agua fósil.
- Parámetros y/o características del agua.
- Formas de uso del agua: evaporación, transpiración, integración en productos, vertido en diferentes cuencas de drenaje o en el mar, entre otros.
- Ubicación geográfica del agua utilizada o contaminada.
- Aspectos temporales del uso del agua.
- Emisiones al aire, agua y suelo que afecten la calidad del agua

Por último, los datos obtenidos en esta fase son recopilados en planillas de inventario de usos de agua, donde se incorporan los usos indirectos (consumos de insumos, energías y otros

elementos utilizados en el proceso) y uso directo (agua que se requirió para producir la cadena de suministros o energía). Ya que es complejo analizar el uso directo de agua la información se obtiene de fuentes secundarias como estudios y base de datos sobre usos de agua.

2.3.3 Evaluación de impacto

Para la evaluación de los impactos relacionados con el uso del agua se evalúa la alteración de los cuerpos de agua al extraer y/o descargar agua en volumen o calidad alterada. Para este análisis se ocupan dos tipos de indicadores de impacto, denominados de punto medio y de punto final. Los de punto medio evalúan la disponibilidad y degradación del agua a partir de indicadores como la escasez hídrica, la toxicidad humana, la ecotoxicidad, la eutrofización y/o la acidificación del agua. Por otro lado, los de punto final evalúan los impactos potenciales en la salud humana y en la calidad de los ecosistemas (terrestres y acuáticos) a partir de los resultados obtenidos de los indicadores de punto medio. La clasificación de los tipos de huella hídrica según el tipo de indicador usado se muestran en la **Tabla 2-1** (Colón y Arena, 2016):

Tabla 2-1

Categorías de impacto de la huella de agua a partir de los indicadores de punto medio y de punto final

	Disponibilidad de agua	Degradación del agua
	Punto medio	
Perfil de indicadores de punto medio	<ul style="list-style-type: none"> ● Escasez de agua ● Disponibilidad de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ● Toxicidad humana ● Ecotoxicidad ● Eutrofización

● Acidificación		
Punto final		
Salud humana	<ul style="list-style-type: none"> ● Malnutrición y/o enfermedades relacionadas con el agua 	<ul style="list-style-type: none"> ● Toxicidad humana
Ecosistemas	<ul style="list-style-type: none"> ● Ecosistemas terrestres ● Ecosistemas acuáticos 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ecotoxicidad ● Eutrofización ● Acidificación

Nota. Adaptado de *Categorías de impacto de la huella de agua a partir de los indicadores de punto medio y de punto final*, de Colón, J. y Arena, A., 2016, Guías metodológicas: análisis de ciclo de vida y huella hídrica.

Para una Evaluación de Huella de Agua en Latinoamérica se recomienda analizar las siguientes categorías de impacto y métodos de evaluación de punto medio, presentados en la siguiente **Tabla 2-2** (Martínez et al, 2016):

Tabla 2-2

Categorías de impacto y método de evaluación de punto medio recomendados para Latinoamérica

Categoría de impacto	Método de evaluación	Descripción
Escasez	Agua disponible remanente – AWARE	El factor de caracterización se basa en la relación entre la extracción de agua dulce para usos humanos y su disponibilidad total de agua en cierta región.

Disponibilidad	Huella de disponibilidad de agua	Cuantifica el consumo y contaminación de un proceso. Varía entre el valor positivo de la extracción y el valor negativo del vertimiento
Ecotoxicidad en agua dulce	USEtox	Estima la disminución de biodiversidad acuática por emisiones al aire, agua y suelo.
Eutrofización en agua dulce	ReCiPe	Evalúa el impacto en biodiversidad acuática por el incremento de nutrientes debido a emisiones en el aire, agua y suelo, usando el fósforo como sustancia de referencia.

Nota. Adaptado de *Categorías de impacto y método de evaluación de punto medio recomendados para Latinoamérica*, Martínez, A., 2016, Huella de Agua (ISO 14046) en América Latina Análisis y recomendaciones para una coherencia regional.

Por otro lado, las categorías de daño y métodos de evaluación de punto final recomendados para Latinoamérica se presentan en la **Tabla 2-3** (Martínez, 2016):

Tabla 2-3

Categorías de daño y métodos de evaluación de punto final más utilizado en Latinoamérica

Área de protección	Categoría de impacto	Método de evaluación	Descripción
Salud humana	Toxicidad humana	USEtox	Determina efectos en la salud humana basado en USEtox los efectos cancerígenos de las sustancias.

Calidad de los ecosistemas	Escasez en los ecosistemas terrestres	Consumo equivalente – Índice de estrés hídrico	Se calcula como la ponderación entre el agua consumida, el índice de estrés hídrico y un factor relacionado con la limitación del crecimiento de plantas vasculares debido a la escasez de agua.
	Eutrofización en agua dulce	ReCiPe	Obtiene un factor de daño de las especies a partir de la concentración de nutrientes.
	Ecotoxicidad en agua dulce	USEtox	Estima la disminución de la biodiversidad acuática por emisiones al aire, agua y suelo.

Nota. Adaptado de *Categorías de daño y métodos de evaluación de punto final más utilizado en Latinoamérica*, Martínez, A. 2016, Huella de Agua (ISO 14046) en América Latina Análisis y recomendaciones para una coherencia regional.

A continuación, se detallarán los métodos de evaluación de agua disponible remanente (AWARE) y de huella de disponibilidad de agua, de las categorías de impacto de punto medio de escasez y de disponibilidad, respectivamente

Método de evaluación de agua disponible (AWARE)

El método de evaluación de agua disponible representa el agua disponible relativa restante por área en una cuenca, después de que se haya satisfecho la demanda de consumo de los seres vivos y ecosistemas Se calcula a través de la siguiente expresión:

$$\frac{I}{AMD} = \frac{S}{D - C_E - C_H}$$

Dónde:

- AMD: Disponibilidad menos demandada [m^3/m^2mes]
- S: Superficie de la región o cuenca estudiada [m^2]
- D: Disponibilidad hídrica de la región o cuenca estudiada [$m^3 \cdot mes^{-1}$]
- C_E : Consumo del ecosistema [$m^3 \cdot mes^{-1}$]
- C_H : Consumo humano [$m^3 \cdot mes^{-1}$]

Luego, este valor se normaliza con el inverso del promedio mundial (AMD_{pm}^{-1}) cuyo valor es 0,0136 [$m^3 \cdot m^{-2} \cdot mes^{-1}$], entregando como resultado el factor de caracterización (WULCA, 2023):

$$FC = \frac{AMD^{-1}}{AMD_{pm}^{-1}}$$

Dónde:

- FC : Factor de caracterización [-]
- AMD : Disponibilidad menos demanda [$m^3 \cdot m^{-2} \cdot mes^{-1}$]
- AMD_{pm} : Promedio mundial de disponibilidad menos la demanda [$m^3 \cdot m^{-2} \cdot mes^{-1}$]

El factor de caracterización indica cuántas veces más o menos agua hay disponible por área en comparación al promedio mundial. Por ejemplo, si el factor de caracterización es 10 quiere decir que la región de estudio posee 10 veces menos agua disponible por área que el promedio mundial (WULCA, 2023). Este valor va de 0,1 a 100.

Para obtener el indicador de consumo equivalente de un proceso dentro de una cuenca hidrográfica, el factor de caracterización se pondera por el consumo de agua según la siguiente fórmula (Martínez, 2016):

$$I_C = FC \cdot C_a$$

Dónde:

- I_C : Indicador de consumo equivalente de un proceso
- FC : Factor de caracterización
- C_a : Consumo de agua de una actividad

Método de evaluación de huella de disponibilidad de agua

La huella de disponibilidad de agua se basa en la pérdida de funcionalidad del recurso originada por el consumo o degradación del agua. Para medir la huella de disponibilidad de agua se debe caracterizar el afluente y efluente del proceso mediante el modelado de inventario por categorías del agua. Cada categoría se define según la funcionalidad respecto a los usuarios y en términos de calidad con respecto a los parámetros de calidad de agua escogidos (Boulay et al, 2011). Cada categoría se relaciona con una fuente de agua y una calidad determinada basada en estándares nacionales e internacionales, incluyendo los siguientes parámetros (sólidos en suspensión, coliformes fecales, pH, etc.) (Boulay, 2011) Como resultado se obtienen las siguientes categorías en la **Tabla 2-4**:

Tabla 2-4

Categorías de daño y métodos de evaluación de punto final más utilizado en Latinoamérica

Calidad	1	2a	2b	2c	2d	3	4	5	Lluvia
Fuente				Superficial o Subterránea					

Nivel de calidad	Excelente	Buena	Promedio	Promedio - Tóxico	Promedio - Biológico	Pobre	Muy pobre	Inutilizable	
Contaminación	Microbiano bajo y tóxico bajo	Microbiano bajo y tóxico medio	Microbiano o medio y tóxico medio	Microbiano o bajo y tóxico	Microbiano o alto y tóxico bajo	Microbiano o alto y tóxico bajo	Microbiano o alto y tóxico alto	Otro	N/A
Doméstico 1	☐	X	X	X	X	X	X	X	☐
Doméstico 2	☐	☐	☐	X	X	X	X	X	☐
Doméstico 3	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	X	☐
Agrícola 1	☐	☐	X	☐	X	X	X	X	☐
Agrícola 2	☐	☐	☐	☐	☐	☐	X	X	☐
Pesquería	☐	X	X	X	☐	X	X	X	☐
Industria	☐	☐	☐	X	X	X	X	X	☐
Refrigeración	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	X	☐
Recreacional	☐	☐	X	☐	X	X	X	X	☐
Transporte	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Hidro	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Nota. Adaptado de *Categorías de daño y métodos de evaluación de punto final más utilizado en*

Latinoamérica, de Boulay, A.M., 2011, Categorizing water for LCA inventory. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 16(7): 639–65

Posteriormente, se desarrolla un modelado de evaluación de impactos para punto medio y punto final, el que se presenta en la **Figura 2-6**. Este ilustra cómo se utilizan las categorías de agua presentadas anteriormente para desarrollar una evaluación de impacto (Boulay, 2011).

