

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

Proyecto de Graduación
Departamento de Hidráulica y Ambiental

**CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO:
BASES PARA LA ELABORACIÓN DE UNA GUÍA TÉCNICA.**

Preparada por: Alejandro Mora González
Directora: Ing. Nidia Cruz Zúñiga

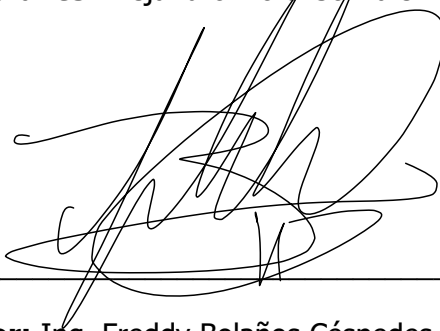
Agosto, 2022



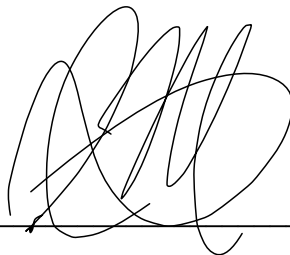
Directora del proyecto: Ing. Nidia Cruz Zúñiga



Estudiante: Alejandro Mora González



Asesor: Ing. Freddy Bolaños Céspedes



Asesor: Ing. Erick Mata Abdelnour

Derechos de autor

Fecha: 2022, Julio,

El suscrito, **Alejandro Mora González**, cédula 1-1684-0851, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **B54707**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación **Cuantificación de la huella hídrica en el proceso constructivo: Bases para la elaboración de una guía técnica**, bajo la Dirección de la **Ing. Nidia Zúñiga Cruz**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado a mis padres, Alejandro Mora Mora y Rocío González Acuña, por su apoyo incondicional durante esta etapa de estudios universitarios.

Agradecimiento

A mi mamá, por demostrarme su amor durante todos los días de mi vida. Gracias por creer en mí y apoyarme siempre.

A mi papá, por estar presente en todo momento. Gracias por ser el primero en apoyarme en el momento en que elegí estudiar esta carrera.

A Laura; mi hermana, quien es parte fundamental de mi vida. Gracias por apoyarme durante todo este proceso.

A Nidia Cruz Zúñiga, por darme la oportunidad de desarrollar el tema, guiarme durante el desarrollo de la investigación y compartir sus conocimientos conmigo.

A Erick Mata Abdelnour y Freddy Bolaños Céspedes, por su asesoría en el tema y toda la colaboración brindada para sacar adelante el proyecto.

A mis compañeros Luis Moya, Juan López, Shasly Otárola y José Chavarría, por todos los buenos momentos vividos en esta etapa universitaria.

Índice general

Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Justificación.....	1
1.1.1. Problema específico.....	1
1.1.2. Importancia	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Delimitación del problema.....	5
1.4.1. Alcance	5
1.4.2. Limitaciones.....	6
Capítulo 2. Marco teórico	7
2.1. Recurso hídrico	7
2.2. Sostenibilidad y desarrollo sostenible	8
2.3. Huella ambiental.....	9
2.4. Huella hídrica	11
2.4.1. Huella hídrica azul.	11
2.4.2. Huella hídrica gris.....	12
2.4.3. Huella hídrica verde.....	12
2.5. Sostenibilidad de la huella hídrica	13
2.6. Huella de agua	14
2.7. Declaración ambiental de producto.....	16
2.8. Teoría de la producción más limpia.....	18

2.9.	Construcción sostenible	18
2.10.	Sistemas de gestión ambiental	19
2.11.	Sistemas de evaluación de sostenibilidad en la construcción	20
Capítulo 3.	Metodología	22
3.1.	Etapa 1: Revisión bibliográfica	24
3.2.	Etapa 2: Elección de obras para estudio	24
3.3.	Etapa 3: Recopilación de datos para cálculo de huella hídrica	24
3.4.	Etapa 4: Cálculo de huella hídrica y análisis de resultados	24
Capítulo 4.	Datos de campo para proyectos de estudio.....	25
4.1.	Definición de información y datos requeridos.....	25
4.1.2.	Medición semanal de agua	25
4.1.3.	Prueba de porcentaje de desperdicio de agua	27
4.1.4.	Medición semanal de energía	29
4.1.5.	Cuantificación de materiales consumidos.....	30
4.1.6.	Equipo y consumo de combustible.....	30
4.1.7.	Datos de huella hídrica asociada a materiales de construcción	34
4.2.	Descripción de proyectos de estudio	38
4.2.1.	Proyecto 1.....	38
4.2.2.	Prácticas de consumo en el proyecto 1.....	40
4.2.3	Proyecto 2.....	43
4.2.4.	Prácticas de consumo en el proyecto 2.....	44
4.3.	Datos recolectados.....	47
4.3.1.	Consumo de agua	47
4.3.2.	Pruebas de desperdicio.....	54
4.3.3.	Equipo utilizado	57
4.3.4.	Datos de consumo de energético.....	57

Capítulo 5: Resultados y análisis de resultados	58
5.1. Estimación de HH total	58
5.2. Análisis de resultados	63
5.2.1. Huella hídrica azul directa	63
5.2.2. Huella hídrica azul directa y Huella hídrica total estimada.....	65
5.2.3. Prueba de desperdicio semanal.....	65
5.2.1. Estimación de tiempo y costos de hacer la medición.....	68
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones	69
6.1. Conclusiones.....	69
6.2. Recomendaciones	70
7. Bibliografía	73
8. Anexos	80
A1. Formularios	80
A2. Lista de materiales proyecto 1.....	82
A3. Planta arquitectónica proyecto 1	87
A4. Lista de materiales proyecto 2.....	89
A5. Planta arquitectónica proyecto 2	92

Índice de figuras

Figura 1. Porcentaje de área de construcción por destino de obra	3
Figura 2. Dimensiones del desarrollo sostenible.	8
Figura 3. 14 categorías de impacto de la Huella Ambiental	10
Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología a utilizar	23
Figura 5. Hidrómetro proyecto 1.....	26
Figura 6. Hidrómetro proyecto 2.....	27
Figura 7. Recolección de volumen de desperdicio en un minuto, proyecto 2, Semana 5.....	27
Figura 8. Medición de ml desperdiciados en un minuto, proyecto 2, Semana 5	28
Figura 9. Toma de muestra de volumen de salida en un minuto, proyecto 2, Semana 5.	28
Figura 10. Medidor de energía en proyecto 2.....	29
Figura 11. Matriz energética de Costa Rica	30
Figura 12. Retroexcavadora utilizada en proyecto 1	31
Figura 13. Retroexcavadora utilizada en proyecto 2	32
Figura 14. Camión mezclador y bomba típicas de la empresa AGRECON	32
Figura 15. Potencia/consumo horario para motores de combustión Fuente: González, 2010 ...	33
Figura 16. Diagrama de flujo para elección del factor de huella hídrica para distintos materiales de construcción	35
Figura 17. Diagrama de flujo para elección del factor de huella hídrica para distintos materiales de construcción (cont.).....	36
Figura 18. Imagen del resultado final del proyecto	39
Figura 19. Proyecto 1 en semana 30.....	39
Figura 20. Única llave de chorro, proyecto 1.....	40
Figura 21. Desperdicio de agua en proyecto 1	41
Figura 22. Estañón de recolección de agua, proyecto 1	41
Figura 23. Forma en la que se recolecta el agua para dosificar en el concreto hecho en obra .	42
Figura 24. Estañón de recolección de agua nivel 2, proyecto 1.....	42
Figura 25. Estado de la manguera en proyecto 1	43
Figura 26. Proyecto 2, semana 19	44
Figura 27. única llave de chorro proyecto 2	44

Figura 28. Estañón de recolección de agua, proyecto 2	45
Figura 29. Estado de la manguera en proyecto 2	45
Figura 30. Estado de la manguera en proyecto 2 (b)	46
Figura 31. Corrección a la instalación de la manguera en proyecto 2	46
Figura 32. Consumo de agua por semana en proyecto 1.....	49
Figura 33. Consumo de agua por semana en proyecto 2.....	49
Figura 34. Diagrama de cajas y bigotes para datos de porcentaje de desperdicio	56
Figura 35. Porcentaje de HH indirecta del proyecto 1	61
Figura 36. Porcentaje de HH indirecta del proyecto 2	61
Figura 37. Porcentaje de aporte de los materiales a la HH azul indirecta en el proyecto 1.....	62
Figura 38. Porcentaje de aporte de los materiales a la HH azul indirecta en el proyecto 2.....	63
Figura 39. Huella hídrica azul directa de ambos proyectos	64

Índice de tablas

Tabla 1. Lista de módulos del análisis de ciclo de vida	17
Tabla 2. Categorías de una EPD	17
Tabla 3. Ejemplo de reporte de datos de prueba de desperdicio, proyecto 2, Semana 5	28
Tabla 4. Parámetros de la correlación Potencia/consumo horario para motores de combustión 33	
Tabla 5. Consumo de combustible del equipo	34
Tabla 6. Base de datos de huella hídrica	37
Tabla 7. Datos de consumo directo semanal en el proyecto 1	47
Tabla 8. Datos de consumo directo semanal en el proyecto 2	48
Tabla 9. Consumo semana contra avance en la obra, proyecto 1.....	50
Tabla 10. Consumo semana contra avance en la obra, proyecto 2.....	52
Tabla 11. Porcentajes de desperdicio semanal en proyectos	55
Tabla 12. Datos estadísticos de prueba de desperdicio en proyecto 1	56
Tabla 13. Equipo utilizado en proyecto 1	57
Tabla 14. Equipo utilizado en proyecto 2.....	57
Tabla 15. Consumo de energía en el proyecto 2	57
Tabla 16. Huella hídrica proyectos	59
Tabla 17. HH azul directa y total estimada por m ² de construcción	65
Tabla 18. Porcentaje de HH total equivalente a la HH azul directa.....	65
Tabla 19. Desperdicio de la HH azul directa estimado en ambos proyectos.....	66
Tabla 20. Metros cuadrados de construcción habitacional en Costa Rica	66
Tabla 21. Proyección de metros cuadrados de construcción habitacional en Costa Rica para el año 2019 y 2020	67
Tabla 22. Resultados de proyección de metros cúbicos desperdiciados	67
Tabla 23. Asignación del volumen a habitantes.....	68
<i>Tabla 24. Tiempo invertido en actividades necesarias para realizar el estudio.....</i>	<i>68</i>

Mora González, Alejandro

Cuantificación de la huella hídrica en el proceso constructivo: Bases para la elaboración de una guía técnica

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, C.R.:

A. Mora G., 2022

xiii, 79, [16]h; ils. col. -76 refs

Resumen

En el proyecto se analizó la relevancia de la HH como indicador ambiental en el sector constructivo. El objetivo principal de este proyecto es cuantificar la huella hídrica en el proceso constructivo de dos proyectos residenciales seleccionados en el Gran Área Metropolitana, viendo la construcción como un proceso productivo, y utilizar los resultados como base para dar recomendaciones para una futura guía técnica a nivel nacional. Para esto se calculó la huella azul directa en el proceso constructivo mediante mediciones en campo, realizando inspecciones semanales a cada proyecto, así se asignó un consumo de agua por actividad según el avance que se observó. En las inspecciones se realizó una prueba para estimar los porcentajes de desperdicio presentes en los proyectos relacionados a una mala conexión entre la llave y la manguera. Además, se estimó la huella hídrica indirecta (azul y verde); basándose en una serie de datos de uso de agua en la producción de distintos materiales de construcción, obtenidos de las declaraciones ambientales de cada producto que la tenía disponibles. El resultado final para la HH azul directa por metro cuadrado de construcción en el proyecto 1 es de $0.372 \text{ m}^3/\text{m}^2$ y la del proyecto 2 es $0.283 \text{ m}^3 / \text{m}^2$. Se concluye que los resultados obtenidos podrían ser considerados como un primer avance para estandarizar el cálculo de la HH en la industria de la construcción. Para lograr un estándar, se debe incentivar a los productores locales o importadores a desarrollar Declaraciones ambientales de producto de los materiales de construcción y así generar una base de datos robusta sobre el consumo de agua en el proceso productivo de estos.

Palabras clave: Huella hídrica, declaración ambiental de producto, consumo de agua en procesos de construcción, construcción sostenible

Capítulo 1. Introducción

La huella hídrica o huella de agua forman parte del grupo de huellas ambientales que sirven para comprender cómo la producción y consumo afecta directa e indirectamente en los recursos naturales. El concepto de huella hídrica fue creado para cuantificar el gasto de agua escondido en cualquiera cadena de producción. Este proyecto consiste en cuantificar la huella hídrica en el proceso constructivo de dos proyectos de obra ubicados en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica, y utilizar la información como base para la elaboración de una guía técnica para la utilización de este indicador ambiental en el sector construcción.

1.1. Justificación

1.1.1. Problema específico

El agua es parte esencial en el desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y para la supervivencia de los seres humanos (UN, 2021). Sin embargo, los recursos hídricos se encuentran bajo una presión sin precedentes en la mayoría de los países. El rápido crecimiento en la población mundial provocará que el mundo enfrente un déficit del 40 % entre la demanda de agua y el agua disponible a nivel mundial para el año 2030 si se continúa con las prácticas de consumo actuales (Banco Mundial, 2017). El cambio climático empeora la situación; ya que, se alteran los ciclos hidrológicos y la disponibilidad de agua es cada vez más impredecible.

En comparación con otras regiones del mundo, los países de América Latina y el Caribe cuentan con una importante dotación del recurso hídrico (CEPAL, 2021). Sin embargo, debido a la globalización, muchos de los productos que se consumen en estos países son importados. Como la huella hídrica mide tanto el uso de agua directo como el indirecto, donde el segundo se refiere al uso de agua en la cadena de suministro de un producto, la situación de recurso hídrico a nivel mundial afecta directamente la economía de la zona.

Según el Informe Estado de la Nación, en Costa Rica se aprovecha eficazmente el recurso hídrico, pero no se logran controlar los impactos negativos de su uso intensivo en distintos sectores de la industria (PEN, 2018). Según estudios, en Costa Rica, el consumo de agua per cápita es de 1490 metros cúbicos anuales. Este valor se encuentra por encima del promedio mundial, el cual es de 1385 metros cúbicos por año (WFN,

2016). Estos datos demuestran que en Costa Rica se hace un uso excesivo de los recursos hídricos en algunas actividades.

En el sector construcción, el país no cuenta con un sistema de control del uso y consumo racional del recurso hídrico que permita desarrollar la sostenibilidad de un proceso constructivo. Tampoco existen suficientes estudios que den una idea de la magnitud del consumo de agua en la construcción.

1.1.2. Importancia

Una de las metas del objetivo 6 del desarrollo sostenible menciona que, para el año 2030 se busca aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua (UN, 2021). Debido a que el sector de la construcción es uno de los más importantes en la industria del país, es importante eficientizar el consumo de agua en los procesos constructivos para contribuir al alcance de dicho objetivo.

Una de las metas del objetivo 12 del desarrollo sostenible menciona que, de aquí a 2030, se busca lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales. Para lograrlo, se debe eficientizar el consumo del recurso hídrico a nivel mundial (UN, 2021).

Los procesos constructivos son actividades que requieren un alto consumo de recurso hídrico. Esto causa la necesidad de controlar el consumo para la optimización de los recursos en la construcción; algo que actualmente no está regulado en el país (Castillo, 2021).

En Costa Rica, para optimizar la utilización del recurso hídrico en los procesos construcción, generalmente se utilizan técnicas empíricas como la incorporación de dispositivos de ahorro o diferentes estrategias para la reducción del consumo; sin embargo, debido a la falta de guía para la cuantificación de la cantidad de agua utilizada en la obra, no se tiene una noción clara del ahorro en el consumo que generan dichas técnicas.

Según las estadísticas de la construcción más recientemente publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica (INEC, 2020), la mayoría de las construcciones del país son destinadas a viviendas como se muestra en la Figura 1.

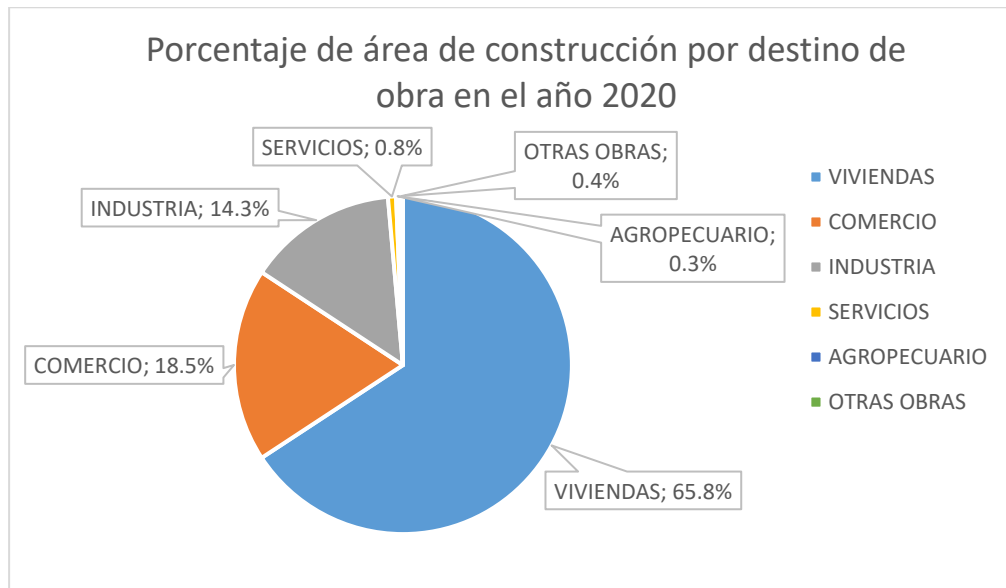


Figura 1. Porcentaje de área de construcción por destino de obra

Fuente: INEC 2020

Al ser la construcción de viviendas el tipo de obra mayoritario en Costa Rica, se hace necesaria la elaboración de una guía técnica para controlar el consumo del recurso hídrico en este tipo de obras.

1.2. Antecedentes

En el 2002, el investigador holandés Arjen Hoekstra creó el concepto de huella hídrica para cuantificar el gasto de agua escondido en cualquiera cadena de producción. Esta idea permite estudiar y mostrar de forma muy clara la relación cercana que existe entre la escasez del recurso hídrico y la economía a nivel mundial. La huella hídrica forma parte de la familia de huellas ambientales que ayudan a comprender cómo la producción y consumo afecta directa e indirectamente en los recursos naturales. Hoekstra fue el primero en poner cifras a la cantidad de agua virtual que viaja oculta en el comercio mundial (Fundación Aquae, 2016).

En el 2014, la Organización Internacional de la Estandarización (ISO) publica la norma "*ISO 14046:2014 Gestión ambiental. Huella de agua. Principios, requisitos y directrices*" y en el 2015, El Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) traduce la norma para la utilización de esta en el país y la publica bajo la sigla INTE/ISO 14046:2015. Esta norma especifica los principios, los requisitos y las directrices relacionados con la evaluación de la huella de agua de productos, procesos y organizaciones basada en el análisis del ciclo de vida (INTECO, 2015).

La diferencia entre la huella de agua y la huella hídrica radica principalmente en enfoque de las metodologías. Mientras que la metodología que propone Arjen Hoekstra tiene un enfoque volumétrico, la norma ISO 14046:2014 ofrece un enfoque de impacto ambiental. El enfoque volumétrico es útil para hacer conciencia sobre el uso de agua real que hay detrás de cada producto; sin embargo, este enfoque también funciona como una herramienta de evaluación y gestión regional del agua. Por otra parte, la evaluación de la huella de agua es utilizada para estudios exhaustivos de sostenibilidad ambiental de un producto o de una organización (EsAgua, 2021).

Por otro lado, en Costa Rica, el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) bajo el Programa Bandera Azul Ecológica (PBAE) en el año 2017, creó una categoría exclusiva para construcción sostenible. Esto con el fin de reconocer proyectos que hayan implementado estrategias innovadoras en el diseño y la aplicación de buenas prácticas durante los procesos constructivos. Uno de los objetivos específicos de esta categoría es implementar medidas que permitan gestionar el consumo de agua; desde el proceso de diseño hasta la fase constructiva de las obras (Bandera Azul Ecológica, 2017).

Asimismo, la Cámara Costarricense de la Construcción (2016) realizó una Guía de Construcción Sostenible, con el fin de introducir el término a nivel nacional y estableciendo recomendaciones de técnicas básicas que se pueden implementar en las etapas de un proyecto para reducir el impacto ambiental. En el capítulo 9 de esta guía se habla de la conservación del agua y eficiencia de su uso durante la operación de la edificación; sin embargo, no se habla de consumo durante la etapa constructiva (CCC, 2016).

El Manual de buenas prácticas ambientales en Costa Rica elaborado por el Tribunal Ambiental Administrativo menciona que toda obra, proyecto, actividad o persona física debe hacer un uso racional del recurso hídrico y evitar el desperdicio de agua reparando fugas en tanques, tuberías y llaves. El correcto uso del agua se debe tomar en cuenta desde la identificación de las fuentes, nacientes o acuíferos, los cuales deben protegerse y usarse equitativa y racionalmente. (MINAET, 2010).

Juan Pablo Castillo presentó una metodología para el control y análisis del consumo de agua durante la fase constructiva de obra gris. Esta metodología se aplicó en dos proyectos de construcción en modalidad vertical durante su fase de obra gris y se obtuvo resultados de consumos de agua mensuales, según el porcentaje de obra gris

finalizado y por nivel. Esta se puede considerar como una primera aproximación válida para determinar el consumo de agua en una construcción (Castillo, 2021).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Cuantificar la huella hídrica en el proceso constructivo de dos proyectos seleccionados en el Gran Área Metropolitana y utilizar los resultados como base para dar recomendaciones para una futura guía técnica a nivel nacional.

1.3.2. Objetivos específicos

- Cuantificar la huella hídrica directa para dos casos de estudio.
- Estimar una tasa de consumo de agua por metro cuadrado de construcción como indicador global para el sector de construcción.
- Asignar porcentajes de consumo de recurso hídrico para las distintas etapas del proceso constructivo.
- Documentar malas prácticas de consumo de recurso hídrico en la construcción.
- Brindar recomendaciones utilizando la teoría de producción limpia para disminuir la huella hídrica en construcción.

1.4. Delimitación del problema

1.4.1. Alcance

- Los proyectos utilizados para recolectar información sobre el consumo de recurso hídrico en la construcción se ubican en el Gran Área Metropolitana
- Se realizó una medición completa de la huella hídrica directa en los procesos constructivos de las obras
- Se creó una base de datos de huella hídrica azul y verde para materiales típicos de la construcción basados en declaraciones ambientales de producto
- Se cuantificó la huella hídrica directa en todas las etapas del proyecto, desde el movimiento de tierras hasta los acabados finales; mediante inspecciones semanales a los proyectos
- Se intentó estimar la huella hídrica del proyecto; sumando la huella directa y la indirecta para los materiales
- Se asignó un consumo por actividades según el avance semanal
- Se documentaron las prácticas regulares en la utilización del recurso hídrico, sean buenas o malas

- Se realizó una prueba semanal para estimar el porcentaje de desperdicio de agua potable en la obra
- Se brindaron recomendaciones para optimizar la utilización del recurso hídrico en los proyectos, basadas en la teoría de la producción más limpia
- El alcance de la huella hídrica indirecta está condicionado; tanto a los datos recolectados de cada proyecto, como a la base de datos de declaraciones ambientales de producto
- La cuantificación de la huella hídrica azul directa en el proyecto 1 se realizó durante 29 semanas, desde el inicio de las obras hasta el final de la colocación de ventanería; dejando fuera del alcance actividades como colocación de pisos, enchapes, pintura y acabados.
- La cuantificación de la huella hídrica azul directa en el proyecto 2 se realizó durante 19 semanas, desde el inicio de las obras hasta el final de las obras en la vivienda
- La instalación de luminarias, tomacorrientes, apagadores y cableado eléctrico queda fuera del alcance del proyecto
- La huella hídrica de la losa sanitaria, grifería y amueblado queda fuera del alcance

1.4.2. Limitaciones

- No se contempló de forma directa un estudio para medir como influye la variante mano de obra en la utilización del recurso hídrico
- Las declaraciones ambientales de producto vigentes no están disponibles para todos los materiales utilizados en la construcción seleccionada, por lo que se trabajó con los que estaban disponibles
- Los valores del índice de huella hídrica indirecta en el proceso constructivo fueron estimados dependiendo de la información en las declaraciones ambientales de producto. Por ende, dichos valores poseen cierta incertidumbre
- Durante la cuantificación se debe tomar en cuenta que las herramientas de medición utilizadas tienen una incertidumbre asociada. En cada caso se tomaron los datos de los medidores de agua colocados en los proyectos. Algunos otros consumos se estimaron sin una medición directa, como por ejemplo el agua recolectada de lluvia o agua de cosecha
- No se pudo realizar visitas en la semana del 11 al 17 de abril debido a que no se trabajó por los feriados de Batalla de Rivas y Semana Santa
- Por falta de datos, no se pudo estimar la huella hídrica gris de los proyectos

- Debido a la falta de datos, la huella hídrica por acarreo de materiales desde los puntos de venta hasta el sitio de proyecto queda fuera del alcance del proyecto
- Debido a falta de medidores de energía dentro del condominio, no se pudo cuantificar la energía semanal consumida en el proyecto 1
- Debido al poco avance en las últimas semanas del proyecto 1, no se pudo realizar la cuantificación completa de la huella hídrica azul directa
- La altura de la casa afecta directamente el rendimiento de la mano de obra en actividades como repellos, colocación de techo y cielos. Esto se traduce en atrasos en el proyecto 1; ya que no se había incluido en el presupuesto y planificación inicial. Este atraso reduce directamente el alcance del proyecto
- El aumento en los precios de la materia prima (aumento aproximado del 30% en el precio del hierro y 22% en el precio de la ventanería según el ingeniero a cargo del proyecto) también afecta el flujo de caja del proyecto 1; por ende, el avance del proyecto se ve afectado.
- La estimación de la huella hídrica por materiales se realizó basado en los datos de declaraciones ambientales de producto; por esta razón, presentan cierta incertidumbre

Capítulo 2. Marco teórico

2.1. Recurso hídrico

Según la UNESCO, los recursos hídricos se definen como el agua disponible o potencialmente disponible, en cantidad y calidad suficiente, en un lugar y en un período de tiempo apropiado para satisfacer una demanda identificable. Los recursos hídricos se constituyen en uno de los recursos naturales renovables más importante para la raza humana (UNESCO, 2012).

La necesidad de una correcta gestión de los recursos hídricos da pie a una gran cantidad de investigaciones en distintas áreas. Específicamente en la ingeniería, se ha intentado adaptar la disponibilidad; tanto espacial como temporal, del agua en función de las necesidades, con vistas a su desarrollo humano sostenible. También se ha buscado optimizar la utilización del recurso hídrico para conseguir el mayor provecho de este (UNESCO, 2012).

2.2. Sostenibilidad y desarrollo sostenible

La sostenibilidad se define como la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas, garantizando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social. Esta definición es la base para entender el significado del desarrollo sostenible (OXFAM, 2020).

El término desarrollo sostenible aparece por primera vez de forma oficial en 1987 en el Informe Brundtland (Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo, 1987) sobre el futuro del planeta y la relación entre medio ambiente y desarrollo. Actualmente existen múltiples interpretaciones del concepto y todas coinciden en que el desarrollo sostenible posee tres pilares fundamentales: la economía, el ambiente y la sociedad; los cuales se conectan con los criterios de viabilidad, soportabilidad y equidad. Estas conexiones se muestran de forma gráfica en la Figura 2 (Artaraz, 2002).

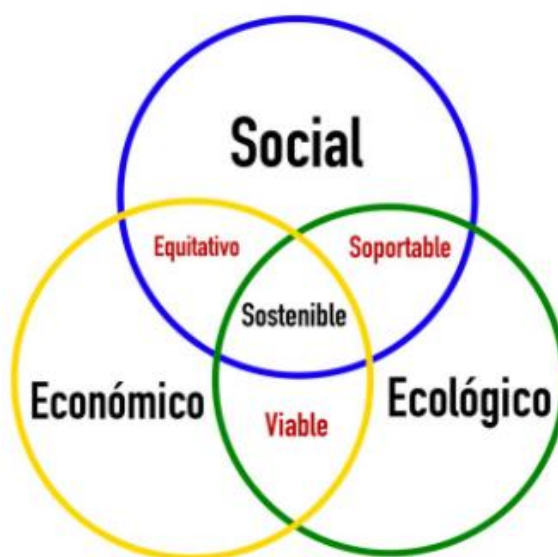


Figura 2. Dimensiones del desarrollo sostenible.

Fuente: Artaraz, 2002

Modificado por: Mora, 2021

En 2012, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en Río de Janeiro, los estados miembros del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo gestaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Mundiales, con el fin de proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030 (PNUD, 2021). Los ODS

coinciden con Acuerdo de París, aprobado en la Conferencia sobre el Cambio Climático en el 2015. Estos acuerdos proveen un conjunto de normas comunes y metas viables para reducir las emisiones de carbono, gestionar los riesgos del cambio climático y los desastres naturales, y reconstruir después de una crisis.

Muchos de los retos a los que se enfrenta el ser humano, entre los cuales se encuentra la escasez de agua solo se pueden resolver desde una perspectiva global y promoviendo el desarrollo sostenible.

2.3. Huella ambiental

Una huella ambiental es un análisis de potenciales impactos ambientales que se generan directa o indirectamente a lo largo del ciclo de vida de un producto u organización. El procedimiento básico para llevar a cabo el análisis de Huella Ambiental se expone en las Recomendaciones de la comisión de 9 de abril del 2013 sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida. (Agrelo, 2016)

A la fecha se han identificado 14 impactos que puede ser considerados como huellas; los cuales se presentan en la Figura 3.



Figura 3. 14 categorías de impacto de la Huella Ambiental

Fuente: Agrelo 2013

Modificado por: Mora 2022

Las reglas finales de la categoría de huella ambiental del producto (por sus siglas en inglés PEFCRs) y la Organización de Huella Ambiental y Normas Sectoriales (por sus siglas en inglés OEFSRs) dan una guía de los impactos a calcular para cada tipo de proceso o producto.

El método PEFCR de la Comisión Europea está diseñado para ayudar a realizar afirmaciones fundamentadas sobre los impactos de los productos, reducir los costos de evaluación y mejorar las comparaciones de productos. Cada PEFCR especificará la lista mínima de procesos (llamados procesos obligatorios) que siempre estarán cubiertos por datos específicos del proceso productivo. El propósito es evitar que se realice un estudio de huella ambiental de producto (HAP) sin acceso a los datos primarios relevantes específicos del proceso. La PEFCR definirá esta lista obligatoria de procesos en función de su relevancia y la posibilidad de tener acceso a datos específicos. Una PEFCR

especificará además los requisitos establecidos en la Guía general de HAP y agregará nuevos requisitos cuando la Guía de HAP no cubra suficientemente la particularidad del ciclo de vida de una categoría de producto específica (PEFCR guide, 2018).

La OEFSRs tiene un enfoque organizacional. Esta proporciona información detallada y completa orientación técnica sobre cómo realizar un estudio de huella ambiental de la organización (HAO). Los estudios de HAO se pueden utilizar para una variedad de propósitos, incluyendo la gestión interna y la participación en programas voluntarios u obligatorios (OEFSR, 2018).

2.4. Huella hídrica

En las últimas décadas, la población mundial ha crecido de manera acelerada, y los recursos que antes se creían inagotables comenzaron a escasear en algunos sectores del planeta. Este cambio en la población ha generado un aumento en el consumo de los recursos fundamentales para la vida; como lo es el agua, llevándolos al borde de la escasez. En el recurso hídrico, el principal problema de la escasez se nota en las cantidades de agua potable que están disponibles para el consumo; solamente una pequeña porción del total de agua en el planeta es agua potable (aprox. un 2,5 % del total) (MAPFRE, 2011). Por ello, es indispensable buscar alternativas para hacer un mejor uso del recurso.

Debido a la economía globalizada, aumentó el consumo de productos importados a nivel mundial. Para lograr un desarrollo sostenible, surgió la necesidad de considerar el consumo de agua en las cadenas productivas.

La huella hídrica es un indicador que muestra la apropiación humana de los recursos hídricos. Hoekstra define la huella hídrica como la cantidad de agua que se consume o contamina en la cadena de producción de un producto (Fundación Aquae, 2016). El cálculo de este indicador se puede realizar a diferentes niveles de agregación y su ejecución varía; ya sea a nivel nacional, empresarial, institucional o personal (UNA, 2016). Para un mejor entendimiento, el cálculo de la huella hídrica se divide en los siguientes componentes:

2.4.1. Huella hídrica azul.

La huella hídrica azul se refiere al consumo de los recursos hídricos azules (agua dulce), superficial o subterránea, en toda la cadena de producción de un producto. Su consumo se refiere a la pérdida de agua en cuerpos de agua disponibles en la superficie o en acuíferos subterráneos en el área de la cuenca. Esta pérdida ocurre cuando el agua

se evapora, no regresa a la misma cuenca, es dispuesta al mar o se incorpora a un producto (Hoekstra, 2011).

2.4.2. Huella hídrica gris

La huella hídrica gris se refiere a la contaminación y está definida como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar una carga de contaminantes dados las concentraciones naturales y estándares ambientales de calidad de agua (Hoekstra, 2011).

2.4.3. Huella hídrica verde

La huella hídrica verde es el volumen de agua de lluvia consumida durante un proceso de producción, relevante sobre todo para los productos agrícolas y forestales; sin embargo, los productos industriales cuya materia prima es madera o productos a base de cultivo también tienen una huella de agua verde de manera indirecta (Hoekstra, 2011).

El cálculo de la huella hídrica se realiza mediante la siguiente expresión:

$$\text{Huella hídrica} = HH_{Azul} + HH_{Verde} + HH_{Gris} \quad [1]$$

Donde:

HH: Huella hídrica

La huella hídrica del producto final es la suma de las huellas hídricas de las etapas del proceso necesarias para elaborar dicho producto (considerando toda la cadena de producción y de suministro). La huella hídrica de un producto siempre se expresa en términos de volumen de agua por unidad de producto (normalmente en m³/un o litros/kg) (Hoekstra, 2011).

La huella hídrica se utiliza como herramienta para analizar el uso de agua directo e indirecto de un proceso, producto, empresa o sector e incluye el consumo de agua y la contaminación a lo largo de todo el ciclo de producción desde la cadena de suministro hasta el usuario final.

También es posible utilizar la huella hídrica para medir la cantidad de agua necesaria para producir todos los bienes y servicios consumidos por un individuo, una comunidad, una nación o toda la humanidad. Esto se realiza mediante la cuantificación de la huella hídrica directa, que es el agua utilizada directamente en los procesos; y la

huella hídrica indirecta, que la suma de las huellas hídricas de todos los productos consumidos (WFN, 2015).

Así, se puede definir la huella hídrica total de un producto con la siguiente expresión:

$$HH_{Total} = HH_{Directa} + HH_{Indirecta} \quad [2]$$

Al medir el volumen de agua consumido en la producción de un producto y el volumen de agua necesario para asimilar los contaminantes a fin de cumplir con los estándares de calidad del agua, podemos obtener una imagen de cómo un producto específico contribuye a las crecientes preocupaciones sobre la escasez de agua y degradación de la calidad del agua. También nos permite comparar diferentes productos por su contribución relativa a estos problemas críticos del agua.

La huella hídrica ocurre en un lugar específico durante un tiempo específico. Esto es importante porque hay variaciones en la cantidad de agua y la capacidad de asimilación disponible en diferentes lugares y durante diferentes épocas del año. Una huella hídrica, que se produce en un lugar rico en agua o durante la temporada de lluvias, sigue ejerciendo la misma presión (volúmenes consumidos) sobre los recursos hídricos, pero es posible que esa presión no esté poniendo el uso general del agua en una cuenca fluvial o de un acuífero más allá del máximo umbral de sostenibilidad (WFN, 2015).

2.5. Sostenibilidad de la huella hídrica

La evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica y la formulación de respuestas para emprender acciones específicas en puntos y momentos críticos, resultan prometedoras para afrontar los retos de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Para darse una idea de lo que significa el tamaño de la huella hídrica es necesario compararla con los recursos disponibles de agua dulce (expresados en m³/año). Básicamente, el análisis de sostenibilidad de huella hídrica consiste en comparar la huella hídrica que se genera y lo que la Tierra puede soportar de manera sostenible (Hoekstra, 2011).

La sostenibilidad de la huella hídrica puede ser considerada desde una serie de puntos de vista diferentes. Desde el punto de vista geográfico, se debe analizar si la

huella hídrica total dentro de una determinada área geográfica es sostenible. Normalmente, esta área se limita a una cuenca hidrográfica. La huella no sería sostenible cuando; por ejemplo, el caudal mínimo ecológico o las normas de calidad ambiental en una zona de captación se ven afectados; o cuando, la asignación de agua en la zona de captación sea injusta o ineficiente (Hoekstra, 2011).