Figura 2-6

Evaluación de impactos de punto medio y punto final del uso de agua



Nota. Adaptado de *Evaluación de impactos de punto medio y punto final del uso de agua*, de Boulay, A. M., 2011, Categorizing water for LCA inventory. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 16(7): 639–65

Para un modelado de evaluación de punto medio, los impactos se caracterizan considerando la escasez de agua local, la calidad y el tipo de recurso. Luego, se evalúa la diferencia de estrés entre el recurso retirado y liberador. Para esto es necesario conocer el volumen, la fuente y la calidad del agua que entra y sale del sistema. Finalmente, el indicador de estrés hídrico se calcula de la siguiente forma (Boulay, 2011):

$$IEH: \sum_i (\alpha_i \cdot V_{i,in}) - \sum_i (\alpha_i \cdot V_{i,out})$$

Dónde:

- IEH : Índice de estrés hídrico
- α_i : Índice de estrés de la categoría de agua
- $V_{i,in}$: Volumen de entrada de la categoría de agua
- $V_{i,out}$: Volumen de salida de la categoría de agua

El índice de estrés de la categoría de agua i (α_i) expresa el nivel de competencia entre los usuarios debido al estrés físico del recurso. Aborda la calidad, la variación estacional y distingue entre aguas superficiales y subterráneas, ya que estos dos tipos de recursos a menudo no presentan el mismo nivel de escasez en una región. Este índice (α_i) se encuentra en un rango entre 0 y 1, basado en los umbrales de estrés hídrico aceptados (Boulay, 2011). Por otro lado, si el índice de estrés hídrico entrega un valor positivo quiere decir que se consume toda el agua que se extrae o

ésta se devuelve en malas condiciones. En cambio, si el valor es negativo significa que la calidad del agua extraída es mala y se devuelve en mejores condiciones a la cuenca (Martínez, 2016).

2.3.4 Interpretación de resultados

Para la interpretación de resultados se deben evidenciar cuáles son las etapas del ciclo de vida que más contribuyen a la huella hídrica. Se debe identificar si es mayormente a partir de fuentes directas o indirectas de agua, si se debe más a la cantidad consumida o a la calidad del agua; y se deben identificar los principales impactos asociados a la huella hídrica. Se deben considerar también los controles de integridad, sensibilidad y coherencia, además de los aspectos geográficos y temporales. Finalmente, se declaran las conclusiones y limitaciones del estudio.

2.4. Indicador de impacto hídrico

El indicador de impacto hídrico (Montenegro, 2021) es un método para evaluar el impacto de una actividad productiva con respecto al contexto hidrológico local en que se sitúa. Este indicador se compone de dos variables: el uso específico de agua por área de una actividad y el agua disponible relativa restante por área en una cuenca, este último basado en el método de evaluación de agua disponible (AWARE).

El uso específico de agua evalúa cuánta agua consume una actividad a partir de la superficie de sus instalaciones. Se define de la siguiente forma:

$$U_a = \frac{C_a}{S_a}$$

Dónde:

- U_a : Uso específico de agua de una actividad [$m^3 \cdot m^{-2} \cdot mes^{-1}$]

- C_a : Consumo de agua mensual de una actividad [$m^3 \cdot mes^{-1}$]
- S_a : Superficie de las instalaciones de una actividad [m^2]

Por otro lado, la cantidad de agua disponible relativa restante por área en una cuenca se calcula a partir de la ecuación vista anteriormente:

$$\frac{I}{AMD} = \frac{S}{D - C_E - C_H}$$

El indicador de impacto hídrico se define a partir de los inversos de disponibilidad menos demanda y de uso específico de agua de una actividad según la siguiente fórmula:

$$I_H = \frac{\frac{I}{AMD}}{\frac{I}{U_a}}$$

Dónde:

- I_H : Indicador de impacto hídrico
- AMD : Disponibilidad menos demanda [$m^3 \cdot m^{-2} \cdot mes^{-1}$]
- U_a : Uso específico de agua de una actividad [$m^3 \cdot m^{-2} \cdot mes^{-1}$]

El numerador define la superficie promedio de territorio que, en esa cuenca, es abastecida por un metro cúbico de agua al mes. A mayor valor $1/AMD$ entonces existe menos agua disponible en cada subárea de la cuenca. Por otro lado, el denominador cuantifica la superficie de terreno que es cubierta por un metro cúbico de agua al mes en una actividad determinada. A mayor valor de $1/U_a$ entonces es más eficiente el uso de agua de una actividad (Montenegro, 2021). Por lo tanto, el indicador puede presentar los siguientes casos:

$0 < IH1 < 1$: La actividad ocupa menos agua que la que existe disponible en la cuenca por metro cuadrado.

$IH1 = 1$: La actividad ocupa la misma cantidad de agua que la que está disponible en la cuenca por metro cuadrado.

$IH1 > 1$: La actividad ocupa más agua que la que existe disponible en la cuenca por metro cuadrado.

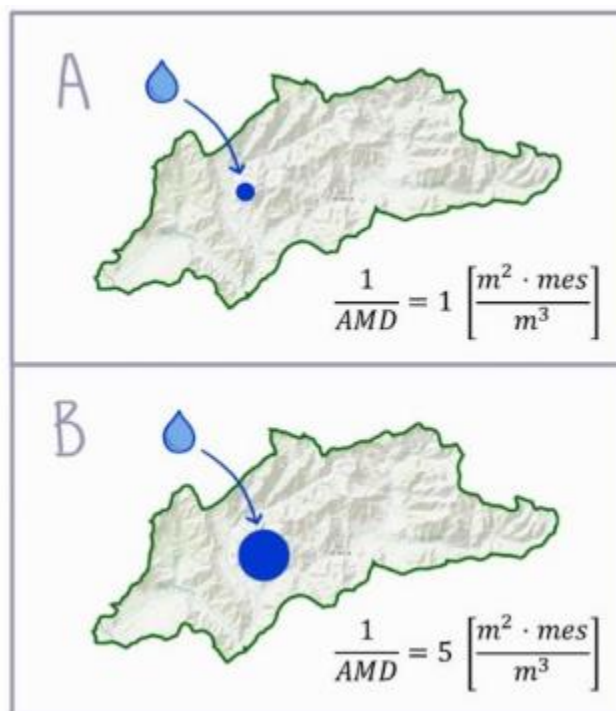
Por ejemplo, $IH1 = 0,5$ quiere decir que la actividad ocupa la mitad del agua que se encuentra disponible en la cuenca por metro cuadrado. De esta manera, sigue quedando agua disponible en esa zona. Por otra parte, si $IH1 = 3$ entonces la actividad ocupa tres veces más agua de la existe disponible en la cuenca por metro cuadrado y, en consecuencia, se estaría ocupando agua correspondiente a otra sección de la cuenca. De lo anterior, se concluye que el consumo de agua de una actividad es sostenible en el tiempo si el valor del indicador es menor o igual a uno.

El término del numerador representa el diagnóstico hídrico que posee la cuenca estudiada, donde se calcula la superficie promedio de territorio en la cual se distribuye un metro cúbico de agua al mes.

En la **Figura 2-7** se representa un escenario “A” donde el valor de $1/AMD$ es 1, es decir que 1 m³ de agua se distribuye en 1 m² de superficie al mes. Mientras que en el escenario B, la misma cantidad de agua se debe distribuir en 5 m² de superficie al mes. Es decir que, mientras mayor sea el valor de $1/AMD$, existe menos agua disponible en cada subárea de la cuenca (Montenegro, 2021).

Figura 2-7

Interpretación física de 1/AMD para una cuenca hidrográfica mostrando dos escenarios



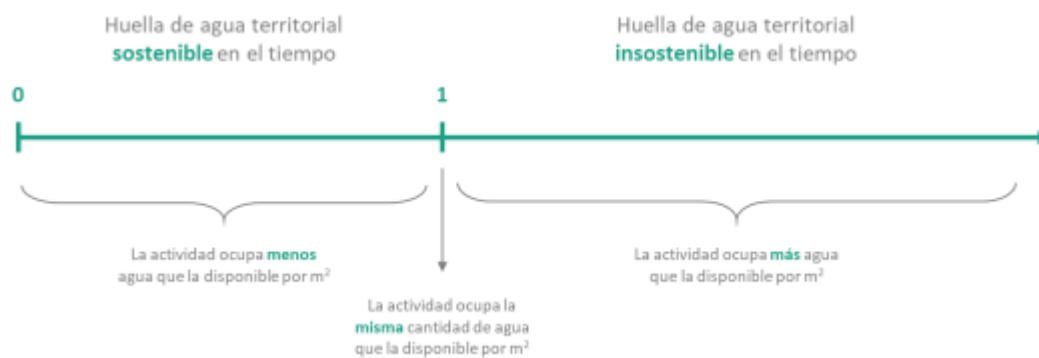
Nota. Adaptado de *Interpretación física de 1/AMD para una cuenca hidrográfica mostrando dos escenarios*, de Montenegro, A., 2021, Indicador de huella de agua territorial para Chile enfocado al sector productivo.

Por otro lado, el denominador muestra la superficie de terreno en la que se consume un metro cúbico de agua al mes debido al funcionamiento de una actividad determinada. A mayor valor de $1/U_a$, el uso de agua de una actividad es más eficiente.

Finalmente, como se muestra en la **Figura 2-8**, el resultado obtenido con el indicador de huella de agua territorial (H_t) es sostenible en el tiempo si posee un valor que se encuentra entre cero y uno. Mientras que es insostenible en el tiempo si se alcanzan valores mayores a uno; en este caso, la actividad estaría consumiendo el agua destinada a otros actores (población o ecosistemas) o el agua correspondiente a otra sección de la cuenca.

Figura 2-8

Esquema gráfico de los casos que puede tomar el resultado del indicador de huella de agua territorial



Nota. Adaptado de *Esquema gráfico de los casos que puede tomar el resultado del indicador de huella de agua territorial*, Montenegro, A., 2021, *Indicador de huella de agua territorial para Chile enfocado al sector productivo*.

3. DIAGNÓSTICO DE LA HUELLA HÍDRICA

A continuación se lleva a cabo un diagnóstico de la huella hídrica de la UTFSM basándose en la información sobre el consumo hídrico levantada por la UTFSM en su informe de huella hídrica del año 2022, donde se utiliza la metodología de la Water Footprint Network, y se aplicará la metodología del “Indicador de impacto hídrico” propuesto por Andrea Montenegro de la Universidad de Chile en el año 2021, que combina datos del uso específico de agua por área de una actividad y el agua disponible relativa restante por área en una cuenca (basado en el método ISO de evaluación de agua disponible AWARE), para evaluar la sostenibilidad en el tiempo del consumo de agua en la universidad.

3.1 Alcance

El alcance del diagnóstico se limita a la superficie actual de la universidad, usando los datos de disponibilidad de agua de la zona del río Aconcagua donde se encuentra la universidad, calculados en el estudio de Montenegro, y ocupando la fórmula de impacto hídrico propuesto en el mismo estudio (Montenegro, 2021)

El criterio para determinar que el consumo de agua de la universidad no es sostenible dependerá del valor del indicador de impacto hídrico (IH), donde, si $IH < 1$ entonces el uso del agua es sostenible en la cuenca actual. Para obtener este indicador se calculará a continuación el uso específico de agua de la universidad y la disponibilidad menos demandada (AMD) de la zona de estudio:

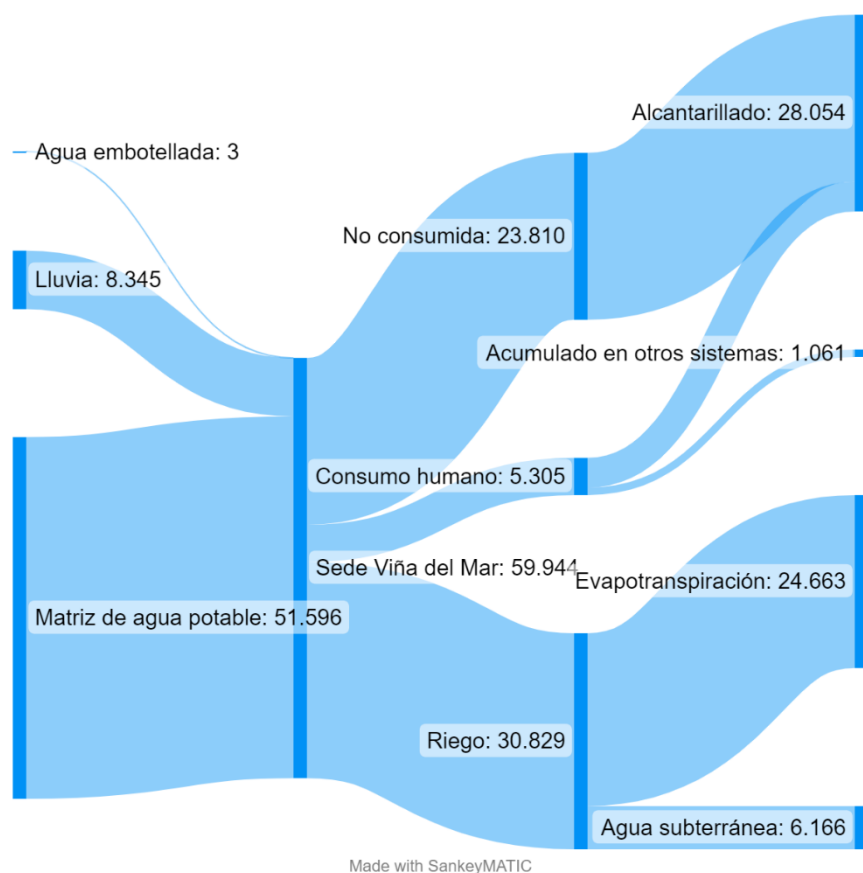
3.2 Cálculo del Uso específico de agua de la universidad:

En el informe de huella hídrica de la USM se muestra el balance hídrico de los años 2019 y 2020, donde se usarán los del año 2019 (mostrados en la **Figura 3-1**) para el cálculo ya que es un año más representativo respecto al consumo normal de agua porque durante el año 2020 el

consumo de agua se vio enormemente afectado por la pandemia y la suspensión de las actividades presenciales en la sede.

Figura 3-1

Balance hídrico en la UTFSM sede Viña del Mar en el año 2019



Nota. Adaptado de *Balance hídrico en la UTFSM sede Viña del Mar en el año 2019*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final

Para calcular el impacto debemos obtener un promedio mensual de consumo de agua y la superficie total de la instalación, por lo tanto, se deberá calcular lo siguiente:

$$\text{Promedio de consumo de agua mensual: } \frac{59.944}{12} = 4.995 \text{ [m}^3\text{/mes]}$$

En la **Tabla 3-1** se muestran las superficies totales de las distintas sedes de la UTFSM, por lo tanto, la superficie de la instalación es de 71.080 [m²].

Tabla 3-1

Distribución de superficies por instalación

Instalación	Superficie total (m²)	Superficie construida (m²)	Superficie verde (m²)	Superficie gris (m²)
Campus Valparaíso	98.726	50.111	36.546	12.069
Campus San Joaquín	44.915	36.253	6.737	1.926
Campus Vitacura	33.608	12.942	5.042	15.625
Sede Viña del Mar	71.080	24.025	26.312	20.743
Sede Concepción	78.996	18.135	29.242	31.619
Total UTFSM	327.325	141.456	103.879	81.981

Nota. Adaptado de *Distribución de superficies por instalación*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final

Para calcular el uso específico se debe dividir el consumo de agua mensual por la superficie total de la instalación de estudio. Por lo tanto, el cálculo de uso específico es el siguiente:

Superficie de la instalación: 71.080 [m²]

Uso específico:

$$U_a = \frac{4.995}{71.080} = 0,0703 \left[\frac{m^3}{m^2 * mes} \right] \frac{1}{U_a} = 14,2248 \left[\frac{m^2 * mes}{m^3} \right]$$

Esto quiere decir que por cada metro cuadrado de superficie se consumen 0,0703 m³ de agua.

3.3 Cálculo de la disponibilidad menos demandada (AMD):

Para el cálculo de la disponibilidad menos demandada se utilizará el factor de caracterización de la cuenca Aconcagua que se encuentra en la **Tabla 3-2** (Montenegro, 2021) y el promedio mundial de disponibilidad menos demandada (Water Use In Life Cycle Assessment, 2023) para saber cuánta es la disponibilidad menos demandada en la cuenca de estudio.

Tabla 3-2

Factor de caracterización AWARE en la cuenca de Río Aconcagua

Código cuenca	Cuenca	Disponibilidad de agua remanente (D _{AR}) [m ³ /mes]	Factor caracterización AWARE [-]
54	Río Aconcagua	133.217.592	0.75

Nota. Adaptado de *Factores de caracterización AWARE en cuencas de Chile*, Montenegro, A., 2021, Indicador de huella de agua territorial para Chile enfocado al sector productivo.

El Factor de caracterización (AWARE) para el Río Aconcagua es de 0,75 y el promedio mundial de disponibilidad menos la demanda es 0,0136 [m³/m²* mes], a partir de estos valores se realizan los siguientes cálculos:

$$AMD_{pm} = 0,0136 \left[\frac{m^3}{m^2 * mes} \right]$$

$$FC = \frac{AMD^{-1}}{AMD_{pm}^{-1}}$$

$$AMD^{-1} = FC * AMD_{pm}^{-1} = 0,75 * (0,0136)^{-1} = 55,1470 \left[\frac{m^2 * mes}{m^3} \right]$$

$$I_H = \frac{\frac{I}{AMD}}{\frac{I}{U_a}} = \frac{55}{14} = 3.9 [-]$$

Por lo tanto, ya que: “ $I_H > 1$ ”, la actividad ocupa más agua que la que existe disponible en la cuenca por metro cuadrado. Es decir, se ocupa casi 4 veces más de la cantidad disponible.

En conclusión, según el indicador de impacto hídrico, el consumo hídrico de la sede de Viña de la UTFSM no es sostenible, debido a las condiciones actuales de sequía en la cuenca donde se encuentra la universidad, lo que implica que la cantidad de agua que se consume actualmente, es mayor a la cantidad de agua disponible por metro cuadrado en la cuenca río Aconcagua.

3.4 Determinación de puntos críticos:

Para determinar los puntos críticos del consumo hídrico de la universidad, se hará el análisis en dos perspectivas, la perspectiva del balance hídrico y la perspectiva de huella hídrica. Para el balance hídrico, se verá en qué actividad la cantidad de agua utilizada es mayor, usando como referencia el balance hídrico de la UTFSM en el año 2019. Para el análisis de huella hídrica, se usará el desglose de las huellas hídricas, considerando las huellas directas e indirectas, dónde la huella más alta será considerada como punto crítico. La finalidad de esta determinación es ver en qué puntos se deben priorizar las mejoras.

3.4.1 Perspectiva del balance hídrico:

Según la figura x, donde se muestra cómo se desglosa el recurso hídrico que ingresa desde la lluvia y la matriz de agua potable, y se evidencia que el riego es la actividad donde se utiliza la mayor cantidad de agua que ingresa al sistema, más específicamente, consiste en aproximadamente el 51% del balance hídrico. Por lo tanto, la actividad de riego se puede considerar como punto crítico, ya que la mitad del agua que pasa por el sistema, está destinado al riego. Es por esto que, implementar medidas de reducción del consumo de agua en riego, es sumamente importante para la sostenibilidad del recurso hídrico en la universidad.

3.4.2 Perspectiva de la huella hídrica:

Desde la perspectiva de la huella hídrica, considerando las huellas indirectas y directas, podemos ver en la siguiente **Tabla 3-3** que la huella más grande corresponde a la huella gris, donde se considera la cantidad de aguas contaminadas que genera la universidad, por ejemplo, las aguas servidas. Luego se encuentra la huella indirecta, donde se encuentra la cantidad de agua que se necesita para la producción de alimentos. Y finalmente, la huella azul, donde podemos considerar el agua de riego como parte de esta huella. Por lo tanto, en orden de criticidad, el punto más crítico es la huella gris, seguido por la huella indirecta y la huella azul.