Desde el punto de vista de un proceso, se debe preguntar si la huella total del proceso productivo es sostenible. La respuesta depende de dos criterios: el primero de ellos sería que la huella hídrica de un proceso no es sostenible cuando dicho proceso se sitúa en un período específico del año en una zona de captación o cuenca específica, donde la huella hídrica total no es sostenible. El segundo, que la huella hídrica de un proceso no sea sostenible en sí misma (independientemente del contexto geográfico) cuando las huellas hídricas verde, azul o gris del proceso puedan reducirse o evitarse completamente con un coste social y económico aceptable (Hoekstra, 2011).

Desde el punto de vista de un producto, se debería preguntar si la huella hídrica del producto es sostenible. La respuesta a esta pregunta depende de la sostenibilidad de las huellas hídricas de los procesos que son parte del sistema de producción del producto. Desde el punto de vista del productor, cabría preguntar si la huella hídrica del productor es sostenible. Como la huella hídrica de un productor es igual a la suma de las huellas hídricas de los productos elaborados por dicho productor, la respuesta a esta pregunta dependerá de la sostenibilidad de los productos elaborados por el productor (Hoekstra, 2011).

Por último, desde el punto de vista de un consumidor, cabría preguntar si la huella hídrica de este es sostenible. Como la huella hídrica del consumidor es igual a la suma de las huellas hídricas de todos los productos consumidos por él, la respuesta dependerá de la sostenibilidad de las huellas hídricas de todos los productos que haya consumido. Sin embargo, para analizar la sostenibilidad de la huella hídrica de un consumidor entra en juego otro criterio, ya que esta también depende de si su huella hídrica es menor o mayor que la proporción justa de huella hídrica que un individuo puede tomar, dadas las limitaciones de la huella hídrica humana (Hoekstra, 2011).

2.6. Huella de agua

Según la norma ISO – 14040, la huella de agua es una medición con la que se cuantifican los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua. En el caso de que los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua no hayan sido

evaluados integralmente, el término “huella de agua” solamente puede utilizarse si está acompañado por un calificativo. Un calificativo es una o varias palabras adicionales utilizadas en conjunto con el término “huella de agua” para describir la categoría o las categorías del impacto estudiadas en la evaluación de la huella de agua; por ejemplo: huella de agua por escasez, huella de agua por eutrofización, huella de agua no integral (Nota 1 a la entrada 3.3.1, ISO 14046:2014).

Para realizar una evaluación de la huella de agua se debe recopilar y analizar las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales ambientales relacionados con el agua utilizada o afectada, por un producto, un proceso, o una organización (3.3.2, ISO 14046:2014). Para que esta evaluación sea integral se debe cumplir con que todos los datos que proporcionen una contribución significativa a la evaluación de la huella de agua se incluyen en el inventario. A esto se le conoce como principio de integridad (3.3.3, ISO 14046:2014).

Dentro de la evaluación de la huella de agua se lleva a cabo una fase de la que implica la recopilación y la cuantificación de entradas y resultados relacionados con el agua para productos, procesos u organizaciones. Según la norma, esta fase se llama análisis del inventario de la huella de agua. Dentro de esto, se debe realizar un inventario directo y uno indirecto. El inventario de la huella de agua directo es el que considera las entradas y los resultados que derivan de las actividades dentro de los límites establecidos por la organización; mientras que el indirecto, es el que considera las entradas y los resultados que son consecuencia de las actividades de una organización pero que surgen de los procesos que son de su propiedad, o que están bajo el control de otras organizaciones (ISO 14046:2014). A la hora de realizar el inventario, todos los procedimientos de cálculo deben documentarse explícitamente y se deben especificar y explicar claramente las suposiciones realizadas. Se deberían aplicar los mismos procedimientos de cálculo regularmente a lo largo de todo el estudio.

La metodología de la huella de agua está basada en la norma ISO 14044:2006 Gestión ambiental – Análisis del ciclo de vida. Un ciclo de vida se puede definir como las etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final (3.1, ISO 14044:2006). Un análisis de ciclo de vida es una recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema de producto a través de sus ciclos de vida (3.2, ISO 14044:2006).

2.7. Declaración ambiental de producto

Los materiales de construcción juegan un papel importante en el impacto ambiental que tendrá una edificación; ya que en el proceso de su fabricación consumen recursos, generar residuos, demandan energía, agua, etc. Este proceso hace necesario contar con información comparable, cuantificable que permita valorar el impacto ambiental que tiene los productos en el momento de construir un proyecto sostenible. (Gutiérrez, 2020)

De acuerdo con las normas ISO, se definen tres tipos de etiquetado ambiental de un producto, y se clasifican en:

- Tipo I: Etiquetas verdes (Norma ISO 14024): Características del producto que lo hacen amigable con respecto a otros comparados
- Tipo II: Auto declaraciones Ambientales (Norma ISO 14021): Las cuales son avaladas por el mismo fabricante enfatizando ciertos requerimientos.
- Tipo III: Declaración Ambiental de un Producto (Norma ISO 14025): Contienen información sobre los datos ambientales de ciclo de vida de un producto o servicio.

Siendo el último Tipo III: Declaración Ambiental de un Producto (EPD por sus siglas en inglés Environmental Product Declaration) la de mayor credibilidad al ser la única que está sujeta a la verificación de la información por un ente tercero independiente, para luego ser publicadas y estar disponibles su información de manera online.

La EPD es un documento donde se muestran los impactos generados por un producto durante todo su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas, fabricación, transporte, uso, hasta disposición final. Para tener esta información, se realiza una evaluación de ciclo de vida basada en la norma ISO 14040.

Las EPD dividen el ciclo de vida de los productos por etapas. Estas etapas se dividen por módulos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Lista de módulos del análisis de ciclo de vida

Módulo	Etapa del producto			Etapa del proceso de construcción			Etapa de uso							Etapa de fin de vida				Etapa de recuperación de recursos
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
	Suministro de materia prima	Transporte	Fabricación	Transporte	Instalación de construcción	Uso	Mantenimiento	Reparación	Sustitución	Rehabilitación	Uso de energía en servicio	Uso de agua en servicio	Deconstrucción - demolición	Transporte	Tratamiento de residuos	Disposición - eliminación	Potencial de Reutilización-Recuperación-Reciclaje	

Fuente: Plycem, 2020

Para estos módulos se declaran distintas categorías y cada categoría presenta diferentes parámetros. En la Tabla 2 se muestran las categorías y parámetros que se declaran en las EPD:

Tabla 2. Categorías de una EPD

Categoría	Parámetros declarados
Impacto ambiental potencial	GWP: potencial de calentamiento global, ODP: potencial de agotamiento del ozono estratosférico, AP: potencial de acidificación, EP: potencial de eutrofización, POCP: potencial de formación de ozono troposférico ADPE: potencial de agotamiento abiótico para recursos no fósiles, ADPF: potencial de agotamiento abiótico para recursos fósiles, WS: potencial de escasez de agua
Uso de recursos	PERE: Uso de energía primaria renovable excluidos los recursos utilizados como materias primas, PERM: Uso de recursos de energía primaria renovable utilizados como materia prima, PERT: Uso total de recursos de energía primaria renovable, PENRE: Uso de energía primaria no renovable excluidos los recursos utilizados como materias primas, PENRM: Uso de recursos de energía primaria no renovable utilizados como materias primas, PENRT: Uso total de recursos de energía primaria no renovables, SM: Uso de materiales secundarios, RSF: Uso de combustibles secundarios renovables, NRSF: Uso de combustibles secundarios renovables, FW: uso neto de agua dulce
Generación de residuos y flujos de salida	HWD: Residuos peligrosos eliminados, NHWD: Residuos no peligrosos eliminados, RWD: Residuos radiactivos eliminados, CRU: Componentes para reutilización, MFR: Materiales para reciclaje, MER: Materiales para recuperación de energía, AEE: Energía exportada, electricidad, EET: Energía exportada, térmica

Fuente: Plycem, 2020

Con el dato reportado en el parámetro FW de la categoría Uso de recursos para los módulos A1, A2 y A3 en las EPD se puede estimar la huella hídrica indirecta de los diferentes materiales utilizados en la construcción. Además, con el valor del parámetro WS de la categoría Impactos ambiental de producto se podría estimar el potencial de escasez de agua que genera el producto.

2.8. Teoría de la producción más limpia

Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la teoría de Producción más Limpia (P+L) consiste en aplicar de forma continua una estrategia integrada de prevención ambiental en los procesos, los productos y los servicios (PNUMA, 1994). Esto se realiza con el objetivo de reducir riesgos para los seres humanos y para el medio ambiente, incrementar la competitividad de la empresa y garantizar la viabilidad económica. La P+L permite:

- El ahorro de materias primas, agua y energía.
- La eliminación, reducción y/o sustitución de materias peligrosas.
- La reducción de cantidad y peligrosidad de los residuos y las emisiones contaminantes.

La P+L contempla todos los procesos y todas las etapas de estos. Abarca desde la eficiencia energética, cambio de materias primas y ahorro de agua, hasta cambios en el diseño de los productos y servicios. Se puede lograr con cambios sencillos y sin costo alguno o con cambios tecnológicos que necesitarían una inversión inicial desde mediana hasta alta. Implementar la P+L tiene un conjunto de beneficios económicos, ambientales, de imagen, de seguridad para los trabajadores, entre otros; los cuales se puede relacionar de forma directa con la sostenibilidad de los procesos (PNUMA, 1994).

La P+L puede ser una herramienta importante para disminuir las huellas ambientales. Al utilizar los principios de esta teoría en la planificación y ejecución de proyectos constructivos se logra reducir la materia prima desperdiciada y con esto se genera un ahorro en la inversión y una disminución de las huellas ambientales que aplican para el proyecto; entre estas la huella hídrica.

2.9. Construcción sostenible

La Construcción Sostenible se puede definir como aquella que, teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más

saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales (Ramírez, 2002, p.30).

Este término no se enfoca únicamente en la infraestructura realizada, sino también el entorno que lo rodea, la rentabilidad económica del proyecto y la manera en que pueda afectar los criterios del desarrollo sostenible (Ramírez, 2002).

La construcción sostenible es un concepto muy importante debido a que puede beneficiar a todos los ámbitos involucrados en el proyecto. La construcción sostenible debe conservar y reutilizar los recursos, usar recursos que sean reciclables y renovables para la construcción. Se debe gestionar de forma correcta la materia prima que se piensa emplear y no desperdiciarla. Es importante que los materiales que sean de larga duración y que la estructura cumpla la vida útil para la que fue diseñada.

La construcción sostenible se enfoca en reducir la utilización de recursos disponibles a través de la reutilización, reciclaje, recuperación de recursos; efficientizar la utilización de todos los recursos disponibles; conservar las áreas naturales y la biodiversidad a través del uso eficiente del terreno y prevención de emisiones tóxicas; y mantener un ambiente interior saludable que cuente con ventilación efectiva, uso de materiales menos tóxicos, disminución de ruidos, olores y de contaminación (Alavedra et. al., 2014).

Para medir la sostenibilidad de un sistema se pueden valorar algunos indicadores, los cuales pueden enfocarse en cada elemento de sostenibilidad o recurso que se pretenda medir, como lo son el agua, la energía, el combustible, los materiales utilizados, la generación de residuos y la biodiversidad en el proyecto. Estos indicadores pueden ser de estado, describiendo el estado en el que se encuentra la variable, o de control, midiendo un proceso que influirá en el estado de la variable (Bell & Morse, 2008).

2.10. Sistemas de gestión ambiental

Un sistema de gestión ambiental es una herramienta o metodología de carácter voluntario que se aplica para poder desarrollar e implementar una política medioambiental sostenible. Para lograr establecer y mantener dichas políticas, el SGA estará sometido a una serie de actividades interrelacionadas en las que se incluye el desarrollo de la estructura organizativa, responsabilidades, prácticas, planificación, procedimientos, procesos, recursos, corrección y prevención; todos esos destinados al objetivo común de la protección ambiental (EcuRed, s.f.).

El objetivo de los SGA es ahorrar y optimizar el consumo de materias primas y otros tipos de recursos; además de prevenir y controlar la generación de emisiones, residuos y vertidos. También se busca mejorar la eficiencia de los procesos, al vincular sistemas de gestión ambiental y sistemas de gestión de calidad (EditorR, 2016).

Los SGA se encuentran basados en el ciclo de mejora Deming; pues se convierte en el conjunto de procedimientos por el cual se puede definir de mejor manera las actividades que pueden causar impactos ambientales. El ciclo Deming es el sistema más utilizado para implantar planes de mejora continua. Recibe el nombre de Edwards Deming, quien fue su principal impulsor, pero también se conoce como ciclo PHVA que son las siglas de Planificar, Hacer, Verificar y Actuar, o PDCA en inglés (Plan, Do, Check, Act) (Envira, 2020).

Los principales tipos de SGA son:

- ISO- 14001: Es un tipo formal, que hace parte de las normas ISO 14000 utilizadas internacionalmente para realizar la Gestión de Sistemas Ambientales. Su primera publicación se dio en 1996 como parte de un llamado a la sostenibilidad y ha ido avanzando hasta la versión del 2015 que se adapta a las necesidades de la actualidad.
- EMAS (Ecos Management and Audit Scheme): Es un tipo de SGA normalizado por la Unión Europea. Aplica únicamente a los estados miembros, quienes deberán disponer de las estructuras necesarias para que las organizaciones mejoren su rendimiento ambiental.

Al aplicar un SGA en un proyecto de construcción se aumenta la eficiencia en los procesos constructivos y en el consumo de materiales. Esto se convierte en una acción directa para disminuir las huellas ambientales.

En el caso específico de la huella hídrica, utilizar el ciclo PHVA con el fin de optimizar los materiales utilizados en el proyecto es crucial para disminuir la huella indirecta del proyecto. Además, la utilización de buenas prácticas de consumo ayuda a disminuir la huella hídrica azul directa.

2.11. Sistemas de evaluación de sostenibilidad en la construcción

Para certificar las construcciones sostenibles hay organizaciones que establecen los estándares de calidad ambiental o sistemas de evaluación de sostenibilidad. Actualmente, existen múltiples herramientas para la evaluación y certificación ambiental de proyectos de construcción, las cuales proporcionan un marco para evaluar el nivel de

eficiencia de las edificaciones con base en parámetros de emplazamiento sostenible, eficiencia en el uso de agua y energético, materiales y recursos, calidad ambiental, innovación y diseño; tanto en la fase de diseño como en las fases de construcción, puesta en marcha y utilización de la edificación (Susunaga, 2014). Algunos de estos sistemas son:

- BREEAM (Building Research Establishment´s Environmental Assessment Method)
- CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency)
- LBC (Living Building Challenge)
- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)
- EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies)
- RESET (Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico)
- PBAE-CS (Programa Bandera Azul Ecológica – Construcción Sostenible)

Como la sostenibilidad de una edificación también depende del entorno y el contexto en el que se va a construir, se debe elegir un sistema de evaluación de sostenibilidad acorde al proyecto. En Costa Rica, los sistemas de acreditación que están más adecuados a la realidad nacional son RESET y PBAE-CS; sin embargo, cada proyecto de construcción debe ser analizado para implementar estrategias óptimas de sostenibilidad.

El Manual de Procedimientos PBAE en la categoría XV Construcción Sostenible tiene como objetivo específico implementar medidas que permitan gestionar el consumo de agua desde el proceso de diseño hasta la fase constructiva de las obras (PBAE, 2019). Para cumplir este objetivo se tiene como parámetro de evaluación de la incorporación de estrategias de ahorro de agua en la planificación del proyecto para el proceso constructivo y operativo.

También contempla como parámetro de evaluación para la etapa constructiva del proyecto la incorporación de estrategias o uso de dispositivos de ahorro de agua en los sistemas temporales que se emplean durante el proceso constructivo y el aprovechamiento de fuentes alternativas de recurso hídrico de acuerdo con el tipo de procesos constructivos que se ejecuta. (PBAE, 2019). Al aplicar estrategias para la reducción de la HH en un proyecto constructivo, se cumple con los parámetros de evaluación anteriormente mencionados. Por esta razón, se puede decir que reducir la HH es importante para obtener el galardón PBAE-CS.

Capítulo 3. Metodología

En la Figura 4 se muestra un diagrama de flujo la metodología que se siguió en el desarrollo del proyecto.

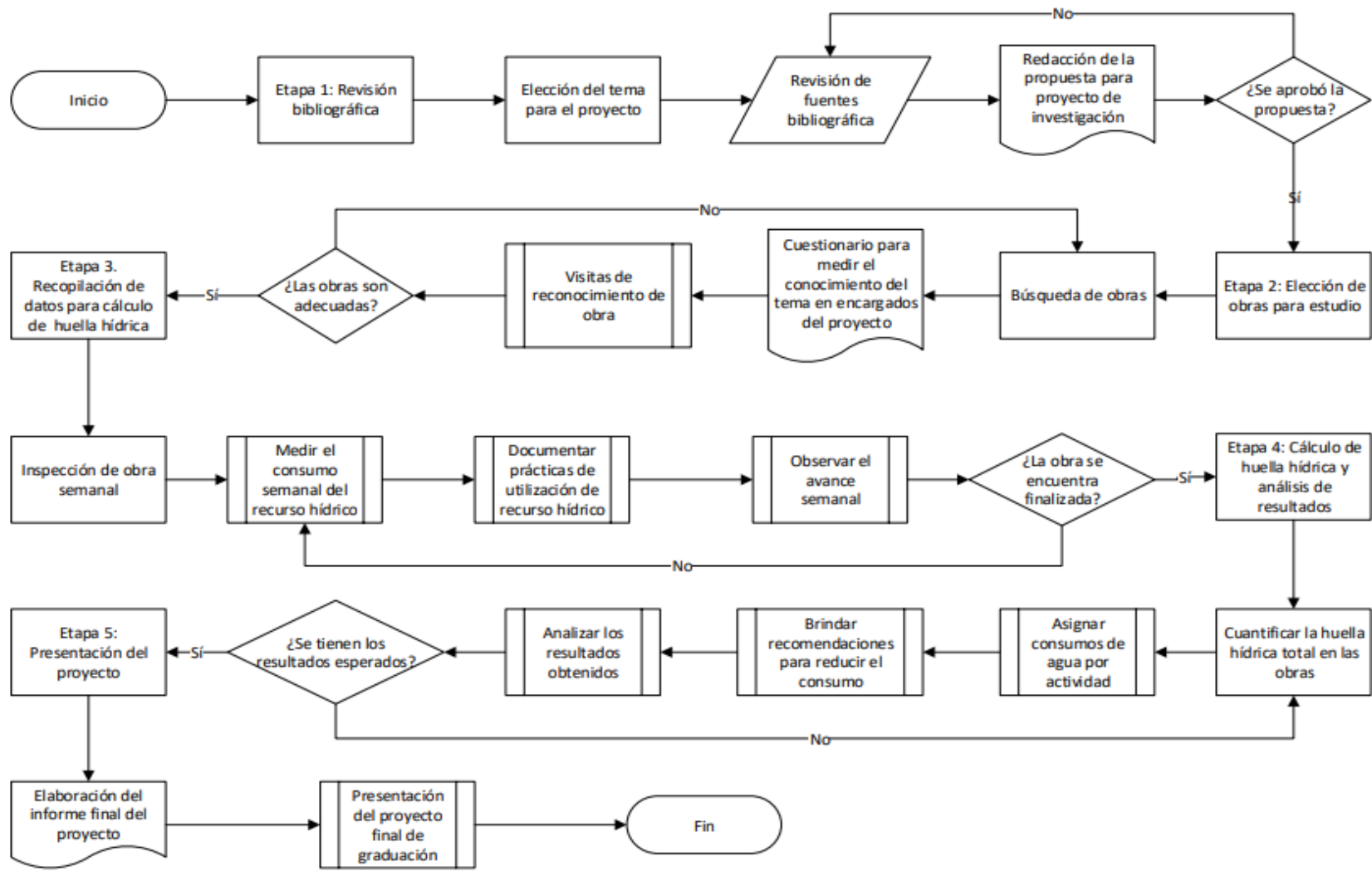


Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología a utilizar

3.1. Etapa 1: Revisión bibliográfica

En la primera etapa del proyecto se contemplaron fuentes confiables relacionadas con la huella hídrica, la construcción sostenible y la teoría de la producción más limpia. Esta información se utilizó como guía o referencia durante el curso del proyecto. La investigación documental dio su inicio para la elaboración de esta propuesta.