Tabla 3-3

Huella hídrica por instalación en m³

Instalación	Año	Huella azul	Huella verde	Huella gris	Huella indirecta	TOTAL
Campus Valparaíso	2019	30.310	6.734	98.067	279.351	414.462

Campus San Joaquín	2019	13.781	692	41.004	128.109	183.587
Campus Vitacura	2019	7.815	518	19.993	97.579	125.905
Sede Viña del Mar	2019	25.370	2.839	215.596	102.219	346.025
Sede Concepción	2019	17.077	13.217	14.270	66.619	111.183
TOTAL		94.354	23.999	388.931	673.877	1.181.161

Nota. Adaptado de *Huella hídrica por instalación en m³*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final

Debido a limitaciones para implementar medidas de reutilización de aguas servidas, las propuestas de mejoras serán enfocadas a disminuir el agua usada para riego y disminuir la huella indirecta asociada a los alimentos de casino.

4. PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO DE LA HUELLA HÍDRICA

A continuación, se proponen medidas para mejorar el uso del agua y llegar a un punto donde el consumo hídrico sea sostenible. En la **Tabla A-1** ubicada en el anexo, se presenta un cuadro resumen con los costos de todas las propuestas de mejoras.

4.1 Propuesta de mejora 1 – Reemplazo del pasto de la cancha de fútbol por pasto sintético

Objetivo:

Minimizar el uso de agua para riego destinado a la cancha de fútbol mediante el reemplazo del pasto natural por pasto sintético

Descripción general:

El pasto sintético está diseñado para imitar la apariencia y sensación del pasto natural y puede ser usado como una alternativa en canchas deportivas, jardines y más. Este material se elabora principalmente de tres materiales: polipropeno, polietileno y nylon. Se constituye de distintas capas, incluyendo una capa de soporte, amortiguación, drenaje, relleno (hecho de caucho) y las fibras de pasto artificial (Artificial Greens, 2018).

Beneficios del pasto sintético en canchas (Simon, 2010):

- **Excelente jugabilidad:** La mayor parte de la literatura sugiere que las diferencias entre los tipos de pasto tienen efectos minúsculos en la jugabilidad y, cuando hay diferencias, el pasto sintético es igual o superior al pasto natural debido a su mayor consistencia.
- **Disponibilidad para todo clima:** El pasto sintético se puede usar en todo clima, incluyendo nieve y lluvia gracias a su sistema de drenaje, sin embargo, el alto calor puede hacer que la superficie sea incómoda para jugar. Este obstáculo no se compara al grado en

el que el pasto natural se ve comprometido durante la lluvia y nieve. Por lo tanto, teniendo en cuenta el clima, el pasto sintético tiene una mayor disponibilidad que su contraparte.

- **Más horas de juego:** El pasto sintético es de rápida instalación y puede ser usado pocos días después de ser instalado, a diferencia del pasto natural que puede tomar semanas en convertirse lo suficientemente robusto para su uso. Estudios sugieren que el promedio de horas de jugabilidad al año (tres temporadas) para césped sintético varía entre 2000 y 3000 horas mientras que el césped natural provee entre 300 y 816 horas de jugabilidad en el mismo tiempo. Esto se debe a la influencia del clima y a que el pasto natural necesita tiempo de “descanso” para crecer.
- **Mantenición reducida:** El valor de un campo puede ser determinado por su disponibilidad y por la cantidad de mantenimiento que requiere. En general, el pasto natural requiere más actividades que el pasto sintético como podado, regado, fertilización y aireación para asegurar su mantención.
- **Inversión rentable:** El campo sintético asegura cerca de 3000 horas de juego al año, por lo que se necesitan entre tres o cuatro campos de pasto natural para aguantar el mismo uso. Debido a su consistente disponibilidad, un campo sintético puede ser una fuente confiable de ingresos por alquiler. El costo total de propiedad durante un período de diez años es 10% - 20% menos que un campo de césped natural, mientras que 70% o incluso 80% menos en función del costo por uso.
- **Aplicación generalmente segura:** Numerosas investigaciones han apuntado a la conclusión de que estos campos resultan en poca o ninguna exposición a sustancias tóxicas. Las superficies que ocupan relleno de caucho como las canchas de pasto sintético,

aunque contenga componentes potencialmente tóxicos para los humanos, no proveen oportunidad de niveles de exposición realmente peligrosos en condiciones normales.

- **Menos lesiones:** Se han realizado numerosos estudios para evaluar la probabilidad de lesiones en césped natural y césped sintético. Un estudio de Meyers (2010) muestra que la superficie sintética, FieldTurf, es más segura para jugar que el campo de pasto natural. FieldTurf también tuvo tasas de lesiones significativamente más bajas que el césped natural cuando se comparó el tipo de juego o evento, el grado de lesión o varias condiciones y temperaturas del campo. Además, no se encontraron diferencias significativas en los traumatismos de cabeza, rodilla u hombro entre las dos superficies de juego.
- **Amistoso con el medio ambiente:** En general, los impactos ambientales del césped natural son más complejos que los del césped sintético. Esto se debe en gran parte al hecho de que el césped natural requiere la adición continua de insumos para mantener la salud de un campo. Estas prácticas se basan en recursos escasos y tienen el potencial de afectar los ecosistemas circundantes. Además, el mantenimiento del césped está asociado al uso de grandes cantidades de combustible, para cortar el césped a la longitud adecuada.

Riesgos del pasto sintético en canchas:

Si bien el pasto sintético presenta muchas ventajas frente al pasto natural, este no está libre de riesgos. Como ejemplo dos estudios (Williams, 2012) (Ekstrand, 2006) encontraron que en canchas de pasto sintético aumenta el riesgo de lesiones en el tobillo y aumenta el riesgo de quemaduras por fricción. Otro factor a considerar, es el aumento de temperatura en el ambiente que puede provocar el pasto sintético, por ejemplo, puede haber variaciones hasta en 15 grados

centígrados en 2 canchas distintas de un mismo sector, dependiendo de si el pasto es natural o artificial (Lanza, 2018), lo que puede aumentar el riesgo de estrés térmico en las personas.

Los problemas ambientales relacionados con el césped sintético giran principalmente en torno al uso y eliminación de materiales. Muchos ven el uso de productos de desecho reciclados para el relleno del campo como uno de los principales beneficios de los sistemas artificiales. Sin embargo, tales sistemas también requieren el uso de muchos materiales vírgenes. Como tal, las mayores emisiones de gases de efecto invernadero de cualquiera de los dos tipos de sistemas son los impactos asociados con la producción de componentes de césped sintético.

Impacto en la huella hídrica:

La gran ventaja del pasto sintético respecto al recurso hídrico es que este no requiere regado para su mantenimiento, por lo que toda el agua que era destinada al riego de la cancha estaría siendo “ahorrada” y el aporte hacia la huella hídrica por parte de la cancha sería casi nula.

Para calcular el consumo anual de la cancha de pasto, se ocuparán los datos de la siguiente tabla, donde la cancha se considerará como superficie verde y se tomará el consumo de agua de riego del año 2019 como referencia.

La superficie de la cancha es de 4.500 m². La superficie verde total es de 36.546 m² y el agua usada para riego corresponde a 30.829 m³. Entonces, el agua consumida para riego de la cancha se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Consumo anual cancha: } \frac{30.829}{36.546} * 4.500 = 3.796 [m^3]$$

Por lo tanto, la disminución del consumo de agua corresponde a un 12,3% del total del agua para riego (\$4.534.208 al año) y al 6,3% del balance hídrico total.

Evaluación económica:

Los gastos para instalar una cancha de pasto sintético constan de la materia prima (pasto sintético), la preparación del terreno y la instalación de la cancha, por lo tanto, se estiman los siguientes costos basados en el análisis de proveedores.

El costo de esta propuesta depende de las dimensiones de la cancha, del costo del pasto sintético, la preparación del terreno y el costo de transporte de los materiales. Tomando como referencia al proveedor Fieldgrass, y, considerando que la cancha tiene una dimensión de 4.500 m² y se necesitan 8 transportes para los materiales, los costos son los siguientes (**Tabla 4-1**):

Tabla 4-1

Ejemplo de cotización para la instalación de cancha de pasto sintético

Ítem	Costo unitario	Total
Pasto sintético	\$15.500	\$69.750.000
Preparación del terreno	\$8.000	\$36.000.000
Fletes	\$2.000.000	\$2.000.000
Total		\$107.750.000

Nota. Estos datos son referenciales, obtenidos a través de una cotización por parte del autor el año 2023.

Actividades:

- **Definir alcance:** En esta etapa hay que definir el presupuesto y cuándo se desea realizar la

instalación. Idealmente la instalación debiese ser en un período donde la cancha no tenga uso y en verano, que es el período donde se consume más agua.

- **Cotizar proveedores:** En esta parte se evalúan los proveedores según la factibilidad técnica y económica de la instalación.
- **Contratar servicio:** El siguiente paso a la cotización es la contratación del servicio con el proveedor que se estime conveniente según el presupuesto designado.
- **Instalar cancha:** En esta etapa se lleva a cabo la instalación del pasto sintético, lo que tiene una duración de menos de una semana según el proveedor.
- **Realizar Mantención:** Se debe gestionar la mantención de la cancha según las indicaciones del proveedor.

4.2 Propuesta de mejora 2 - Reemplazo de jardines verdes por jardines secos

Objetivos:

Disminuir el consumo del agua por riego implementando jardines secos

Descripción:

La implementación de los llamados “jardines secos” son una buena estrategia para disminuir el uso de agua para riego debido a que las plantas que se usan para estos jardines son plantas que requieren poca cantidad de agua para vivir, lo que los vuelve un recurso eficiente hídricamente para embellecer los jardines (Hidalgo, 2020). Como ejemplos de implementación de jardines secos podemos encontrar la plantación de suculentas (**Figura 4-1**), plantación de plantas perennes tolerantes a la sequía (**Figura 4-2**) y medidas como utilizar gravilla para crear espacio en el jardín (**Figura 4-3**) (Buiano, 2022).

Figura 4-1

Ejemplo de suculenta en un jardín



Nota. Adaptado de *Ejemplo de suculenta en un jardín*, de Getty Images, (s.f), 10 Xeriscaping Ideas That Will Make Your Garden More Hands-Off and Sustainable.

<https://www.marthastewart.com/8336571/xeriscaping-ideas>

Figura 4-2

Ejemplos de plantas perennes tolerantes a la sequía en un jardín



Nota. Adaptado de *Ejemplos de plantas perennes tolerantes a la sequía en un jardín*, de Eppin, J., (s.f), 10 Xeriscaping Ideas That Will Make Your Garden More Hands-Off and Sustainable.