3.2. Etapa 2: Elección de obras para estudio

Para la elección de los proyectos a incluir en la investigación se verificó que cumplan con lo establecido en el alcance del proyecto. Luego se realizó una breve entrevista al encargado del proyecto con el fin de medir el nivel de conocimiento que se tenga del tema; ya que, esto afecta directamente en la investigación. Luego se realizó una visita de reconocimiento al lugar en el que se iniciarán las obras.

3.3. Etapa 3: Recopilación de datos para cálculo de huella hídrica

La cuantificación en cada proyecto inició el día en el que se colocan los medidores de agua. Luego de esto se hizo una visita semanal con el objetivo de registrar la lectura de la cantidad de agua que se ha consumido en el proceso constructivo. La visita se aprovechó para observar el avance de la obra, cuantificar la cantidad de materiales que han sido incluidos en el proyecto y documentar las prácticas de consumo en el recurso hídrico. También, en la visita se realizó la prueba de porcentaje de desperdicio para estimar el volumen de agua que se ha malgastado en la semana.

Esta etapa fue crítica debido a que los resultados del proyecto dependen de la validez de los datos tomados. Además de esto, el proceso de análisis de resultados no inició hasta contar con la totalidad de los datos.

3.4. Etapa 4: Cálculo de huella hídrica y análisis de resultados

Con los datos obtenidos de las mediciones se procede a realizar el cálculo de la huella hídrica con la ecuación 1. La huella hídrica indirecta se estima dependiendo los materiales utilizados en la obra. Para realizar esta estimación, se utilizaron datos de declaraciones ambientales de producto (EPD) para los materiales utilizados en la obra. Si el material utilizado no posee una EPD, se utiliza una de un material con un proceso productivo similar al utilizado en la obra.

De las EPD se obtuvieron datos de huella azul, huella verde y potencial de escasez de agua por unidad de material en la construcción. Aplicando estos factores a los materiales consumidos en el proyecto se pudo estimar una huella hídrica total. Con esta

huella hídrica se calculó una tasa de consumo de agua por metro cuadrado de construcción para utilizarse como indicador global para el sector de construcción.

Comparando el consumo semanal de agua con el avance del proyecto se calculó el porcentaje de agua consumida por cada actividad. Esto se realizó con el fin de identificar las actividades en las que se consume una mayor cantidad de agua y optimizar el consumo de este recurso.

En síntesis, se obtuvieron los siguientes índices:

- Huella hídrica azul directa
- Huella hídrica azul directa por metro cuadrado de obra
- Huella hídrica azul total
- Huella hídrica total estimada
- Huella hídrica total estimada por metro cuadrado de obra
- Metros cúbicos de consumo directo contra avance semanal

Capítulo 4. Datos de campo para proyectos de estudio

4.1. Definición de información y datos requeridos

A continuación, se detalla la información necesaria para desarrollar el proyecto

4.1.2. Medición semanal de agua

El proyecto debe contar con un hidrómetro con el fin de cuantificar el consumo de agua. Este hidrómetro puede ser colocado por el desarrollador del proyecto o por la compañía que suministra el agua potable. Se debe verificar que el hidrómetro cumpla con las siguientes características a la hora de su instalación para no provocar errores en las mediciones:

- Debe estar instalado en una superficie plana y dura o un poste alto chorreado, bien nivelado
- No debe estar instalado en áreas o pasos de vehículos. Por ejemplo: parqueos o entradas de garaje.
- Se debe encontrar en posición horizontal.
- Debe tener instalada una válvula "check", para evitar el flujo inverso (el agua se puede devolver de la propiedad al tubo madre, cuando hay menos presión de agua).

- Se debe verificar que las conexiones presenten el diámetro adecuado, para evitar cambios bruscos de presión.

Se debe realizar una visita semanal al sitio del proyecto para verificar el avance en la obra, realizar una observación al hidrómetro y asignar el consumo de agua a las actividades realizadas en la semana. La suma de los consumos semanas es el equivalente a la huella hídrica azul directa del proyecto. En la Figura 5 y Figura 6 se muestra los hidrómetros colocados en los proyectos en estudio.



Figura 5. Hidrómetro proyecto 1



Figura 6. Hidrómetro proyecto 2

4.1.3. Prueba de porcentaje de desperdicio de agua

Con el objetivo de estimar un porcentaje de desperdicio de agua en la construcción por la mala utilización de las herramientas de consumo se realizó una prueba semanal. El procedimiento de la prueba consiste en realizar tres mediciones del volumen de agua que se desperdicia en un minuto; como se muestra en la Figura 7, para luego realizar la medición del volumen en mililitros como se muestra en la Figura 8.



Figura 7. Recolección de volumen de desperdicio en un minuto, proyecto 2, Semana 5

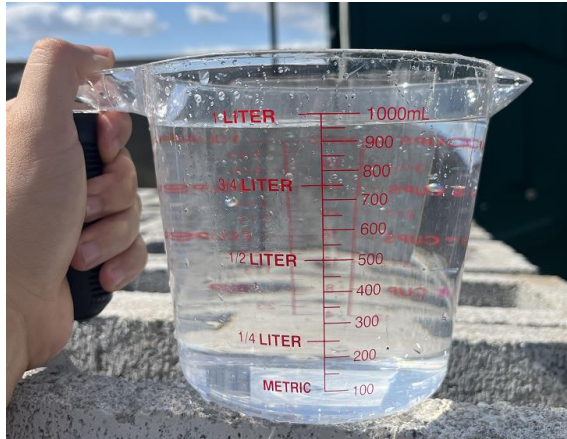


Figura 8. Medición de ml desperdiciados en un minuto, proyecto 2, Semana 5

Luego se realiza una medición del volumen de salida de la manguera en un minuto como se muestra en la Figura 9; este volumen se considera como uso efectivo en el proyecto.



Figura 9. Toma de muestra de volumen de salida en un minuto, proyecto 2, Semana 5.

Semanalmente, los datos se reportan como muestra la Tabla 3. Las mediciones se reportan como caudales con unidades de milímetros por minuto. De las tres mediciones de desperdicio se toma un promedio; el cual se suma al caudal de salida de la manguera para tener el caudal total. Con el dato de desperdicio promedio y el caudal total se saca el porcentaje de desperdicio por semana.

Tabla 3. Ejemplo de reporte de datos de prueba de desperdicio, proyecto 2, Semana 5

Semana		5
Muestra 1	920.00	ml/min

Semana		5
Muestra 2	940.00	ml/min
Muestra 3	940.00	ml/min
Promedio	933.33	ml/min
Caudal de salida	1830.00	ml/min
Caudal Total	2763.33	ml/min
Porcentaje de caudal perdido	34%	

4.1.4. Medición semanal de energía

El proyecto debe tener un medidor de energía con el fin de cuantificar el consumo en la construcción y asociarle la huella de agua respectiva. Semanalmente se realizó una medición con el fin de calcular la huella hídrica asociada a la generación de la energía consumida en los proyectos. Por temas administrativos del condominio, en el proyecto 1 no hay medidor eléctrico; por esta razón, no se puede incluir la huella hídrica asociada al consumo de energía para este proyecto. El medidor colocado en el proyecto 2 se muestra en la Figura 10.



Figura 10. Medidor de energía en proyecto 2

La matriz energética del país se muestra en la Figura 11. De esta podemos ver que el 67.50% de la energía producida en Costa Rica es hidroeléctrica. Este tipo de energía tiene una huella hídrica asociada a la evaporación en las presas. El dato del total de energía utilizado en el proyecto se multiplica por el porcentaje de energía

hidroeléctrica y luego por el factor de huella hídrica azul. Por ejemplo, en un proyecto que utilice un total de 100 KW de energía, solo se multiplica por el factor de huella asociado la cantidad de 67.5KW debido a que esto corresponde a la energía hidroeléctrica.

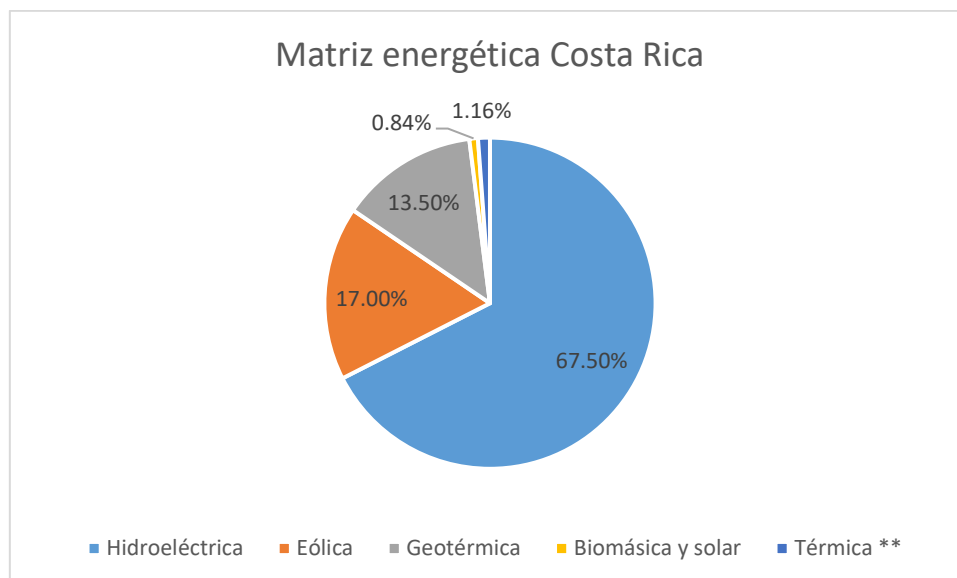


Figura 11. Matriz energética de Costa Rica

Elaborado por: Mora, 2022

Fuente: Centro Nacional de Control de la Energía (CENCE), 2019

Notas:

(*) Porcentajes corresponden a la capacidad instalada en el país.

(**) Fuente de respaldo, es decir, que se utiliza solamente cuando las otras no suplen la demanda energética

4.1.5. Cuantificación de materiales consumidos

Para el cálculo de la huella hídrica indirecta de cada proyecto, es necesario contar con la lista de materiales utilizados en la obra. En esta lista se debe reportar claramente las cantidades y las unidades de medición de cada material. En el anexo A2 y A4 se puede observar las listas de materiales completas de cada proyecto analizado.

4.1.6. Equipo y consumo de combustible

Con el objetivo de cuantificar la huella hídrica asociada a la producción del combustible utilizado en la obra se debe tener registro del equipo empleado en el proyecto y el tiempo que este se utilizó. El equipo típico que utiliza combustible en las construcciones de vivienda unifamiliar es una retroexcavadora, vagonetas, mezcladora de concreto y bomba de concreto. En la Figura 12 y Figura 13 se muestran las

retroexcavadoras utilizadas en los proyectos. La retroexcavadora de orugas de la Figura 12 es de la marca Volvo, modelo EC240B, con un tanque de 350 litros de combustible y potencia efectiva de 180 HP (134kW) según su ficha técnica; mientras que la retroexcavadora de la Figura 13 es de la marca Volvo, modelo BL60B, con un tanque de 120 litros de combustible y potencia efectiva de 83 HP (62 kW) según su ficha técnica.



Figura 12. Retroexcavadora utilizada en proyecto 1



Figura 13. Retroexcavadora utilizada en proyecto 2

En la Figura 14 se muestra el camión mezclador y la bomba típicos de la empresa encargada de la producción e instalación del concreto premezclado en el proyecto.



Figura 14. Camión mezclador y bomba típicas de la empresa AGRECON

Fuente: Zúñiga, 2016.

Para el cálculo de del consumo de combustible se utiliza el gráfico de la Figura 15. Dicha figura representa un modelo ajustado que muestran la relación de la potencia

(N) con consumo horario (Gh) para motores Diesel. Del gráfico se obtiene la información de la Tabla 4.

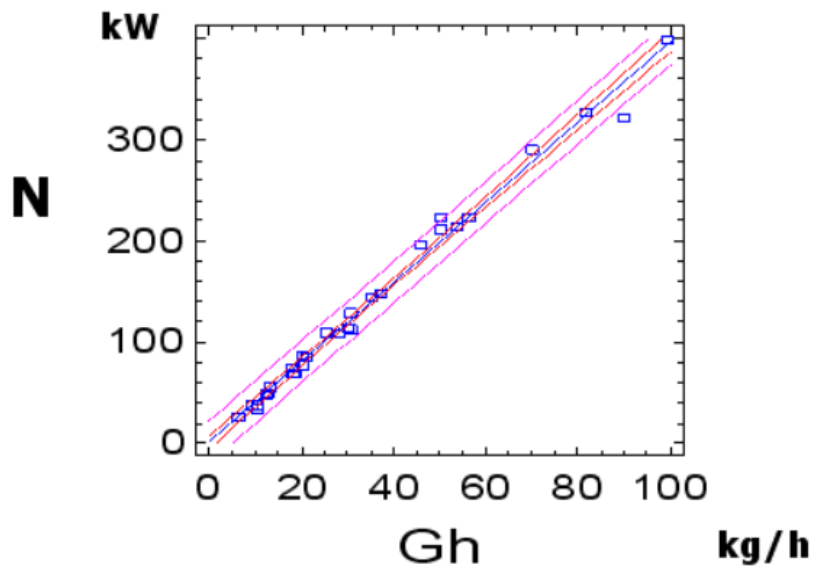


Figura 15. Potencia/consumo horario para motores de combustión
Fuente: González, 2010

Tabla 4. Parámetros de la correlación Potencia/consumo horario para motores de combustión

Parámetros	Valor
Coefficiente de correlación	0.995
R ²	99.044%
R ² (ajustado)	99.011%
Error estándar	9.864
Error absoluto medio	6.084
P-valor	<0.010

Fuente: González, 2010

Del modelo se obtiene la siguiente ecuación:

$$N = 1.193 + 3.957 \cdot Gh \quad [3]$$

Donde:

N = kW de potencia del motor

Gh = kg/h de combustible consumido

Tomando 850 kg/m^3 como la densidad del Diesel clase A se obtienen los metros cúbicos de consumo de combustible por hora de la Tabla 5:

Tabla 5. Consumo de combustible del equipo

Equipo	kW	kg/h	m³/h
Volvo BL60B	62	15.367	0.0181
Volvo EC240B	134	33.562	0.0395
Camión mezclador 8 m ³	284	71.470	0.0841

4.1.7. Datos de huella hídrica asociada a materiales de construcción

Para generar una base de datos de huella hídrica azul y verde válida, se analizaron declaraciones ambientales de producto (EDP) de distintos materiales de construcción según se muestra en los diagramas de la Figura 16 y Figura 17.