<https://www.marthastewart.com/8336571/xeriscaping-ideas>

Figura 4-3

Utilización de gravilla para espacios en un jardín



Nota. Adaptado de *Utilización de gravilla para espacios en un jardín*, de Nichols, C., (s.f), 10 Xeriscaping Ideas That Will Make Your Garden More Hands-Off and Sustainable.

<https://www.marthastewart.com/8336571/xeriscaping-ideas>

Beneficios de los jardines secos:

- **Ahorro de agua:** Ya que las plantas usadas en estos jardines requieren menos agua para su cuidado se puede regar menos lo que se traduce en un ahorro de agua y disminución en la huella hídrica de la universidad. Los jardines sustentables consideran entre un 60% y 70% de ahorro en agua (Hidalgo, 2020).
- **Mantener valor paisajístico:** No sólo consumen menos agua, también tienen un impacto positivo en el valor paisajístico de los jardines en la universidad, y da la oportunidad de implementar nuevos jardines (Hidalgo, 2020).

Impacto en la huella hídrica:

Para evaluar el impacto del jardín seco sobre la huella hídrica, se calculará el consumo hídrico correspondiente a las superficies verdes de la sede de viña del mar, utilizando los siguientes datos tomando en cuenta los valores de huella hídrica del año 2019 representados en la **Tabla 3-1** y **Tabla 4-2:**

Tabla 4-2

Indicadores de la huella hídrica UTFSM

Instalación	2019		2020	
	Huella por superficie construida (m ³ /m ²)	Huella por superficie verde (m ³ /m ²)	Huella por superficie construida (m ³ /m ²)	Huella por superficie verde (m ³ /m ²)

Campus Valparaíso	8	11	2	3
Campus San Joaquín	5	27	2	9
Campus Vitacura	10	25	4	10
Sede Viña del Mar	14	13	9	8
Sede Concepción	6	4	3	2
TOTAL	13	18	5	7

Nota. Adaptado de Indicadores de la huella hídrica UTFSM, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

En el caso de la Sede Viña del Mar, la huella hídrica de su superficie verde se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Huella hídrica superficie verde} = 26.312 \text{ [m}^2\text{]} * 13 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \right] = 342.056 \text{ m}^3 \text{ de agua al año}$$

Si reemplazamos un metro cuadrado de superficie verde por un jardín seco, se puede llegar a disminuir la huella a 5.2 (m³/m²). Por lo tanto, por cada 10 m² de jardín verde reemplazado por jardín seco, la disminución de la huella hídrica sería de 52 m³ de agua al año (\$62.113), es decir un 0,09% del balance hídrico total aproximadamente.

Evaluación económica:

Según cotizaciones por parte del autor, el costo de jardinería para implementar un jardín seco puede variar entre los \$20.000 y \$100.000 CLP por metro cuadrado dependiendo si solamente se deben plantar especies o si además debe haber una preparación de terreno, sistema de riego, mantención, entre otras cosas. Por lo tanto, se supondrá un costo de \$60.000 por metro cuadrado en un área de 10 metros cuadrados, es decir, esta implementación tendría un costo de \$600.000.

Actividades:

- **Definir alcance:** En esta etapa se debe definir el área en donde se implementará el jardín seco. Para que esta medida aporte en la reducción de la huella hídrica, el lugar definido debe ser un lugar donde previamente se regaba para posteriormente verificar que se consume menos agua. Además de definir el lugar, se deberá definir el presupuesto y el plazo para la implementación de la medida.
- **Cotizar jardín:** En este punto se deberá cotizar el servicio de jardinería que incluya la preparación del terreno, las plantas que se utilizarán y la plantación del jardín.
- **Contratación de servicio:** Se sugiere contratar un servicio de jardinería que incluya la preparación de terreno, las especies de planta, plantación y mantenimiento del jardín seco.
- **Plantar jardín seco:** En esta etapa ocurre la implementación del jardín seco por parte de la empresa contratada.
- **Evaluar rendimiento hídrico:** Para evaluar el rendimiento del jardín seco se propone medir la cantidad de agua que se utiliza para mantener el jardín y compararla con la huella hídrica correspondiente a las superficies verdes evaluadas en el informe de huella hídrica elaborado por la UTFSM. Si la huella hídrica en el punto de jardín seco es menor al promedio, entonces el jardín seco tiene un impacto positivo sobre la huella hídrica de la universidad.

4.3 Propuesta de mejora 3: Reemplazo de elementos cárnicos en las comidas del casino por proteínas alternativas**Objetivos:**

Disminuir la huella de agua asociada a los productos cárnicos en el menú del casino a través de su reemplazo por proteínas vegetales.

Descripción:

El reemplazo de elementos cárnicos en el menú del casino busca disminuir la huella hídrica de la universidad disminuyendo la huella indirecta que aportan los elementos cárnicos en la comida, a través de la gestión en la programación del menú de comidas, implementando días donde se sirvan platos que no necesariamente llevan carne o que, en su defecto, se reemplace la carne roja por alternativas vegetales.

Beneficios de la proteína animal:

La proteína animal también tiene algunos beneficios para la salud. Las personas que comieron fuentes bajas en grasa de proteína animal, como aves y pescado, en lugar de carne roja, tuvieron:

- Menor riesgo de diabetes tipo 2
- Menor riesgo de enfermedades del corazón
- Menor riesgo de cáncer colorrectal, de estómago, de páncreas y de próstata
- Mejor control de peso

Beneficios de reducir el consumo de carne animal y su reemplazo por proteínas vegetales:

- **Disminuye el riesgo de diabetes tipo 2:** Las personas que siguen dietas basadas en plantas tienen niveles más bajos de diabetes tipo 2 que las personas que comen proteína animal. Las personas con dietas basadas en plantas también tienen menos probabilidades de tener

sobrepeso. Pero el riesgo reducido de diabetes tipo 2 se mantuvo incluso entre personas del mismo peso (McMacken et al, 2017).

- **Disminuye el riesgo de cáncer:** Comer una dieta rica en alimentos vegetales disminuye el riesgo de cáncer. Los fitoquímicos son sustancias que se encuentran en las plantas y que pueden ayudar a prevenir el cáncer. Las dietas ricas en fibra también pueden ayudarlo a controlar su peso y proteger su salud intestinal. La obesidad es un factor de riesgo para muchas enfermedades (American Institute for Cancer Research, 2023).
- **Disminuye riesgo de enfermedades cardíacas:** Una revisión de ocho estudios encontró que las personas que seguían una dieta vegana o vegetariana tenían un 30 % menos de probabilidades de morir de una cardiopatía isquémica que las personas que comían carne. Las dietas basadas en plantas son más bajas en grasas saturadas, hierro y hormonas. (Jabri et al, 2021)
- **Disminuye el riesgo de un accidente cerebrovascular:** Una dieta saludable basada en plantas puede disminuir el riesgo de sufrir un accidente cerebrovascular en un 10 %. Una dieta saludable consiste en muchas verduras de hoja verde, cereales integrales y legumbres, y pocos cereales refinados y azúcares añadidos (Baden et al, 2021).

Riesgos de la proteína animal:

Un estudio de más de 100,000 personas ha demostrado que comer carne roja procesada y sin procesar se ha relacionado con una vida útil más corta. Comer una porción adicional de carne roja sin procesar cada día aumenta el riesgo de muerte en un 13 %. Comer una porción adicional de carne roja procesada aumenta el riesgo de muerte en un 20 %. (Pan et al, 2012)

Impacto en la huella hídrica

Como se muestra en la **Tabla 4-4**, la carne de vacuno tiene una huella hídrica promedio global más grande entre los tipos de carne más comunes en cocina, por lo que simplemente variar el tipo de carne, de vacuno a cerdo, por ejemplo, puede disminuir el impacto en la huella hídrica asociada a los alimentos.

Tabla 4-4

Huella hídrica promedio global según tipo de carne

Estudio	Tipo de carne	Huella hídrica promedio global
Mekonnen, M. y Hoekstra, A. (2012)	Vacuno	15400 litro/kg
Mekonnen, M. y Hoekstra, A. (2012)	Pollo	4330 litro/kg
Mekonnen, M. y Hoekstra, A. (2012)	Cerdo	6000 litro/kg
Yuan et al. (2017)	Pescado	1490 litros/kg

En las tablas siguientes (**Tabla 4-5**, **Tabla 4-6** y **Tabla 4-7**) se muestra el detalle de las raciones diarias, huella semanal por tipo de alimento, huella hídrica por menú y porcentaje de consumo por menú. Con esta información se calculará el impacto en la huella hídrica cuando se intercambia la proteína animal por la proteína vegetal.

Tabla 4-5

Almuerzos por casino UTFSM

Sede o Campus	Raciones diarias (2019)	% comensales respecto al total de alumnos y funcionarios
Sede Concepción	358	13,43%
Sede Viña del Mar	594	14,62%
Campus Valparaíso	2065	26,40%

Campus San Joaquín	947	23,76%
Campus Vitacura	586	26,23%

Nota. Adaptado de *Almuerzos por casino UTFSM*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

Tabla 4-6

Huella por tipo de alimento servido en cada menú

Tipo de menú	Alimento	Huella semanal por tipo (m³)
Común	Sopa	0,05
	Jugo	0,19
	Pan	0,35
	Postre	0,31
	Ensalada	0,07
	Proteína general	2,90
Vegetariano	Acompañamiento general	0,56
	Proteína general	1,34
Hipocalórico	Acompañamiento general	0,57
	Proteína general	3,20
	Ensalada	0,18

Nota. Adaptado de *Huella por tipo de alimento servido en cada menú*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

Tabla 4-7

Huella por tipo de menú

Resumen	Proporción de consumos por menú	Huella hídrica por menú (m³)	Aporte huella por ración (m³)
Menú Común	53%	0,89	0,47
Menú Hipocalórico	29%	0,78	0,23
Menú Vegetariano	18%	0,58	0,10
Huella estimada por ración representativo (m ³)			0,80

Nota. Adaptado de *Huella por tipo de menú*, de Universidad Técnica Federico Santa María, 2022, Estudio de huella hídrica - Estudio final.

Para evaluar el impacto en la huella hídrica al implementar 1 día al mes donde no se sirvan elementos cárnicos en el menú, se reemplazará el valor de la huella semanal de la proteína general en el menú común (2,9 m³), por el valor de las proteínas correspondientes al menú vegetariano (1,34) lo que reduce la huella hídrica del menú común al valor del menú vegetariano. Usando estos valores podemos calcular cómo cambia la huella hídrica entre un día normal versus un día donde se reemplacen los elementos cárnicos. Durante un día normal podemos estimar que la huella hídrica es de 287 m³, mientras que en un día sin carne la huella hídrica sería de 228 m³, lo que significa una reducción de un 20%. Por lo tanto, si se implementara un día al mes sin carne, al año se estaría disminuyendo la huella hídrica en 708 m³ (\$845.684), y si se implementara semanalmente esto aumentaría a 2.832 m³ (\$3.382.739) de agua, correspondiendo a un 0,7% y a un 2,7% de la huella hídrica indirecta, respectivamente.

Evaluación económica:

Los costos asociados al cambio de menú corresponden a los costos de la materia prima, en este caso el reemplazo de la carne roja por proteínas alternativas. Ya que en el mercado el costo de las proteínas alternativas tiende a ser más bajo y eficiente en su relación de costo y cantidad, se

considera que reemplazar los productos cárnicos tiene un costo neto 0. Sin embargo, la disminución de la huella hídrica indirecta en este caso, no se traduciría en un ahorro económico, ya que no se ve ligado al consumo directo del agua, a diferencia del riego.

Actividades:

- **Definir alcance:** En este punto se definen plazos, presupuestos, responsables.
- **Definir estrategia:** Se propone definir una estrategia en la que se dediquen ciertos días de la semana o mes donde no se sirva carne animal. Esto puede ir acompañado de información pertinente al cuidado del agua y de la huella hídrica de los productos que se consumen, así no solo se estaría disminuyendo la huella hídrica, también se estaría concientizando a las personas sobre información relevante hoy en día sobre sustentabilidad y cuidado del medio ambiente.
- **Implementar actividad:** En este punto se llevan a cabo las medidas definidas en la estrategia.
- **Evaluar rendimiento:** Finalmente se podrá evaluar el rendimiento a través de encuestas de satisfacción a las personas que consumen los menús del casino.

4.4 Propuesta de mejora 4 – Instalación de sistema de riego inteligente

Objetivo:

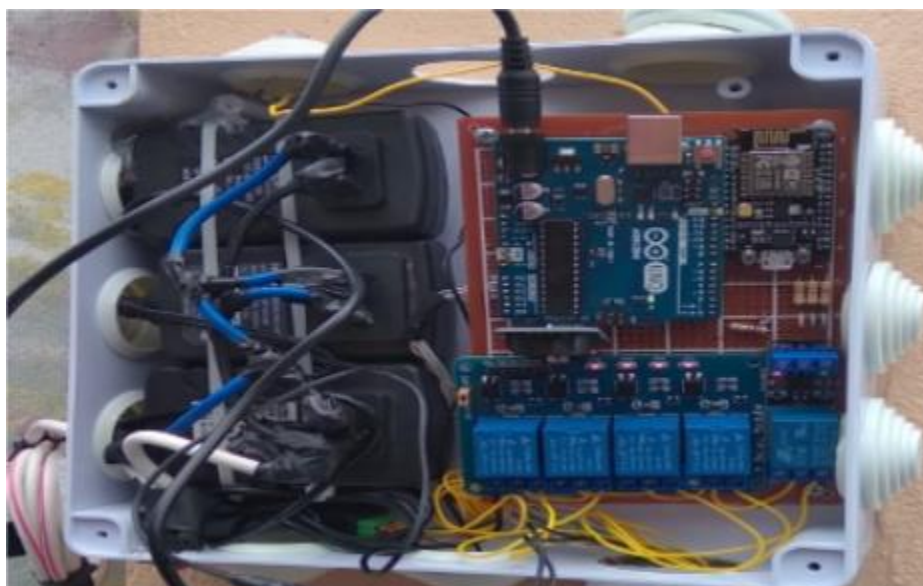
Disminuir el consumo de agua para riego mediante la instalación de un sistema inteligente de mayor eficiencia hídrica.

Descripción:

Una forma de disminuir el uso de agua para riego es aumentar la eficiencia hídrica de este proceso mediante la implementación de tecnologías de última generación, como los que se muestran en la **Figura 4-4**, que se especializan en mejorar los sistemas de riego por aspersores mediante el análisis de humedad, temperatura a través de sensores y el uso de controladores, relés y electroválvulas, por ejemplo, como se muestra en la **Figura 4-5**.

Figura 4-4

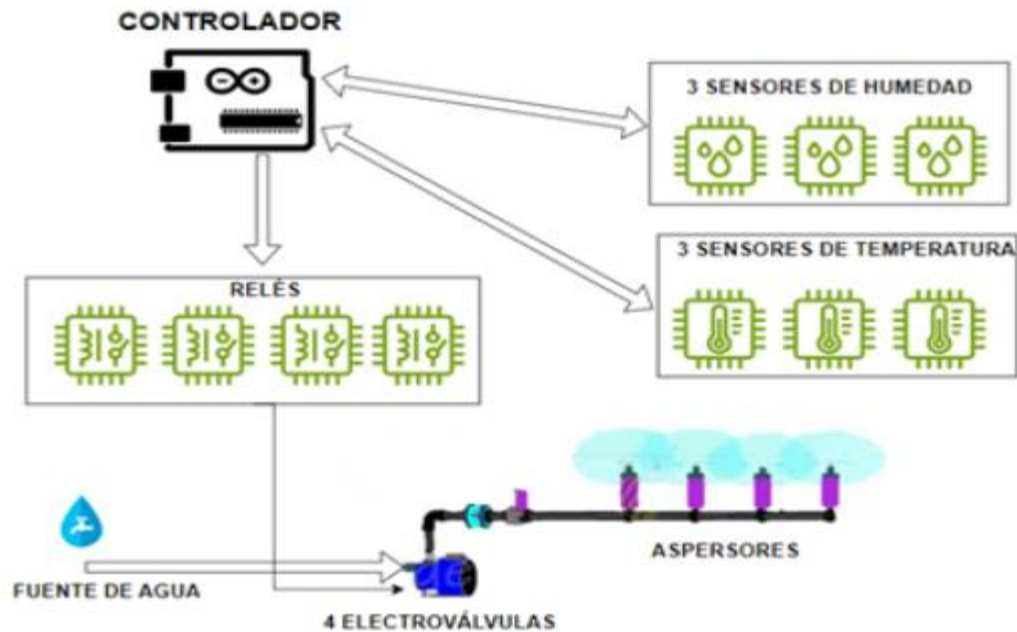
Implementación de un sistema de riego inteligente



Nota. Adaptado de *Implementación de un sistema de riego inteligente*, de Jaramillo, D., 2023, Sistema de riego inteligente para el mantenimiento de áreas verdes en una institución educativa. Revista Científica Y Tecnológica UPSE, 10(2), 50 - 63.

Figura 4-5

Esquema general de un sistema de riego inteligente



Nota. Adaptado de *Esquema general de un sistema de riego inteligente*, de Jaramillo, D., 2023, Sistema de riego inteligente para el mantenimiento de áreas verdes en una institución educativa. Revista Científica Y Tecnológica UPSE, 10(2), 50 - 63.

Beneficios de los sistemas de riego inteligente:

La diferencia de los sistemas de riego inteligentes con respecto a los sistemas de riego por temporizadores es que los sistemas inteligentes usan sensores para obtener datos como la humedad del suelo y la temperatura para programar y automatizar el riego más eficiente posible según las condiciones del momento. El uso de riego inteligente puede disminuir el consumo de agua para riego hasta en un 50%, y promover un crecimiento saludable del césped reduciendo la competencia de las malezas (Jaramillo et al, 2023).

Impacto en la huella hídrica:

Si se reemplazara el sistema de riego por temporizador por un sistema de riego inteligente en un área de 25 m², se pueden ahorrar hasta 21 m³ de agua al año aproximadamente, y si se implementa en la totalidad de la superficie verde (36.546 m²), de los 30.829 m³ de agua destinados al riego en un año (2019), se podrían ahorrar hasta 15.414 m³ de agua (\$18.411.560), es decir, se podría disminuir el balance hídrico de la universidad en un 25,7% al implementar riego inteligente en toda la superficie verde que se riega actualmente (basado en los datos de la **Figura 3-1**).

Evaluación económica:

Esta propuesta requiere una inversión inicial que depende del precio de los componentes necesarios para el sistema automático. Los componentes usados en *Sistema de riego inteligente para el mantenimiento de áreas verdes en una institución educativa* (Jaramillo, 2023), para una superficie de 25 m² tuvieron un costo total de 259 dólares, y corresponden a los siguientes artículos (**Tabla 4-8**):

Tabla 4-8

Presupuesto del proyecto en dólares

Artículo	Cantidad	Precio unitario (USD)	TOTAL
Arduino UNO R3	1	\$18.00	\$18.00
Sensor de humedad capacitivo	3	\$5.00	\$15.00
Sensor DS18B20	3	\$4.00	\$12.00
Módulo NodeMCU v2 ESP8266	1	\$13.50	\$13.50
Módulo reloj DS3231	1	\$8.00	\$8.00
Módulo relay 4 canales	1	\$8.50	\$8.50
Electroválvula con solenoides 24VAC	4	\$46.00	\$184.00
TOTAL			\$259.00

Nota. Adaptado de *Presupuesto del proyecto*, de Jaramillo, D., 2023, Sistema de riego inteligente para el mantenimiento de áreas verdes en una institución educativa.

El componente más costoso es la electroválvula con solenoide, un dispositivo que utiliza un solenoide para abrir y cerrar un orificio en una tubería o conducto para regular el flujo de agua destinada al riego (Suárez et al, 2018). Por esto, el costo de la implementación variaría según la cantidad de este componente que se necesita para implementar el sistema en toda el área de riego. Ya que en este sistema se puede expandir su alcance instalando más componentes, se puede partir implementando el sistema en un área acotada de 25 m², con una inversión inicial de \$259 USD, que se aproximarán a 250.000 pesos chilenos para efectos de este trabajo, y continuar sumando componentes hasta poder implementar el riego inteligente en la totalidad de las superficies verdes que se riegan.