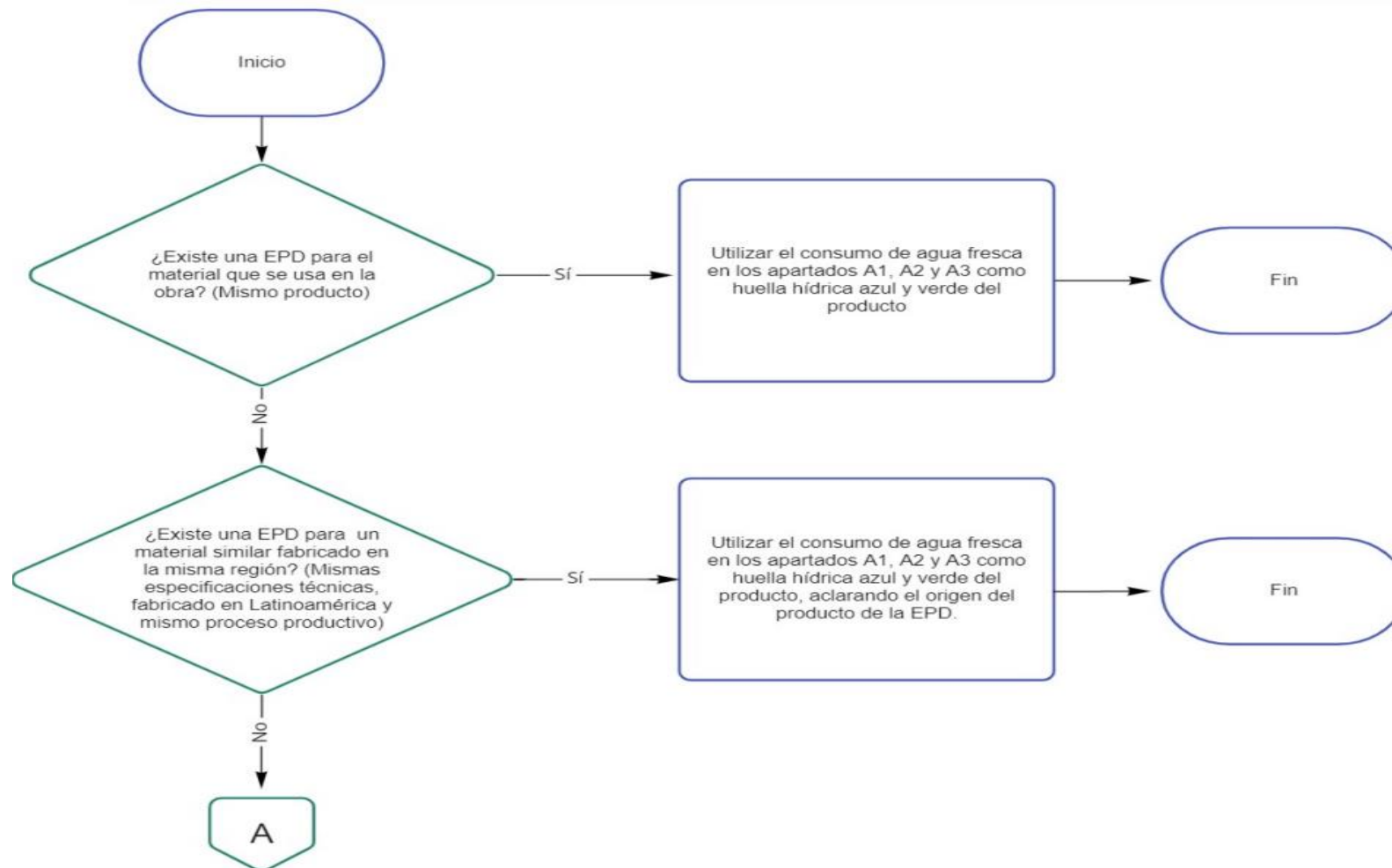


Figura 16. Diagrama de flujo para elección del factor de huella hídrica para distintos materiales de construcción

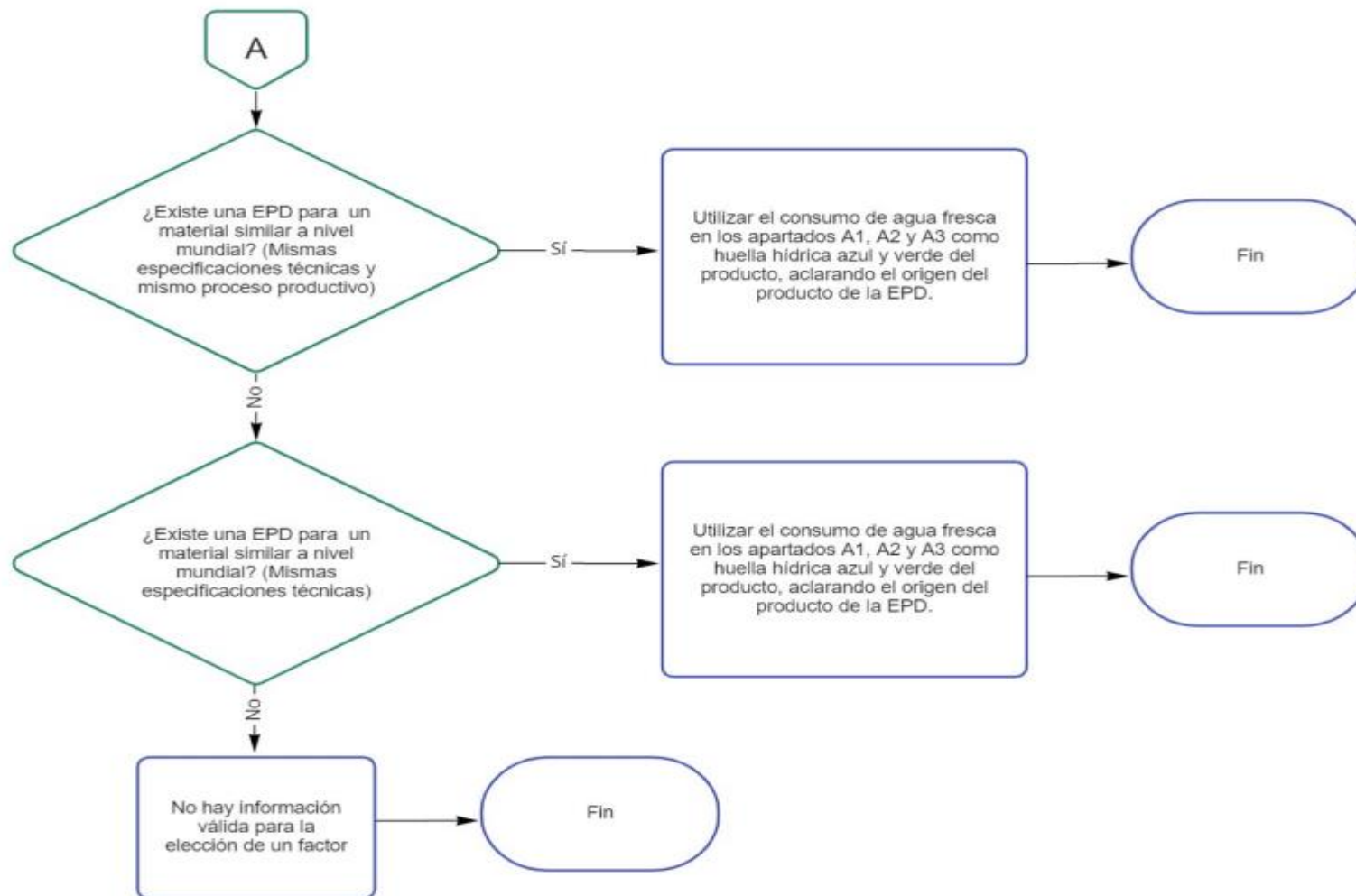


Figura 17. Diagrama de flujo para elección del factor de huella hídrica para distintos materiales de construcción (cont.)

Como resultado de dicho análisis, se obtiene la Tabla 6:

Tabla 6. Base de datos de huella hídrica

Material	Unidad	Para Huella hídrica expresa en m ³ de agua por unidad de material		Fuente
		Huella azul	Huella Verde	
Acero de refuerzo soldable	ton	32.81	NA	CAP Acero, 2020
Acero de refuerzo no soldable	ton	32.72	NA	CAP Acero, 2020
Bloques de concreto	m ³	1.040	NA	ASTM International, 2016
Madera blanda aserrada	m ³	1.01	291	WoodSolutions, 2020
Madera dura aserrada	m ³	1.17	927	WoodSolutions, 2020
Plywood	m ³	0.094	15.1	WoodSolutions, 2020
Agregados	ton	2.26	NA	Holcim rumania, 2020
Poliestireno	m ³	0.34	NA	Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), 2017
PVC-U presión	kg	0.732-0.751	NA	Iplex y Vinindex, 2020
PVC-O presión	kg	0.705-0.731	NA	Iplex y Vinindex, 2020
PVC-M presión	kg	0.748-0.775	NA	Iplex y Vinindex, 2020
PVC sin presión y conduit	kg	0.716-0.792	NA	Iplex y Vinindex, 2020
Concreto premezclado	m ³	6.33	NA	Cementos Bio Bio S.A, 2018
Cemento industrial en saco	ton	1.15	NA	Holcim CR, 2019
Cemento industrial a granel	ton	0.98	NA	Holcim CR, 2019
Cemento fuerte en saco	ton	0.94	NA	Holcim CR, 2019
Cemento fuerte a granel	ton	0.77	NA	Holcim CR, 2019
Plyrock	ton	3.54	NA	Plycem CR, 2020
Trims	ton	3.56	NA	Plycem CR, 2020
Fibrolit	ton	3.80	NA	Plycem CR, 2020
Plystone	ton	3.66	NA	Plycem CR, 2020
Siding	ton	4.12	NA	Plycem CR, 2020
Plydeck	ton	6.97	NA	Plycem CR, 2020
Acero galvanizado, pintado y troquelado	ton	13.20	NA	Ternium México, 2019
Lámina TRD 91.5	ton	12.20	NA	Ternium México, 2019
Vigas y columnas de acero	ton	10.80	NA	Ternium México, 2019
Stud	ton	9.30	NA	Ternium México, 2019
Canoas metálicas	ton	11.40	NA	Ternium México, 2019

Material	Unidad	Para Huella hídrica expresada en m ³ de agua por unidad de material		Fuente
		Huella azul	Huella Verde	
Metaldeck	ton	13.20	NA	Ternium México, 2019
Pintura	kg	0.037	NA	Macy, 2022
Pintura elástica	kg	0.140	NA	Macy, 2022
Pintura anticorrosiva	kg	0.110	NA	Macy, 2022
Barniz	kg	0.04	NA	Macy, 2022
Esmaltes	kg	0.06	NA	Macy, 2022
Cerámica	m ²	0.026	NA	Keraben Grupo, 2022
Porcelanato	m ²	0.034	NA	Keraben Grupo, 2022
Azulejo	m ²	0.027	NA	Keraben Grupo, 2022
Teja Asfáltica	m ²	0.239	NA	EWA, 2021
Mortero de pega	ton	1.970	NA	Euromix, 2019
Energía hidroeléctrica	GJ	22.30	NA	Hoeskstra, 2012
Gasolina (Diesel)	m ³	6	NA	WaterFootprint Calculator, 2017
Ventana doble vidrio	m ²	0.17	NA	Saint Gobain, 2022
Ventana triple vidrio	m ²	0.23	NA	Saint Gobain, 2022
Ventana Polarizada 3 mm	m ²	0.0152	NA	Saint Gobain, 2021
Ventana Polarizada 4 mm	m ²	0.0203	NA	Saint Gobain, 2021
Ventana Polarizada 5 mm	m ²	0.0254	NA	Saint Gobain, 2021
Ventana Polarizada 6 mm	m ²	0.0304	NA	Saint Gobain, 2021
Gypsum	m ²	0.0175	NA	Plaka, 2021
Furring	ml	0.0203	NA	Saint Gobain, 2021

4.2. Descripción de proyectos de estudio

4.2.1. Proyecto 1

El proyecto se encuentra en la provincia San José, en el cantón Alajuelita, en el distrito San Felipe, en el Condominio Vistara. La obra consiste en una vivienda unifamiliar de 3 niveles con un área de construcción de 187 m². En la Figura 18 se muestra una renderización del resultado final del proyecto y en la Figura 19 una fotografía de la última semana de toma de datos del proyecto.



Figura 18. Imagen del resultado final del proyecto

Fuente: Prodesa, 2021

Se evidencia que los datos para la estimación de la huella incluyeron toda la obra gris, el techado y algunos acabados como ventanas y cielos según se refleja en la Figura 19.



Figura 19. Proyecto 1 en semana 30

4.2.2. Prácticas de consumo en el proyecto 1

En las visitas semanales se documentaron las siguientes prácticas en el consumo de agua potable en el proyecto:

- En el proyecto existe una única llave de chorro de la que sale todo el caudal que se consume. Esta llave se puede ver en la Figura 20



Figura 20. Única llave de chorro, proyecto 1

- A la hora de conectar la manguera de manera incorrecta, se generan desperdicio como se observa en la Figura 21



Figura 21. Desperdicio de agua en proyecto 1

- Se mantiene lleno con agua un estañón como se ve en la Figura 22. El agua que permanece almacenada se suele utilizar para lavar herramientas o para dosificar en el concreto hecho en obra como se muestra en la Figura 23



Figura 22. Estañón de recolección de agua, proyecto 1



Figura 23. Forma en la que se recolecta el agua para dosificar en el concreto hecho en obra

- Cuando se levanta un nuevo nivel, el estañón se coloca en dicho nivel para facilitar los procesos constructivos como se muestra en la Figura 24



Figura 24. Estañón de recolección de agua nivel 2, proyecto 1

- El estado de la manguera es adecuado; sin embargo, presenta una pequeña fuga que se reparó con material tomado de un saco de polipropileno tejido como se muestra en la Figura 25

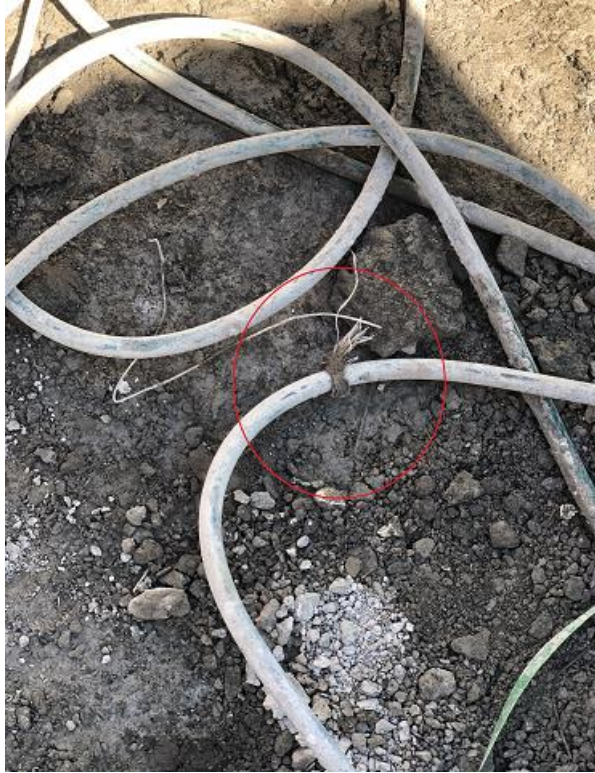


Figura 25. Estado de la manguera en proyecto 1

4.2.3 Proyecto 2

El proyecto se encuentra en la provincia Heredia, en el cantón Santo Domingo, en el distrito Santo Domingo, en el Condominio Paso Domingo. La obra consiste en una vivienda unifamiliar de 2 niveles con un área de construcción de 180.35 m². En la Figura 26 se muestra una imagen del proyecto en la última semana de toma de datos. En dicha figura evidencia que los datos para la estimación de la huella se recolectaron hasta la última semana de trabajos.



Figura 26. Proyecto 2, semana 19

4.2.4. Prácticas de consumo en el proyecto 2

De las visitas semanales, se documentaron los siguientes han documento las siguientes prácticas en el consumo de agua potable en el proyecto:

- En el proyecto existe una única llave de chorro de la que sale todo el caudal que se consume en el proyecto. Esta llave se puede ver en la Figura 27.



Figura 27. única llave de chorro proyecto 2

- Al igual que en el proyecto 1, se mantiene un estañón lleno como se muestra en la Figura 28. Este es utilizado para lavar herramientas o para dosificar en el concreto hecho en obra.



Figura 28. Estañón de recolección de agua, proyecto 2

- En las primeras semanas del proyecto, el estado de la conexión de la manguera a la llave de chorro era deplorable. Carecía de empaque como se muestra en la Figura 29. Esto generaba un gran desperdicio de agua en el proyecto.



Figura 29. Estado de la manguera en proyecto 2

- Se intentó reparar colocando una bolsa plástica como se logra observar en la Figura 30; sin embargo, esto no generó mejoras en la disminución del desperdicio del agua potable.



Figura 30. Estado de la manguera en proyecto 2 (b)

- En la semana 10 se cambió la manguera por una que si tenía las condiciones óptimas. Además, la conexión con la llave de chorro se reforzó con un alambre para dar estabilidad como se observa en la Figura 31. Con este cambio se eliminó el desperdicio de agua potable generado por la mala conexión de la manguera.

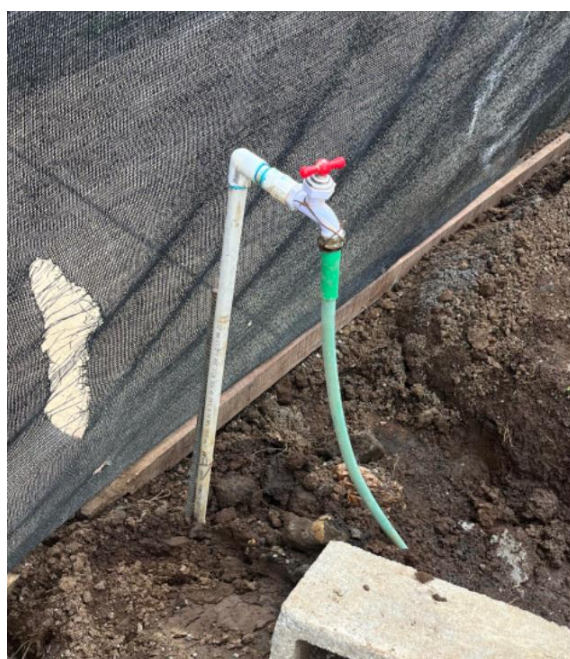


Figura 31. Corrección a la instalación de la manguera en proyecto 2

4.3. Datos recolectados

4.3.1. Consumo de agua

De las visitas semanales se obtuvieron los números reflejados en la Tabla 7 y Tabla 8. Dicha tabla refleja los datos tomados del medidor semanalmente. El consumo de agua potable por semana se calculó con la siguiente expresión:

$$\text{Consumo Potable}_n = \text{Lectura del medidor}_n - \text{Lectura del medidor}_{(n-1)} \quad [3]$$

El consumo de agua de cosecha se obtuvo mediante la recolección de agua llovida en un estañón. El consumo total de agua semanal es la suma del consumo de agua potable y el consumo de agua de cosecha.