Actividades:

- 1. Definir alcance:** En esta etapa se debe definir el área en donde implementar el sistema de riego, el presupuesto para los componentes, definir responsables, tiempos de ejecución y evaluación de rendimiento.
- 2. Cotización:** La cotización debe contemplar todos los elementos necesarios para el sistema de riego y la mano de obra en caso de que se contrate a alguien externo para la programación e instalación del sistema.
- 3. Gestionar instalación:** En este punto se programa la instalación y la puesta en marcha del sistema de riego.

- 4. Evaluar rendimiento:** Ya que el sistema de riego comprende componentes que miden los niveles de humedad, el rendimiento se puede evaluar durante todas las etapas, por lo tanto se puede evaluar el rendimiento de forma periódica y permanente.

4.5 Carta Gantt

A continuación, se presenta una **Carta Gantt** para la implementación de las propuestas en el año 2025, donde se propone que se implemente una medida por trimestre, dividiendo el año en 4 partes.

Carta Gantt

Cronograma para la implementación de las propuestas el año 2025

TAREA IDENTIFICACIÓN	TAREA TÍTULO	PROPUESTA 1				PROPUESTA 2				Propuesta 3				Propuesta 4			
		Enero	Febrero	Marzo		Abril	Mayo	Junio		Julio	Agosto	Septiembre		Octubre	Noviembre	Diciembre	
1	Propuesta 1 - Cancha de pasto sintético																
1.1	Definir alcance	■															
1.2	Cotización		■														
1.3	Agendar instalación			■													
1.4	Instalación de pasto sintético				■												
1.5	Mantenimiento anual					■											
2	Propuesta 2 - Jardines secos																
2.1	Definir alcance					■											
2.2	Cotizar plantas y jardinería						■										
2.3	Agendar jardinería							■									
2.4	Instalación de jardín								■								
2.5	Mantenimiento anual									■							
3	Propuesta 3 - Sistema de regado inteligente																
3.1	Definir alcance									■							
3.2	Diseñar sistema										■						
3.3	Instalación de sistema											■					
3.4	Evaluación de rendimiento												■				
3.5	Mantenimiento													■			
4	Propuesta 4 - Reemplazo de productos cárnicos por proteínas vegetales																
4.1	Definir alcance														■		
4.2	Definir estrategia/campaña															■	
4.3	Implementación															■	
4.4	Evaluación de rendimiento															■	

4.6 Discusión

Ya que el recurso hídrico es fundamental para el soporte de la vida y para las actividades humanas, es sumamente importante la buena gestión de este para preservar el agua, sobre todo por las sequías que se proyectan en Chile. Parte de la buena gestión no es solo evaluar el estado del

consumo hídrico y la huella hídrica, si no que, también es importante implementar mejoras y promover las buenas prácticas dirigidas a la sustentabilidad.

Para mejorar el rendimiento hídrico hay que entender que en todo proceso, en una empresa o institución, puede tener asociado a él un consumo del recurso hídrico de manera directa o indirecta, por lo que con mejorar el rendimiento hídrico en al menos un aspecto, ya se estaría logrando un impacto positivo en la huella hídrica. Esto propone el desafío de ver de qué formas se puede disminuir la huella hídrica en los distintos procesos, con la mentalidad de que todo aporte da un paso en el camino hacia la sustentabilidad, por más pequeño que sea el cambio.

Dentro de los aspectos que se pueden mejorar, el más evidente a primera vista es el riego, por lo que el reducir la cantidad de agua necesaria para regar, a través de la implementación de pasto sintético, jardines secos y sistemas de riego inteligente, son medidas que pueden ser efectivas en reducir de manera significativa la huella hídrica. En segunda instancia, se puede disminuir la huella indirecta de distintas formas, por ejemplo, cambiando insumos de un tipo por otras alternativas que tengan una menor huella hídrica asociada a su producción y concientizando a las personas en la importancia de cuidar el recurso hídrico, es por esto que se plantea la idea de reemplazar productos cárnicos en los menú de comida en la universidad acompañado de una campaña de concientización, de esta forma se espera disminuir la huella hídrica indirecta no sólo a través de cambiar el tipo de alimento, sino que también, el concientizar a las personas también puede disminuir la huella indirecta, ya que una persona que usa el agua de manera responsable va a tener una influencia positiva en el cambio hacia una cultura sustentable.

Otro ámbito a considerar es el impacto económico, porque toda medida a implementar tiene asociado un costo, pero también hay que tener en cuenta que el ahorro del recurso hídrico se

traduce en una disminución del costo de consumo. Es por esto que hay que ver la implementación de medidas de este tipo como una inversión a mediano y largo plazo, ya que, en teoría, el costo de la inversión inicial se vería compensado por la disminución del costo del agua en el curso de 5 a 10 años dependiendo de la medida, y después de esto el impacto es netamente positivo en lo económico y en el ámbito medioambiental.

CONCLUSIÓN

Con respecto a los objetivos específicos, se determina y aplica el indicador de huella hídrica propuesto por Montenegro, 2021, determinando que la huella hídrica de la universidad no es sustentable dentro del contexto actual de sequía en la región. Se proponen 4 medidas para mejorar el rendimiento hídrico de la universidad, y estas son: reemplazar cancha de pasto natural por pasto sintético, implementar jardines secos, implementar un sistema de riego inteligente y realizar cambios al menú del casino, cambiando productos cárnicos por proteínas vegetales, acompañado de una campaña de sensibilización. Se calculan las mejoras y se estima que, de llevarse a cabo la implementación de las medidas, el balance hídrico de la universidad disminuiría en un 32% aproximadamente, donde un 25,7% corresponde al sistema de riego inteligente, un 6,3% al reemplazar la cancha por pasto sintético y 0,09% al implementar 10 m² de jardín seco. Respecto a la huella indirecta, esta disminuiría en un 2,7%. La mejora más efectiva en este caso es la implementación de riego inteligente en toda la universidad.

Respecto al marco teórico y al diagnóstico, los distintos métodos para evaluar la huella hídrica tienen en común que cuantifican el uso del agua, evalúan impacto y analizan resultados, y se diferencian principalmente en que, según la norma ISO 14.046, se enfoca principalmente en el estudio de procesos y tiene un análisis cuantitativo y cualitativo, mientras que la Evaluación de

Huella Hídrica de Water Footprint Network, puede abarcar diferentes entidades, como por ejemplo, la huella hídrica que generan las personas, y tiene sólo un análisis cuantitativo, y es por esto que, esta última es más simple de implementar. La huella hídrica, basada en la metodología de la Water Footprint Network, de la UTFSM en la región de Valparaíso es la más alta en comparación al resto de las sedes, y dentro de la región, la Sede Viña del Mar es la segunda más alta luego de la Casa Central. Finalmente, se opta por utilizar el Indicador de Huella Hídrica de Montenegro, 2021, ya que es simple de evaluar y se puede aplicar utilizando los datos obtenidos en el Reporte de Huella Hídrica del 2022 y los datos de caracterización de las cuencas hidrográficas sin la necesidad de realizar cálculos complejos, además, se puede evaluar el impacto de la universidad de forma hipotética en distintas cuencas de Chile, dando una perspectiva de la condición de sequía territorial al averiguar en cuántas veces más se consume el agua disponible remanente de la zona geográfica por m².

Respecto a los resultados esperados, la implementación de cancha es una inversión a largo plazo (>20 años aproximadamente en recuperar la inversión inicial Un sistema de riego inteligente es una medida muy buena puesto que, si se implementa en toda la superficie que se riega actualmente, la inversión inicial podría ser recuperada durante el mismo año, es decir es una inversión a corto plazo o mediano plazo. El beneficio del cambio de menú es difícil de medir de manera práctica ya que puede haber muchas variables en el camino, como el cambio en la preferencia de las personas en relación a la elección del menú, a las distintas características específicas, en relación a su huella hídrica, de los distintos productos alimenticios que pueden variar día a día. Es por esto que, esta medida se recomienda que vaya acompañada de una campaña de concientización, ya que el cambio cultural, aunque no es cuantificable, es sumamente importante para avanzar a una cultura sustentable. La implementación de jardín seco no solo tiene

beneficios al momento de analizar el rendimiento hídrico, sino que, también tiene un valor paisajístico que puede ser atractivo para las personas y mejorar la imagen de la universidad.

Como conclusión, el análisis de huella hídrica es parte importante del camino hacia una sede sustentable, ya que a partir de esto podemos visualizar dónde hay que dirigir los esfuerzos para mejorar el rendimiento hídrico en los distintos procesos de la universidad, no obstante, no basta con quedarse en el análisis solamente, la implementación de medidas para mejorar la huella hídrica es igualmente importante. Estas medidas no hay que verlas como un gasto, sino más bien como una inversión, donde el retorno no es solamente disminuir el consumo de agua, sino también es mejorar el medioambiente, la cultura y la comunidad universitaria.

REFERENCIAS

- Alvarez-Garreton, C., Boisier, J. P., Garreaud, R., Seibert, J., and Vis, M. (2021). *Progressive water deficits during multiyear droughts in basins with long hydrological memory in Chile*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 25, 429–446, <https://doi.org/10.5194/hess-25-429-2021>
- Baden, M. Y., Shan, Z., Wang, F., Li, Y., Manson, J. E., Rimm, E. B., Willett, W. C., Hu, F. B., & Rexrode, K. M. (2021). Quality of Plant-Based Diet and Risk of Total, Ischemic, and Hemorrhagic Stroke. *Neurology*, 96(15), e1940–e1953. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000011713>
- Barría, P. Barría Sandoval, I., Guzman, C., Chadwick, C., Alvarez-Garreton, C., Díaz-Vasconcellos, R., Ocampo-Melgar, A., Fuster, R. (2021). *Water allocation under climate change: A diagnosis of the Chilean system*. *Elementa: Science of the Anthropocene* (2021) 9 (1): 00131. <https://doi.org/10.1525/elementa.2020.00131>

- Biblioteca Del Congreso Nacional De Chile. (2016). *Concepto, normativa asociada y críticas al establecimiento del Caudal Ecológico en Chile*. : 1–14.
- Boisier, J. P., Rondanelli, R., Garreaud, D. y Muñoz, F. (2016) *Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile*. *Geophysical Research Letters*, 43 (1), 413-421,
<https://doi.org/10.1002/2015GL067265>
- Boulay, A. M., Bouchard, C., Bulle, C., Deschenes, L. y Margni, M. (2011). *Categorizing water for LCA inventory*. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 16(7): 639–651. ISSN 09483349. 10.1007/s11367-011-0300-z.
- Boulay, A. M., Bulle, C., Deschenes, L. y Margni, M. (2011). *LCA Characterisation of Freshwater Use on Human Health and Through Compensation*. *Towards Life Cycle Sustainability Management*. : 193–204. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-1899-9_19
- Buiano, M. (8 de noviembre de 2022). *10 Xeriscaping Ideas That Will Make Your Garden More Hands-Off and Sustainable*. <https://www.marthastewart.com/8336571/xeriscaping-ideas>
- Chapagain, A. (2017). *Water Footprint: State of the Art: What, Why, and How?* Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10164-2>
- Colón, J. y Arena, A. (2016). *Guías metodológicas: análisis de ciclo de vida y huella hídrica*. Cuaderno Tecnológico N°32. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.28162.58563>
- Decreto Supremo 90 de 2000 [Ministerio Secretaría General de la Presidencia]. Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. 30 de mayo de 2000.

Ehrenfeld, John R. (2008). *Sustainability by design*. Yale University Press.

<https://doi.org/10.12987/9780300142808>

Ekstrand, J., Timpka, T., & Hägglund, M. (2006). Risk of injury in elite football played on artificial turf versus natural grass: a prospective two-cohort study. *British journal of sports medicine*, 40(12), 975–980. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.027623>

Falkenmark, M. y Rockström, J. (2013) *Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Ecohydrology*. Earthscan. <http://dx.doi.org/10.4324/9781849770521>

Fundación Chile y Agualimpia. (2016). *Manual De Aplicación Para Evaluación De Huella Hídrica Acorde A La Norma ISO 14046*. <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/12/manual-aplicacion-iso-14-046-suizagua-1.pdf>

Garreaud, R., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H., Veloso, D. (2019). *The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics perspective*. *International Journal of Climatology*. 40. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.6219>

Hidalgo, F. (6 de febrero de 2020). *¿Jardines secos, sustentables o xerojardines?: cómo la jardinería se adapta a la crisis hídrica*. <https://www.latercera.com/pasa/noticia/jardines-secos-sustentables-o-xerojardines-como-la-jardineria-se-adapta-a-la-crisis-hidrica/1001911/#>

Instituto Nacional de Derechos Humanos. (2022). *Mapa de conflictos socioambientales*. <https://mapaconFLICTOS.indh.cl/#/>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022) *AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. <https://dx.doi.org/10.1017/9781009325844>

International Organization for Standardization. (2014). *Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines (ISO 14.046)*.

<https://www.iso.org/standard/43263.html>

Jabri, A., Kumar, A., Verghese, E., Alameh, A., Kumar, A., Khan, M. S., Khan, S. U., Michos, E. D., Kapadia, S. R., Reed, G. W., & Kalra, A. (2021). Meta-analysis of effect of vegetarian diet on ischemic heart disease and all-cause mortality. *American journal of preventive cardiology*, 7, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.ajpc.2021.100182>

Jaramillo Chamba, D., Panchana González, W., Cumbicos Calva, A., & Escudero Molina, N. (2023). *Sistema de riego inteligente para el mantenimiento de áreas verdes en una institución educativa*. *Revista Científica Y Tecnológica UPSE*, 10(2), 50 - 63.

Lanza, Sabrina. (9 de diciembre de 2018). *Las canchas sintéticas aumentan la temperatura hasta en 15 grados*.

<https://www.lostiempos.com/actualidad/cochabamba/20181209/canchas-sinteticas-aumentan-temperatura-15-grad0s>

Martínez, A., Chargoy, J. P., Puerto, M., Suppen, N. y Rojas, D. (2016). *Huella de Agua (ISO 14046) en América Latina Análisis y recomendaciones para una coherencia regional*. Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable CADIS, Embajada de Suiza en Colombia, Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE. (Iso 14046): 90.

<https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/3828/ANA0002329.pdf>

Matskovsky, V.; Venegas-González, A.; Garreaud, R.; Roig, Fidel A.; Gutiérrez, Alvaro G.; Muñoz, Ariel A; Le Quesne, C.; Klock, K.; Canales, C. (2021). *Tree growth decline as a response to projected climate change in the 21st century in Mediterranean mountain*

forests of Chile. Global and Planetary Change, Volume 198.

<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103406>

Mekonnen, M. y Hoekstra, A. (2012). *A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products*. *Ecosystems* (2012) 15: 401–415

Meyers, M. C. (2010). *Incidence, mechanisms, and severity of game-related college football injuries on FieldTurf versus natural grass: a 3-year prospective study*. *The American journal of sports medicine*, 38(4), 687-697.

McMacken, M., & Shah, S. (2017). A plant-based diet for the prevention and treatment of type 2 diabetes. *Journal of geriatric cardiology: JGC*, 14(5), 342–354.

<https://doi.org/10.11909/j.issn.1671-5411.2017.05.009>

Ministerio de Bienes Nacionales. (2022). *Visor de Sequía 2022*. Bienes Nacionales.

<https://sequia.visorterritorial.cl/>

Montenegro Araneda, A. (2021). Indicador de huella de agua territorial para Chile enfocado al sector productivo. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/183901>

Naciones Unidas. (s.f.). *Producción y consumo responsables: por qué son tan importantes*.

https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/12_Spanish_Why_it_Matters.pdf

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. (2018). *Cálculo a partir de 'El cambio climático y los recursos hídricos de Chile'*. Reflexiones y Desafíos al 2030: Perspectiva de Especialistas Externos Segunda Edición.

Organización de las Naciones Unidas. (2022). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2022: aguas subterráneas: hacer visible el recurso*

invisible; resumen ejecutivo. UNESDOC Biblioteca Digital.

https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380726_spa

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (s.f) *Objetivos de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Pan, A., Sun, Q., Bernstein, A. M., Schulze, M. B., Manson, J. E., Stampfer, M. J., Willett, W. C., & Hu, F. B. (2012). Red meat consumption and mortality: results from 2 prospective cohort studies. *Archives of internal medicine*, 172(7), 555–563.

<https://doi.org/10.1001/archinternmed.2011.2287>

Universidad Técnica Federico Santa María. (s.f.). *Sostenibilidad*. <https://usm.cl/sostenibilidad/>

Red Campus Sustentable. (s.f.). *Historia de la Red Campus Sustentable*.

<https://www.redcampussustentable.cl/la-red/historia/>

Red Campus Sustentable. (2021). *Reporte y Evaluación de la Sustentabilidad en Instituciones de Educación Superior*. <https://www.redcampussustentable.cl/resies/>

Red Campus Sustentable. (2021). *Reporte y Evaluación de la Sustentabilidad en Instituciones de Educación Superior Manual de usuario v1.1 – 2021*.

<https://www.redcampussustentable.cl/wp-content/uploads/2022/08/Manual-RESIES-V1.1-2021-Actualizacion-2022-Version-general.pdf>

Simon, R. (2010). *Review of the Impacts of Crumb Rubber in Artificial Turf Applications*.

University of California, Berkeley.

https://www.town.boxford.ma.us/sites/g/files/vyhlf321/f/uploads/manex-uc_berkeley_crumb_rubb.pdf

Sistema de las Naciones Unidas. (2021). *Escasez Hídrica En Chile: Desafíos Pendientes*.

Naciones Unidas Chile. https://chile.un.org/sites/default/files/2021-03/PB%20Recursos%20Hídricos_FINAL_17%20de%20marzo.pdf

Suárez Castillo, D. D. (2018). *Diseño y fabricación de un sistema de riego ecológico*.

<http://repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/5031/1/Diseño%20y%20fabricación%20de%20un%20sistema%20de%20riego%20ecológico.pdf>

Vera, Gabriela. (12 de diciembre de 2022). *USM adhiere a segundo Acuerdo de Producción*

Limpia. <https://usm.cl/noticias/usm-adhiere-a-segundo-acuerdo-de-produccion-limpia/>

Water Use In Life Cycle Assessment. (s.f.). *What is AWARE*. <https://wulca->

[waterlca.org/aware/what-is-aware/](https://wulca-waterlca.org/aware/what-is-aware/)

Williams, S., Hume, P.A. & Kara, S. (2011). *A Review of Football Injuries on Third and Fourth*

Generation Artificial Turfs Compared with Natural Turf. Sports Med 41, 903–923

Yuan, Qi & Song, Guobao & Fullana-i-Palmer, Pere & Wang, Yixuan & Semakula, Henry &

Mekonnen, Mesfin & Zhang, Shushen. (2017). *Water footprint of feed required by*

farmed fish in China based on a Monte Carlo-supported von Bertalanffy growth model: A policy implication. Journal of Cleaner Production. 153. 10.1016/j.jclepro.2017.03.134.

ANEXOS

Tabla A-1

Tabla resumen de costos y reducción anual de la huella hídrica de las medidas de mejoras propuestas

Propuesta	Costo	Reducción Anual Huella Hídrica (m³)	Ahorro Anual	% Retorno Anual
Reemplazo cancha de pasto por pasto sintético	\$107.750.000	3.796	\$4.534.208	4,2
Reemplazo de jardines verdes por jardines secos (10 m ²)	\$600.000	52	\$62.113	10,4
Instalación de sistema de riego inteligente (25 m ²)	\$250.000	21	\$25.239	10,1
Reemplazo de elementos cárnicos en las comidas del casino por proteínas alternativas (Semanal)	-	2.832	-	-
TOTAL	\$109.600.000	6.701	\$8.004.299	7.3

Nota. La propuesta de reemplazo de elementos cárnicos por proteínas alternativas no presenta costo ni ahorro en esta tabla, ya que se consideran 0 porque reemplazar productos cárnicos por vegetales suele disminuir el costo, y la disminución de la huella hídrica es indirecta, por lo tanto, no se traduce en un ahorro monetario. Elaboración propia.