Tabla 7. Datos de consumo directo semanal en el proyecto 1

Semana	Fecha	Lectura del medidor (m ³)	Consumo de agua potable (m ³)	Consumo de agua de cosecha (m ³)	Consumo de agua total (m ³)	Consumo de agua total acumulado (m ³)
1	16/11/2021	0.2862	0.2862		0.2862	0.2862
2	23/11/2021	9.7243	9.4381		9.4381	9.7243
3	30/11/2021	11.3809	1.6566	0.1700	1.8266	11.5509
4	7/12/2021	14.6326	3.2517		3.2517	14.8026
5	14/12/2021	18.1342	3.5016		3.5016	18.3042
6	21/12/2021	19.6928	1.5586		1.5586	19.8628
7	29/12/2021	21.8426	2.1498		2.1498	22.0126
8	4/1/2022	24.2085	2.3659		2.3659	24.3785
9	11/1/2022	27.1553	2.9468		2.9468	27.3253
10	18/1/2022	28.7006	1.5453		1.5453	28.8706
11	26/1/2022	29.3715	0.6709		0.6709	29.5415
12	1/2/2022	31.9813	2.6098		2.6098	32.1513
13	8/2/2022	35.3359	3.3546		3.3546	35.5059
14	15/2/2022	37.8135	2.4776		2.4776	37.9835
15	22/2/2022	42.1862	4.3727		4.3727	42.3562
16	1/3/2022	46.1929	4.0067		4.0067	46.3629
17	8/3/2022	49.6849	3.492		3.492	49.8549
18	15/3/2022	52.5546	2.8697		2.8697	52.7246
19	22/3/2022	55.6536	3.099		3.099	55.8236
20	29/3/2022	58.3165	2.6629		2.6629	58.4865
21	6/4/2022	60.4002	2.0837	0.5000	2.5837	61.0702
23	19/4/2022	61.5207	1.1205	2.5000	3.6205	64.6907
24	26/4/2022	62.4166	0.8959	2.3000	3.1959	67.8866
25	3/5/2022	62.7446	0.328		0.328	68.2146
26	10/5/2022	63.2223	0.4777		0.4777	68.6923
27	17/5/2022	63.5541	0.3318		0.3318	69.0241
28	24/5/2022	65.3457	1.7916		1.7916	70.8157

Semana	Fecha	Lectura del medidor (m ³)	Consumo de agua potable (m ³)	Consumo de agua de cosecha (m ³)	Consumo de agua total (m ³)	Consumo de agua total acumulado (m ³)
29	31/5/2022	66.2254	0.8797		0.8797	71.6954
30	7/6/2022	69.5223	3.2969		3.2969	74.9923

Tabla 8. Datos de consumo directo semanal en el proyecto 2

Semana	Fecha	Lectura del medidor (m ³)	Consumo de agua potable (m ³)	Consumo de agua de cosecha (m ³)	Consumo de agua total (m ³)	Consumo de agua total acumulado (m ³)
1	2/2/2022	1.0518	1.0518	0	1.0518	1.0518
2	9/2/2022	4.4269	3.3751	0	3.3751	4.4269
3	16/2/2022	6.1302	1.7033	0	1.7033	6.1302
4	24/2/2022	12.3546	6.2244	0	6.2244	12.3546
5	2/3/2022	15.1513	2.7967	0	2.7967	15.1513
6	9/3/2022	18.4361	3.2848	0	3.2848	18.4361
7	16/3/2022	18.6138	0.1777	0	0.1777	18.6138
8	24/3/2022	20.6364	2.0226	0	2.0226	20.6364
9	30/3/2022	26.694	6.0576	0	6.0576	26.694
10	6/4/2022	29.9999	3.3059	1.7	5.0059	31.6999
12	20/4/2022	33.808	3.8081	1	4.8081	36.508
13	28/4/2022	36.946	3.138	0.35	3.488	39.996
14	5/5/2022	41.6328	4.6868	0.7	5.3868	45.3828
15	12/5/2022	42.8746	1.2418	0.35	1.5918	46.9746
16	19/5/2022	45.5745	2.6999	0	2.6999	49.6745
17	26/5/2022	46.2407	0.6662	0	0.6662	50.3407
18	2/6/2022	47.2258	0.9851	0	0.9851	51.3258
19	7/6/2022	51.0155	3.7897	0	3.7897	55.1155

En la Figura 32 se muestran gráficamente los datos recolectados por el proyecto 1. Se puede apreciar que el consumo total acumulado presenta un crecimiento de tendencia lineal. El consumo de agua de cosecha es puntual en las semanas 3, 21, 23 y 24. Este consumo se puede considerar bajo debido a la época del año en la que se realiza el proyecto; ya que son los meses típicos de la estación seca en el país. El bajo consumo entre la semana 25 y la semana 30 se debe a una caída en el rendimiento del proceso constructivo debido a limitaciones en la mano de obra y flujo de caja.

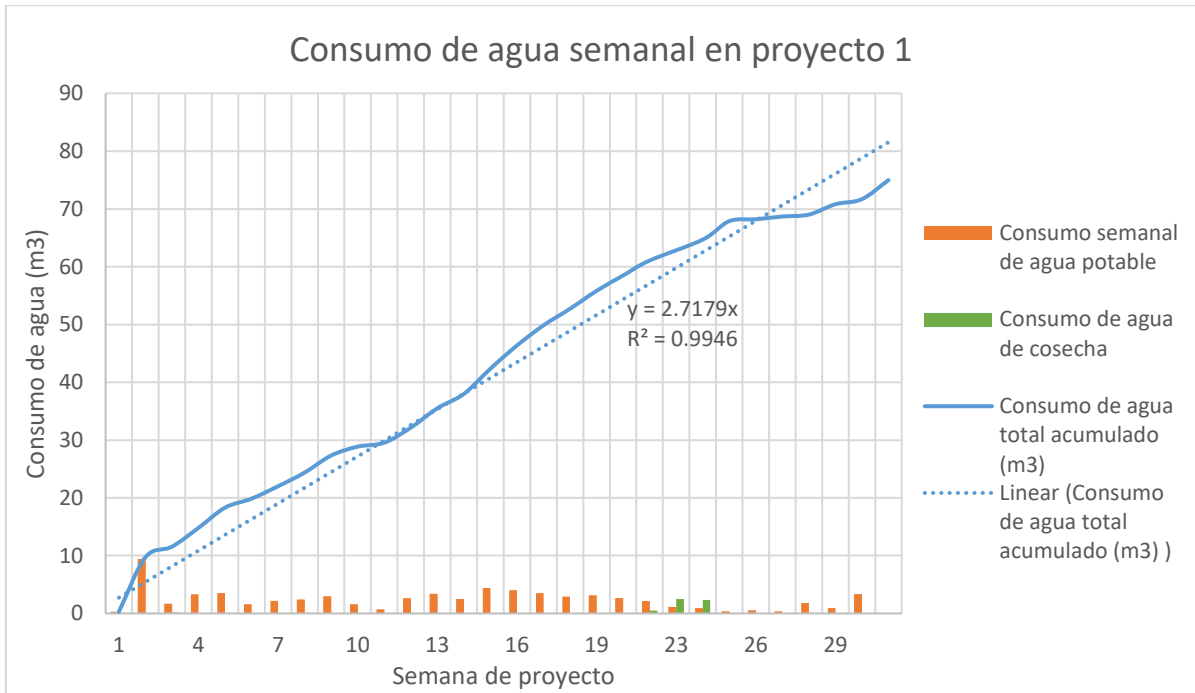


Figura 32. Consumo de agua por semana en proyecto 1

En Figura 33 se muestran gráficamente los datos recolectados por el proyecto 2. Se puede apreciar que; al igual que en el proyecto 1, el consumo total acumulado presenta un crecimiento con una tendencia lineal. Esto es ocasionado por un flujo de trabajo constante de inicio a fin en el proyecto. El consumo de agua de cosecha va de la semana 10 a la 15 y es debido a las lluvias en abril y mayo en esta zona del país.

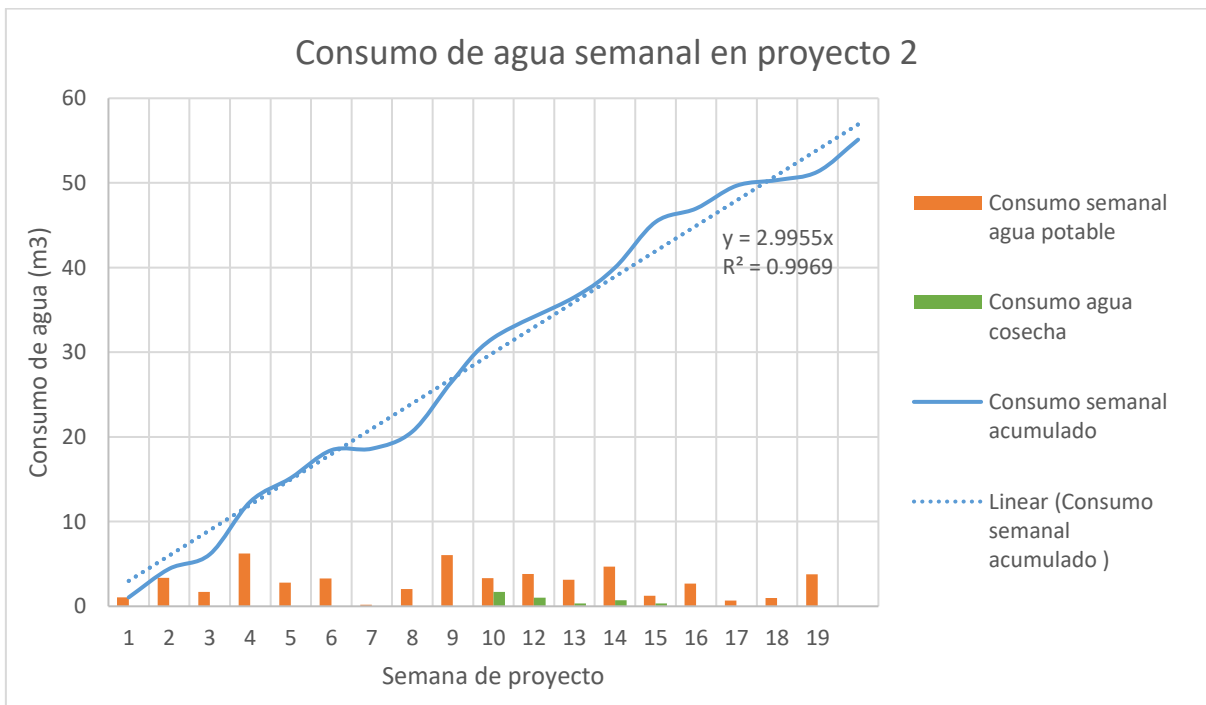


Figura 33. Consumo de agua por semana en proyecto 2

Comparando los datos de consumo semanal con los avances de obra que se observaron en las visitas, se genera la Tabla 9 y Tabla 12. Con esta tabla se puede asignar un consumo de agua a cada actividad constructiva en el proyecto.

Tabla 9. Consumo semana contra avance en la obra, proyecto 1

Semana	Fecha	Actividades realizadas	Consumo (m ³)	Porcentaje de consumo total
0	11/4/2021	Inicio de obra	0.00	0.00%
1	16/11/2021	Nivelación de terreno - Trazo	0.29	0.39%
2	23/11/2021	Relleno tobacemento -Compactación de terreno - Colocación de armadura en fundaciones	9.44	12.58%
3	30/11/2021	Instalaciones mecánicas en contrapiso - colado de cemento y contrapiso - Armado de columnas de acero nivel 1	1.83	2.44%
4	7/12/2021	Armadura de columnas nivel 1 - inicio pega de bloques nivel 1 - instalación electromecánicas nivel 1	3.25	4.33%
5	14/12/2021	Fin pega de bloques nivel 1 - formaleta y colado de columnas nivel 1 - armadura de vigas entrepiso 1/2 - apuntalamiento de vigas	3.50	4.67%
6	21/12/2021	Fin armado de vigas entrepiso - colocación de elementos de entrepiso - colocación de elementos electromecánicos en entrepiso - colocación de formaleta de viga	1.56	2.08%
7	29/12/2021	Fin de formaleta de vigas y entrepiso - apuntalamiento de entrepiso - colado de entrepiso y vigas	2.15	2.87%
8	4/1/2022	Inicio de pega de bloques nivel 2 - inicio de armadura de columnas nivel 2	2.37	3.16%
9	11/1/2022	Fin pega de bloques nivel 2 - formaleta y colado de columnas nivel 2 - colocación de elementos electromecánicos en nivel 2	2.95	3.93%
10	18/1/2022	Fin armado de vigas entrepiso - colocación de elementos de entrepiso - colocación de elementos electromecánicos en entrepiso - colocación de formaleta de viga	1.55	2.07%
11	26/1/2022	Fin de colocación de formaleta en vigas de entrepiso - apuntalamiento	0.67	0.89%
12	1/2/2022	Colado de entrepiso, Inicio de pega de bloques nivel 3 - inicio de armadura de columnas nivel 3	2.61	3.48%
13	8/2/2022	Fin pega de bloques nivel 3 - formaleta y colado de columnas nivel 3 - colocación de elementos	3.35	4.47%

Semana	Fecha	Actividades realizadas	Consumo (m ³)	Porcentaje de consumo total
		electromecánicos en nivel 3 - Armadura y formaleta vigas corona		
14	15/2/2022	Colado de vigas corona - inicio colocación de bloques tapichel - inicio de repello grueso nivel 1	2.48	3.31%
15	22/2/2022	Fin colocación de bloques tapichel - Inicio de armadura viga tapichel - Inicio de repello grueso nivel 2 - avance en repello grueso nivel 1 - Inicio en repello fino nivel 1 - inicio en repello fino nivel 2	4.37	5.83%
16	1/3/2022	Fin armadura de viga tapichel - Formaleta viga tapichel - fin repello grueso interior niveles 1 y 2 - Avance repello fino interior nivel 1 - inicio repello grueso nivel 3	4.01	5.35%
17	8/3/2022	Colado de viga tapichel - Colocación de Solera y clavadores - Avance en repello grueso exterior niveles 1, 2 y 3 - Avance en repello fino interior niveles 1, 2 y 3	3.49	4.65%
18	15/3/2022	Fin colocación de clavadores - Fin repello grueso exterior nivel 1 - Fin repello fino nivel 1 - avances repello fino nivel 1 y 2	2.87	3.83%
19	22/3/2022	Avances en repello fino y grueso niveles 2 y 3 - Colocación del cableado eléctrico en todos los niveles	3.10	4.13%
20	29/3/2022	Fin repello grueso en todos los niveles - Inicio de colocación de láminas de techo - Avance en repello fino nivel 2 y 3 - Avance de sistemas electromecánicos	2.66	3.55%
21	6/4/2022	Fin instalación de sistemas electromecánicos - Fin colocación de láminas de techo - Fin de repello fino en todos los niveles - Inicio de colocación de cielo	2.58	3.44%
23	19/4/2022	Avances en la colocación de cielo en todos los niveles - Acabados finales de repellos	3.62	4.83%
24	26/4/2022	Armadura, colado y desencofrado de escaleras entre piso 1 y 2 - Avance en colocación de cielos	3.20	4.27%
25	3/5/2022	Poco avance en colocación de cielos	0.33	0.44%
26	10/5/2022	Armadura y colado de escaleras entre piso 2 y 3 - Inicio de colocación de ventanería - Avance en colocación de	0.48	0.64%

Semana	Fecha	Actividades realizadas	Consumo (m ³)	Porcentaje de consumo total
		cielos - Inicio de revestimiento liso en paredes		
27	17/5/2022	Poco avance en colocación de ventanería - Poco avance en revestimiento liso en paredes de todos los niveles - Poco avance en colocación de cielos	0.33	0.44%
28	24/5/2022	Fin colocación de ventanería y puertas de vidrio - poco avance en revestimiento liso en paredes y escalera - poco avance en colocación de cielo	1.79	2.39%
29	31/5/2022	Fin colocación de cielo nivel 3 - poco avance en colocación de cielo nivel 2 - Reparación en escalera nivel 2	0.88	1.17%
30	7/6/2022	Fin colocación de cielos - Colocación de canoas- Fin de proyecto	3.30	4.40%

El dato de la semana 2 es un pico de consumo en el proyecto. Esto se da debido a que la calidad del suelo en la zona era muy mala; por esta razón, se decidió hacer una sustitución con toba cemento hecho en obra. En la semana 15 y 16 también se presentan consumos altos de agua. Esto debido a que gran parte del repello grueso de la obra se realizó en ese periodo de tiempo. De los datos se logra observar que las actividades que más consumen agua en el proyecto son las que están relacionadas a la elaboración de concreto, morteros y tobacemento en obra.

Tabla 10. Consumo semana contra avance en la obra, proyecto 2

Semana	Fecha	Actividades realizadas	Consumo semanal (m ³)	Porcentaje de consumo total
0	26/1/2022	Inicio de obra	0	0.00%
1	2/2/2022	Trazo - Excavación de fundaciones - inicio de armado de fundaciones	1.05	1.90%
2	9/2/2022	Fin de Armadura de cimientos - Colado de cimientos	3.38	6.13%
3	16/2/2022	Instalaciones mecánicas en contrapiso - inicio armado de columnas nivel 1 - inicio pega de bloques nivel 1	1.7	3.08%

Semana	Fecha	Actividades realizadas	Consumo semanal (m ³)	Porcentaje de consumo total
4	24/2/2022	Avance en instalaciones mecánicas en contrapiso y nivel 1 - avance en armado de columnas nivel 1 - avance en pega de bloques nivel 1 - inicio en armadura de viga entrepiso nivel 1	6.22	11.28%
5	2/3/2022	Fin pega de bloques nivel 1 - Fin armadura de columna nivel 1 - Inicio de formaleta en columnas nivel 1 - avance en armadura de viga entrepiso nivel 1 - Formaleta columnas nivel 1	2.8	5.08%
6	9/3/2022	Fin armadura de viga entrepiso nivel 1 - colado de columnas nivel 1 - inicio de formaleta vigas entrepiso nivel 1 - inicio apuntalamiento vigas nivel 1 - inicio armadura de escalera	3.28	5.95%
7	16/3/2022	Fin formaleta vigas entrepiso nivel 1 - inicio armadura y montaje de entrepiso - inicio de apuntalamiento de entrepiso nivel 1 - inicio de elementos electromecánicos entrepiso	0.18	0.33%
8	24/3/2022	Fin montaje entrepiso - colado de entrepiso - inicio de pega de bloques nivel 2 - inicio de armadura de columnas nivel 2 - Fin montaje de escalera - Colado de escalera	2.02	3.66%
9	30/3/2022	Fin pega de bloques nivel 2 - fin armadura de columnas nivel 2 - inicio y fin formaleta nivel 2 - inicio y fin armado de vigas corona - inicio formaleta de vigas corona	6.06	10.99%
10	6/4/2022	Fin formaleta viga corona - colado viga corona y columnas nivel 2 - inicio colocación de estructura de techo - Fin colocación elementos electromecánicos nivel 2 - Inicio repello niveles 1 y 2	5.01	9.09%
12	20/4/2022	Fin estructura de techo - Avance repello niveles 1 y 2	4.81	8.72%
13	28/4/2022	Colocación de cubierta - Inicio de colocación de cielo en nivel 2 - Inicio de armadura de contrapiso - Avance en repello nivel 1 y 2	3.49	6.33%
14	5/5/2022	Avance en colocación de cielos nivel 1 y 2 - Colado de contrapiso	5.39	9.78%

Semana	Fecha	Actividades realizadas	Consumo semanal (m ³)	Porcentaje de consumo total
15	12/5/2022	Colado de acera exterior - Fin colocación de cielos en niveles 1 y 2 - Inicio de colocación de luminarias - Inicio de primera capa de pintura blanca en ambos niveles	1.59	2.88%
16	19/5/2022	Fin capa de pintura - Fin colocación de luminarias e instalaciones eléctricas - Inicio colocación de pisos nivel 1 y 2	2.7	4.90%
17	26/5/2022	Fin colocación de pisos niveles 1 y 2 - Inicio de colocación de ventanería y puertas -Inicio de acabados finales	0.67	1.22%
18	2/6/2022	Fin colocación ventanería y puertas - Avance en acabados finales - Inicio de tapias perimetrales	0.99	1.80%
19	7/6/2022	Fin tapias perimetrales - Avance en acabados finales - Fin de proyecto	3.79	6.87%

Las semanas 4 y 9 presentan los valores mayores de consumo. Esto es debido a que se realizó un avance importante en pega de bloques en ambas semanas. La semana 14 también presenta un consumo alto a comparación de las demás; esto porque el concreto del entrepiso fue hecho en obra.

Las semanas 10 y 12 presentan un consumo considerable, esto se debe que en este periodo de tiempo se realizó la mayor parte del repello en el proyecto. Estos datos son similares a los que se muestran en la Tabla 9 para las semanas 15 y 16 del proyecto 1, los cuales también corresponden a un avance considerable en el repello de paredes.

4.3.2. Pruebas de desperdicio

De las pruebas de desperdicio semanal que se realizaron en campo se obtuvieron los porcentajes que se presentan en la Tabla 11. El dato de la semana 18 para el proyecto 1 es alto comparado con los otros datos de la serie. Este porcentaje de desperdicio se da debido a una pésima conexión llave-manguera. Al abrir muy poco la llave, el 84% del caudal se escapaba por la conexión. En el proyecto 2 se realizó la prueba de desperdicio

hasta la semana 9; esto debido a que después de realizar reparación en la conexión llave-manguera, los desperdicios eran nulos

Tabla 11. Porcentajes de desperdicio semanal en proyectos

Semana	Desperdicio Proyecto 1	Desperdicio Proyecto 2
1	NR	NR
2	NR	NR
3	NR	35%
4	NR	29%
5	11%	34%
6	8%	29%
7	7%	31%
8	7%	29%
9	7%	29%***
10	NR	NR
11	9%	NR
12	8%	NR
13	5%	NR
14	8%	NR
15	9%	NR
16	7%	NR
17	8%	NR
18	84%**	NR
19	16%	NR
20	14%	NR
21	NR	NR

*NR = No Reporta

**El dato de semana 18 en el proyecto 1 es valor atípico

***En el proyecto 2 se realizó la prueba de desperdicio hasta la semana 9 porque después de la reparación realizada los desperdicios eran nulos

**** A partir de la semana 21 se dejó de hacer la prueba de desperdicio en el proyecto 1 debido a que la manguera se utilizaba muy poco

En la Figura 34 se muestra el diagrama de cajas y bigotes para cada serie de datos. La línea horizontal dentro de la caja marca el valor exacto de la mediana, punto que deja a la mitad de los casos por encima y a la otra mitad por debajo. El límite inferior de la caja marca la posición del primer cuartil (deja por debajo el 25% de los casos) y el límite superior de la caja representa el tercer cuartil (deja por debajo el 75% de los casos). Las líneas superior e inferior que extienden a las cajas son llamadas "bigotes". El bigote superior representa el máximo valor posible establecido como la posición del

tercer cuartil más 1,5 veces el rango intercuartílico. El límite inferior de igual forma muestra la posición del primer cuartil menos 1,5 veces el rango intercuartílico. Más allá de los bigotes se marcan los valores atípicos. En la figura se puede observar que el valor de 84% de desperdicio en la serie de datos del proyecto 1 es un valor atípico y por esta razón se decide sacarlo del análisis.

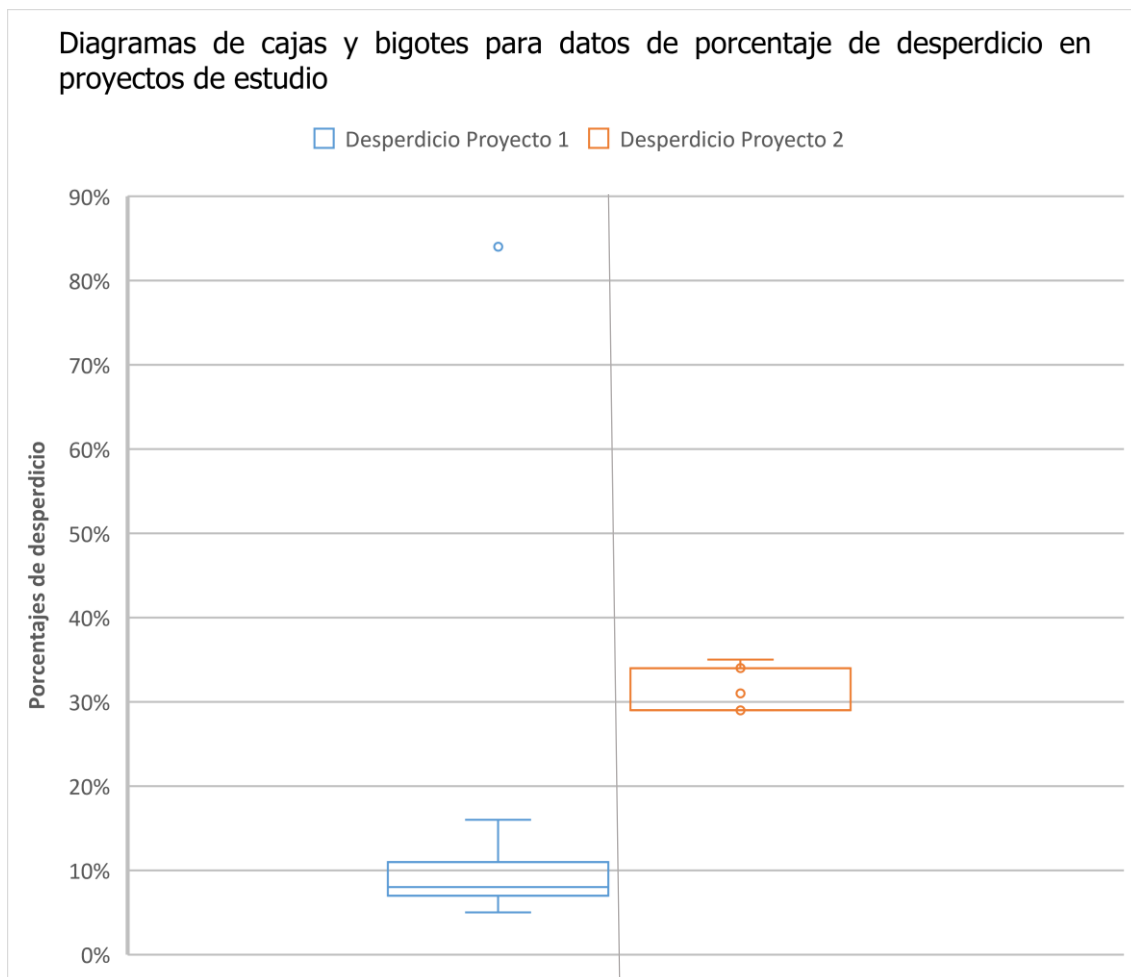


Figura 34. Diagrama de cajas y bigotes para datos de porcentaje de desperdicio

En la Tabla 12 se muestran la serie de datos de porcentajes de desperdicio reportados por semana. Para realizar esta tabla se excluyó el dato de la semana 18 en el proyecto 1.

Tabla 12. Datos estadísticos de prueba de desperdicio en proyecto 1

Datos estadísticos	Proyecto 1	Proyecto 2
Promedio	8.95%	30.68%
Desviación estándar	2.89%	2.57%
Mediana	8.33%	28.96%
Varianza	0.08%	0.07%

4.3.3. Equipo utilizado

De la información recopilada en las visitas se generan la Tabla 13 y Tabla 14; la cual contiene la información del equipo utilizado en el proyecto.

Tabla 13. Equipo utilizado en proyecto 1

Semana	Equipo	Tiempo (Horas)	Combustible (m ³)
1	Retroexcavadora	7	0.276
3	Mezcladora - Bomba	3	0.252
7	Mezcladora - Bomba	3.5	0.294
11	Mezcladora - Bomba	3	0.252

Tabla 14. Equipo utilizado en proyecto 2

Semana	Equipo	Tiempo (Horas)	Combustible (m ³)
1	Retroexcavadora	4	0.072
8	Mezcladora - Bomba	3	0.252

4.3.4. Datos de consumo de energético

De las visitas semanales al proyecto 2 se obtiene las lecturas del medidor de energía. Po las limitaciones del proyecto, no se tienen datos de consumo energético en el proyecto 1. El consumo energético por semana está dado por la siguiente expresión:

$$C_{\text{energético } n} = \text{Lectura del medidor } n - \text{Lectura del medidor } (n-1) \quad [4]$$

Tabla 15. Consumo de energía en el proyecto 2

Semana	Lectura del medidor (kw - h)	Consumo energético (kw - h)
1	0	0
2	9	9
3	27	18
4	47	20
5	68	21
6	80	12
7	84	4
8	90	6
9	108	18
10	127	19
12	169	42

Semana	Lectura del medidor (kw - h)	Consumo energético (kw - h)
13	184	15
14	205	21
15	209	4
16	212	3
17	225	13
18	233	8
19	239	6

Capítulo 5: Resultados y análisis de resultados

5.1. Estimación de HH total

Con la información recopilada se realizó el cálculo de la huella hídrica total para ambos proyectos. Este dato se obtiene al sumar la huella azul directa con la huella indirecta. Los datos de cuantificación del material utilizado en la obra del anexo A2 y A4, el consumo de energía hidroeléctrica en el proyecto 2 y el consumo de combustible por el equipo utilizado se multiplican por los factores de la Tabla 6 para obtener la HH indirecta del proyecto. De este cálculo se obtienen los valores que se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Huella hídrica proyectos

Material	Unidad	Factor de HH Azul	Factor de HH Verde	Proyecto 1			Proyecto 2		
				Cantidad	HH Azul m ³	HH Verde m ³	Cantidad	HH Azul m ³	HH Verde m ³
Cemento	ton	1.150	NA	20.750	23.863	NA	26.250	30.188	NA
Mortero de pega	ton	1.970	NA	14.000	27.580	NA	10.200	20.094	NA
Repello fino	ton	1.500	NA	7.880	11.820	NA	6.000	9.000	NA
Repello grueso	ton	1.150	NA	7.880	9.062	NA	6.000	6.900	NA
Arena	ton	2.260	NA	29.000	65.540	NA	25.020	56.545	NA
Piedra	ton	2.260	NA	29.600	66.896	NA	32.000	72.320	NA
Lastre	ton	2.260	NA	11.200	25.312	NA	8.800	19.888	NA
Bloques	m ³	1.040	NA	60.353	62.767	NA	34.128	35.493	NA
Varillas	ton	32.810	NA	2.948	96.724	NA	3.387	111.127	NA
Malla electrosoldada	ton	32.810	NA	0.389	12.763	NA	0.445	14.600	NA
Gypsum	m ²	0.0175	NA	290.138	5.077	NA	193.492	3.386	NA
Furring	ml	15.200	NA	0.030	0.456	NA	0.020	0.304	NA
Perfiles galvanizados	ton	13.200	NA	0.824	10.877	NA	1.104	14.573	NA
Plywood	m ³	0.094	15.1	0.054	0.005	0.815	1.146	0.108	17.305
Láminas de zinc	m ²	0.239	NA	50.000	11.950	NA	NA	NA	NA
Teja asfáltica	m ²	0.239	NA	NA	NA	NA	120.000	28.680	NA
Vidrio	m ²	0.020	NA	52.500	1.050	NA	35.000	0.700	NA
Concreto premexclado	m ³	6.330	NA	42.000	265.860	NA	14.000	88.620	NA
Estereofón	m ³	0.343	NA	18.034	6.186	NA	9.583	3.287	NA
Madera formaleta	m ³	1.010	291	6.857	6.926	1995.387	4.569	4.615	1329.579
Energía	GJ	22.300	NA	NA	NA	NA	0.581	12.956	NA
PVC presión	kg	0.732	NA	32.027	23.444	NA	24.050	17.605	NA

Material	Unidad	Factor de HH Azul	Factor de HH Verde	Proyecto 1			Proyecto 2		
				Cantidad	HH Azul m ³	HH Verde m ³	Cantidad	HH Azul m ³	HH Verde m ³
PVC sin presión y conduit	kg	0.716	NA	352.278	252.231	NA	209.110	149.723	NA
Combustible	m ³	6.000	NA	1.075	6.450	NA	0.325	1.950	NA
Porcelanato	m ²	0.034	NA	NA	NA	NA	170.000	5.780	NA
Azulejo	m ²	0.027	NA	NA	NA	NA	70.000	1.890	NA
Cerámica	m ²	0.026	NA	NA	NA	NA	15.000	0.390	NA
Mortero adhesivo	ton	1.970	NA	NA	NA	NA	2.520	4.964	NA
Pintura	kg	0.037	NA	NA	NA	NA	372.000	13.764	NA
Pintura anticorrosiva	kg	0.110	NA	NA	NA	NA	12.000	1.320	NA
Total (m ³)				NA	992.838	1996.202	NA	730.770	1346.884
Huella Hídrica indirecta (m ³)				2989.040			2077.654		
Huella Hídrica azul directa (m ³)				69.522			51.016		
Huella Hídrica azul total (m ³)				1062.360			781.786		
Huella Hídrica total (m ³)				3064.29			2132.825		
Huella Hídrica azul directa por m ² de construcción (m ³ /m ²)				0.372			0.281		
Huella Hídrica total por m ² de construcción (m ³ /m ²)				16.387			11.761		

*NA = No aplica

**Si el material posee ambos factores de HH y presenta NA en alguno de los proyectos significa que no se utilizó dicho material en el proyecto

De la tabla se observa que el mayor aporte a la HH total se da por el agua que consume la madera en su etapa de crecimiento; esto se presenta gráficamente en la Figura 35 y Figura 36, las cuales demuestran que la HH verde representa más del 60% de la HH total en ambos proyectos. Además, según el factor unitario, el proceso de explotación de materiales férricos y el proceso productivo del PVC generan un alto consumo indirecto de HH azul.

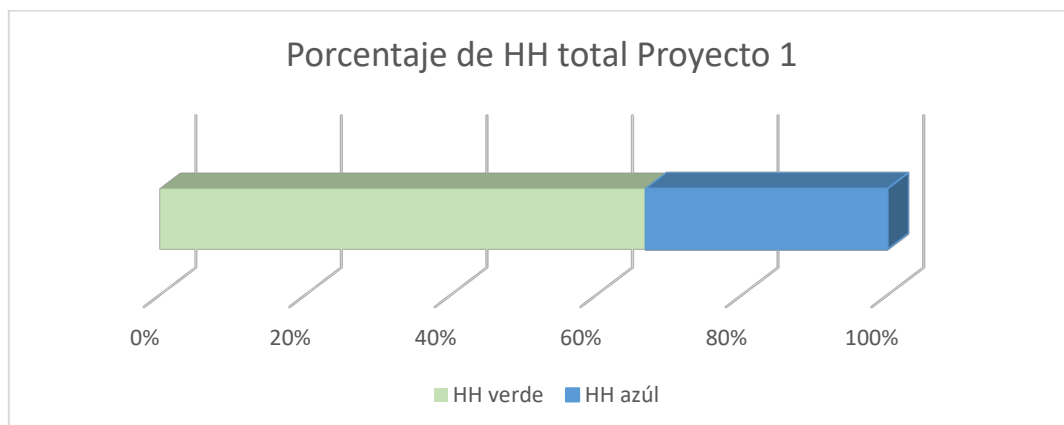


Figura 35. Porcentaje de HH indirecta del proyecto 1

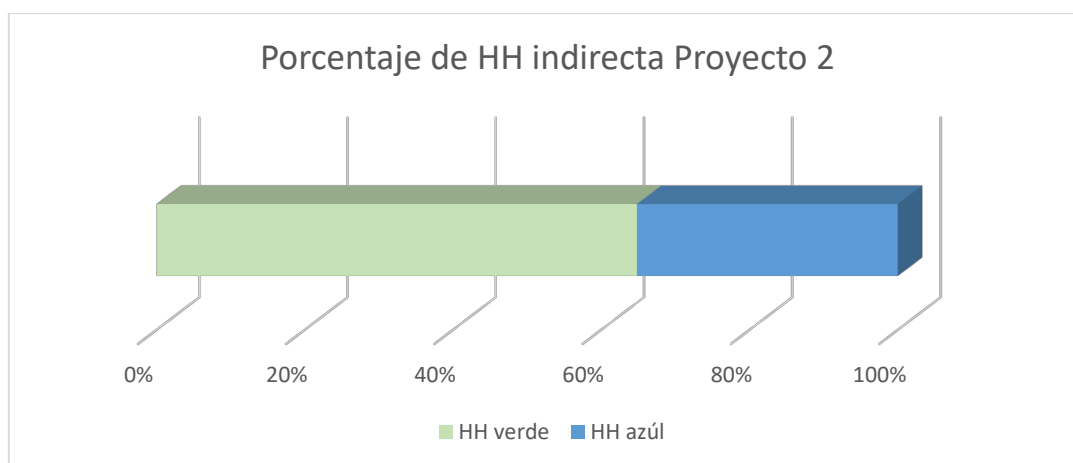


Figura 36. Porcentaje de HH indirecta del proyecto 2

En la Figura 37 se muestra el porcentaje de aporte de los materiales a la HH indirecta en el proyecto 1; se ve reflejado como el concreto premezclado es el material con mayor aporte a esta huella. Esto se debe a que la huella indirecta del concreto premezclado suma las HH de la producción de los agregados y los aditivos. Adicionalmente, el gráfico muestra que el PVC utilizado en el proyecto aporta aproximadamente un 25% de la HH azul indirecta. Esto se debe a que el proyecto utiliza dicho material para todos los sistemas electromecánicos y por ende se requiere una gran

cantidad de tubería. La figura también muestra que el consumo de varilla número 3 como parte del refuerzo para el sistema estructural utilizado genera un 9.74% de la HH azul indirecta.

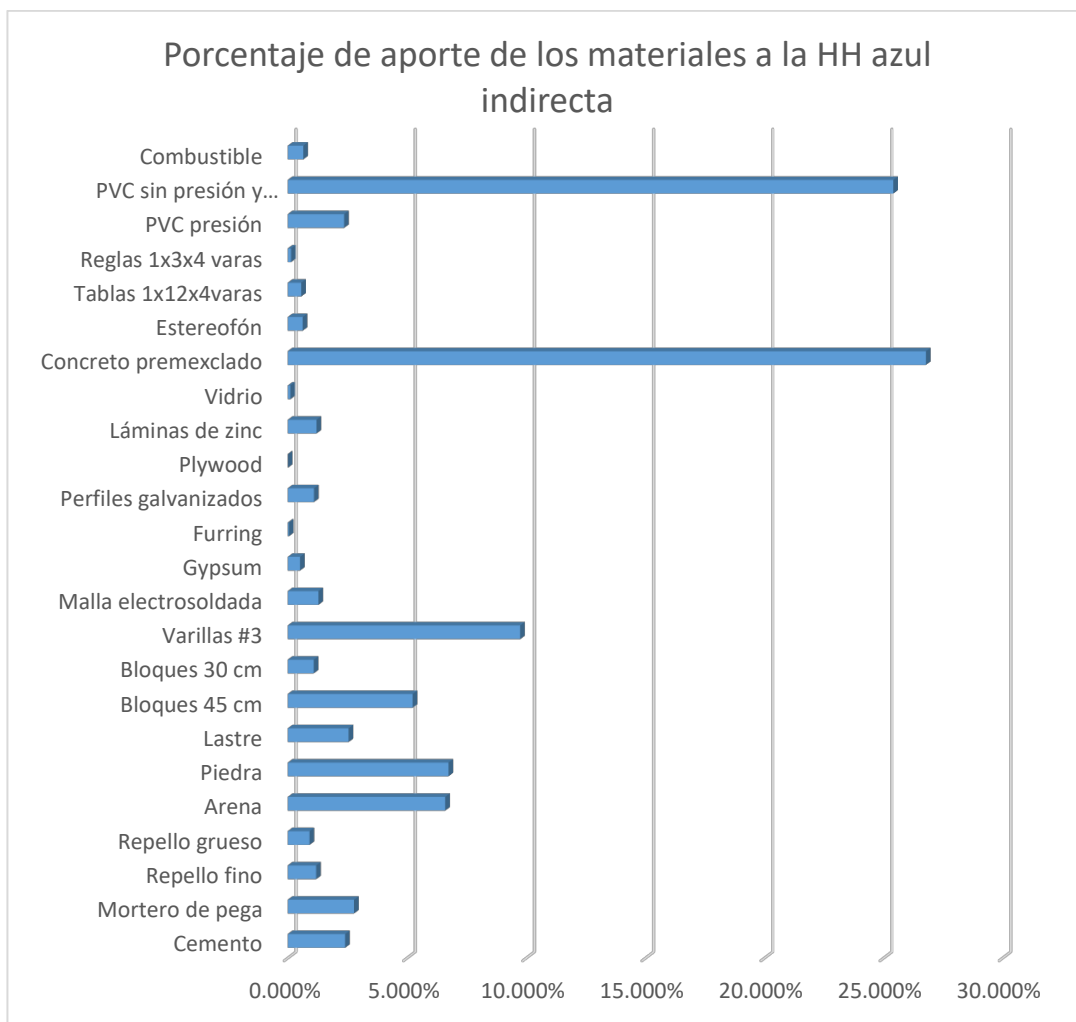


Figura 37. Porcentaje de aporte de los materiales a la HH azul indirecta en el proyecto 1

En la Figura 38 se muestra el porcentaje de aporte de los materiales a la HH indirecta en el proyecto 2; siendo en este caso el PVC sin presión y el Conduit los materiales con mayor aporte; reportando aproximadamente un 20% del total de la HH indirecta, cifra similar a la que se obtuvo en el proyecto 1 para el mismo material.

Para este proyecto, el concreto premezclado representa solamente el 12% de la HH azul indirecta, dato menor que el 27% que se reporta para el proyecto 1. Esta diferencia radica en la cantidad de material utilizado; ya que, para el proyecto 2 se utilizó concreto premezclado únicamente para el entrepiso y las escaleras, mientras que en el proyecto 1 se utilizó el concreto premezclado para el contrapiso y los 2 entrepisos.

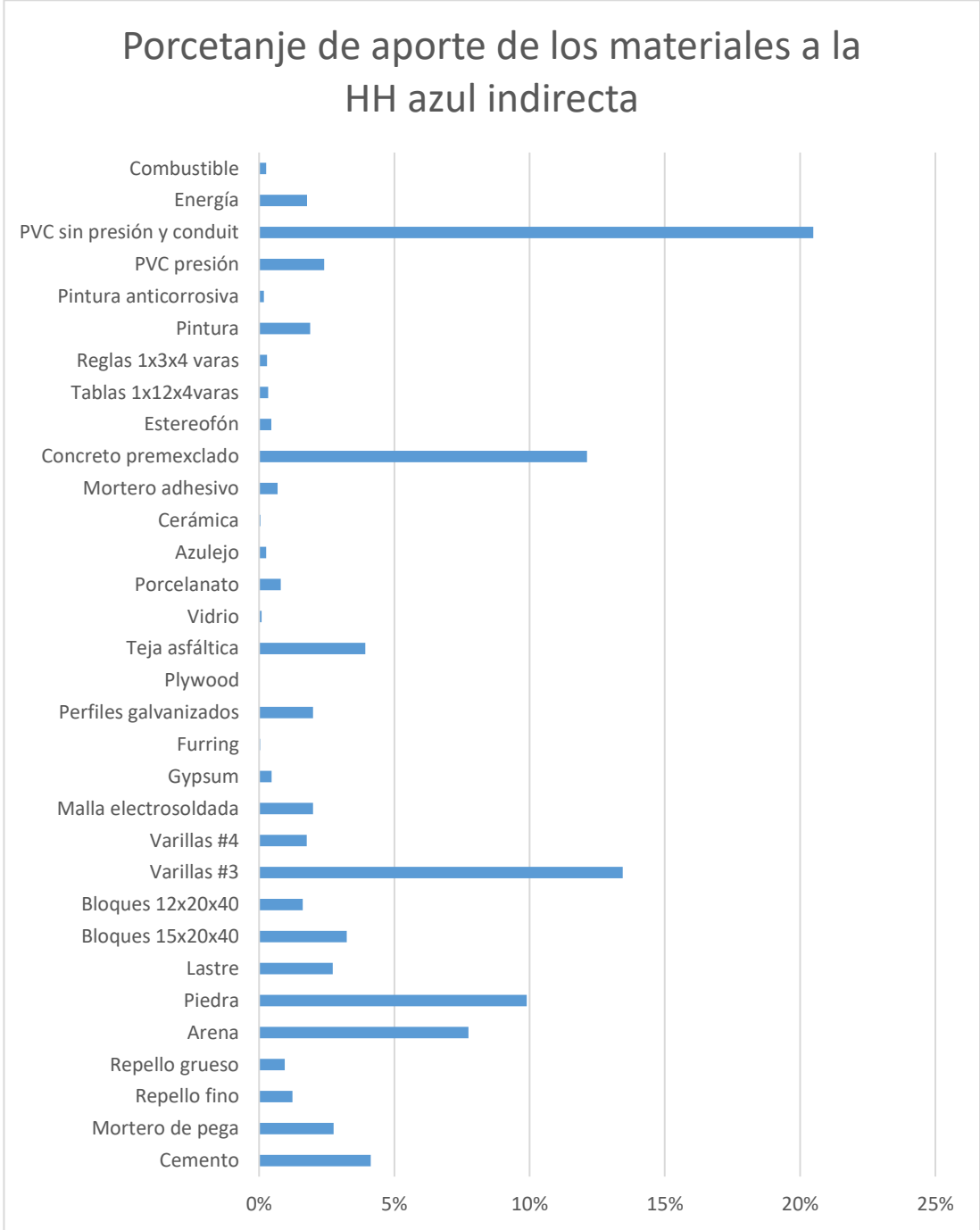


Figura 38. Porcentaje de aporte de los materiales a la HH azul indirecta en el proyecto 2

5.2. Análisis de resultados

5.2.1. Huella hídrica azul directa

Comparando los datos de HH azul directa obtenidos en las visitas semanales a los proyectos se obtienen los resultados que se muestran en la Figura 39. Ambas series de datos poseen una tendencia lineal con el intercepto en 0. El coeficiente de

determinación en ambas series está cerca de 1; lo que indica que el ajuste de las series de datos con las líneas de tendencia es adecuado. Además de eso, la constante en la ecuación que describe la línea de tendencia es similar en ambos proyectos.

De estos resultados se puede decir que; según el análisis realizado en ambos proyectos, se podrían utilizar ambas ecuaciones para estimar la huella hídrica azul directa de un proyecto constructivo de vivienda unifamiliar dependiendo de su duración en semanas; sin embargo, se requiere más estudios de este tipo para generar una base de datos suficientemente robusta para realizar estimaciones que reflejen la realidad de los proyectos constructivos con suficiente precisión.

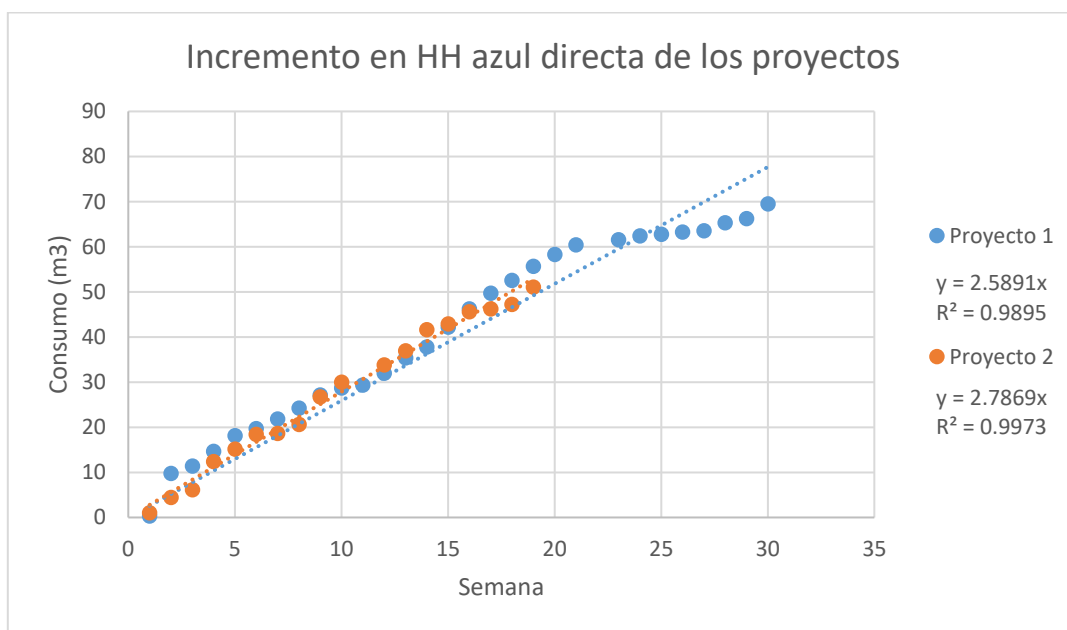


Figura 39. Huella hídrica azul directa de ambos proyectos

Promediando las constantes de las ecuaciones características de ambas series de datos se obtiene la siguiente ecuación

$$HH \text{ azul directa} = 2.6880 T \quad [5]$$

Donde T = periodo de duración del proyecto en semanas

Esta ecuación podría considerarse como un primer avance para estimar la HH directa en proyectos de construcción similares a los estudiados.

5.2.2. *Huella hídrica azul directa y Huella hídrica total estimada*

En la Tabla 17 se muestra HH azul directa y total estimada por m² de construcción para ambos proyectos. Debido a las limitaciones presentes en el proyecto 1, se decidió eliminar de la HH total estimada del proyecto 2 el volumen generado por los pisos, azulejos, morteros de pega y pintura. A pesar de que los indicadores son similares entre sí; poseen una diferencia que impide su comparación. Esta diferencia se debe a que el proyecto 1, al ser un proyecto de 3 niveles, posee una densidad de construcción mayor que la del proyecto 2 (volumen de construcción por m² de área de construcción).

Por lo que se observa en la tabla, no hay evidencia suficiente para definir un rango aceptable de estos indicadores en proyectos constructivos.

Tabla 17. HH azul directa y total estimada por m² de construcción

Proyecto	Área de construcción m²	HH azul directa por m² de construcción m³/m²	HH total estimada m³ por m² de construcción m³/m²
1	187.22	0.372	16.387
2	181.35	0.283	11.534*

*Para realizar la comparación con el proyecto 1 se decidió eliminar del análisis de HH total estimada los pisos, azulejos, mortero adhesivo y pinturas.

En la Tabla 18 se muestra la HH azul directa y la HH total estimada para cada proyecto de estudio. En esta también se muestran los porcentajes de las HH totales estimadas correspondientes a la HH azul directa. Los porcentajes no superan el 2.4%; esto quiere decir que, al menos el 97.6% de total de agua utilizada en la cadena de producción no es representada como consumo directo. De ahí la importancia de realizar el cálculo de la HH total para proyectos constructivos.

Tabla 18. Porcentaje de HH total equivalente a la HH azul directa

Proyecto	HH azul directa directa m³	HH total estimada m³	Porcentaje de la HH total equivalente a la HH azul directa
1	69.522	3064.290	2.269
2	51.016	2132.825	2.392

5.2.3. *Prueba de desperdicio semanal*

Aplicando los porcentajes promedio de las pruebas de desperdicio semanal a la HH azul directa del proyecto se obtiene una estimación da la HH azul directa que fue

desperdiciada en el proyecto. Para el proyecto 2 se hicieron 2 cálculos, el primero suponiendo que el desperdicio promedio se mantuvo hasta la última semana de labores y el segundo suponiendo que el desperdicio promedio fue constante hasta la semana 9 y luego, al reparar la conexión llave-manguera, el porcentaje de desperdicio paso a ser 0%.

En la tabla Tabla 19 se muestran los volúmenes de desprecio estimado. Se puede apreciar que al hacer la corrección en la semana 9 en el proyecto 2 se pudo evitar un desperdicio de 7.462 m³. Esto prueba la importancia de aplicar la teoría de P+L en procesos constructivos; ya que, pequeñas mejoras en el proceso productivo general mejoras considerables.

Tabla 19. Desperdicio de la HH azul directa estimado en ambos proyectos

Proyecto	Área (m ²)	Porcentaje desperdicio promedio	HH azul directa m ³	Volumen desperdiciado m ³	Desperdicio por m ²	Promedio de desperdicio por m ²
1	187.22	8.95%	69.5223	6.222	0.033	0.039
2 Todo el Proyecto*	181.35	30.68%	51.0155	15.651	0.086	
2 Hasta semana 9**		30.68%	26.694	8.19	0.045	

* Se calcula un desperdicio suponiendo que no se solucionan los problemas en la conexión llave- manguera en el proyecto 9

** En la semana 9 se corrigió la conexión llave-manguera en el proyecto de forma eficiente; al punto que, de la semana 10 en adelante, los resultados de la prueba fueron 0%. Por esta razón, para realizar una correcta estimación del desperdicio, se utiliza la HH azul directa hasta la semana 9

Utilizando los porcentajes para cada sub obra del Tabla 20 se proyectaron los datos del INEC para el área en metros cuadrados del año 2019 y el año 2020. En el Tabla 21 se muestran los resultados de esta proyección.

Tabla 20. Metros cuadrados de construcción habitacional en Costa Rica

Tipo de Obra y Sub Obra	Metros cuadrados	Porcentaje (%)
Habitacional	3524775	100
Casa	1898557	53.86
Condominio	558935	15.86
Casa Interés social	595184	16.89
Apartamento	400676	11.37
Apartamento Unifamiliar	22386	0.64

Tipo de Obra y Sub Obra	Metros cuadrados	Porcentaje (%)
Transformación a condominio	44080	1.25
Cabaña	4957	0.14

Fuente: (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2018)

Tabla 21. Proyección de metros cuadrados de construcción habitacional en Costa Rica para el año 2019 y 2020

Tipo de Obra y Sub Obra	Año 2019	Año 2020
	Metros cuadrados	
Casa	122162517	113652991
Condominio	35964633	3345943
Casa Interés social	38297072	35629397
Apartamento	25781469	23985598
Apartamento Unifamiliar	1440425	134009
Transformación a condominio	2836324	2638753
Cabaña	318958	29674

Fuente: Chinchilla, 2022

Aplicando el porcentaje índice promedio de desperdicio por metro cuadrado de obra obtenido en el proyecto a los valores de la Tabla 21 se obtienen los resultados de la Tabla 22.

Tabla 22. Resultados de proyección de metros cúbicos desperdiciados

Tipo de Obra y Sub Obra	Año 2019	Año 2020
	Desperdicio Metros cúbicos de agua	
Casa	4788460.33	4454908.52
Condominio	1409722.25	131152.47
Casa Interés social	1501147.93	1396581.85
Apartamento	1010568.09	940174.51
Apartamento Unifamiliar	56461.00	5252.81
Transformación a condominio	111176.70	103432.41
Cabaña	12502.34	1163.15
Suma	8890038.64	7032665.72

Suponiendo que todas las construcciones de casa a nivel nacional manejan el porcentaje de desperdicio promedio de la Tabla 19 se obtienen los resultados de la Tabla 23. En esta se observan la cantidad de habitantes que se pudo ver beneficiada al recibir una dotación de 250 litros por día durante un mes si el agua desperdiciada por los proyectos se hubiese destinado al consumo humano. Sin embargo, para obtener un dato

apegado a la realidad nacional se deben realizar más estudios de este tipo en proyectos similares.

Tabla 23. Asignación del volumen a habitantes

Año	Volumen	Dotación (litros/habitante/día)	Habitantes por mes
2019	4788460.33	250	638461
2020	4454908.52		593988

5.2.1. Estimación de tiempo y costos de hacer la medición

En la Tabla 24 se muestra un desglose del tiempo invertido en las actividades necesarias para realizar el estudio. De la tabla se tiene que al menos se requieren de 3 horas por semana durante el proceso constructivo del proyecto para generar un informe sobre la estimación de la HH total.

Tabla 24. Tiempo invertido en actividades necesarias para realizar el estudio

Actividad	Tiempo necesario por semana (horas)
Inspección de obra (Observación de avance, prueba de desperdicio y medición de HH azul directa y energía consumida)	1
Cuantía de materiales	1
Estimación de HH total (asignación de factores de HH indirecta por material y suma de HH directa más indirecta)	0.5
Avance en informe final	0.5

El salario por hora profesional es de 32 200 colones según lo publicado en La Gaceta N° 189 del viernes 01 de octubre del 2021 (CFIA, 2022). Por esta razón, se debe presupuestar un costo de 386 400 colones por mes como mínimo para realizar un estudio similar.

Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Se logró estimar la HH total para el proceso constructivo de dos proyectos y se concluye que los resultados obtenidos podrían ser considerados como un primer avance para estandarizar el cálculo de la HH en la industria de la construcción
- Para los proyectos de estudio, se calculó la HH azul directa y se observó que esta es directamente proporcional a la duración del proyecto; además, se concluye que la tasa de crecimiento de la huella con el tiempo es lineal y se comporta de manera similar para ambos proyectos
- Se calculó la tasa de consumo de HH azul directa por metro cuadrado de construcción en ambos proyectos y de los resultados se concluye que se necesitan más estudios para estandarizar un rango de valores como indicador global para el sector construcción
- Se realizó una medición de consumo directo de agua por semana en cada proyecto y con esto se asignó un porcentaje de consumo al avance observado en la inspección. De las observaciones se concluye que la elaboración de concreto, mortero y tabicamiento en obra son las actividades que más consumo de agua genera en los proyectos estudiados
- Se documentó, mediante fotografías tomadas en las inspecciones semanales, las prácticas de consumo en los proyectos de estudio y según la evidencia se concluye que las dichas prácticas requieren la teoría P+L para evitar desperdicios de agua potable, esto debido a que con un cambio simple se puede reducir los porcentajes de desperdicio del proyecto
- Para reducir la huella hídrica en los proyectos de construcción se debe realizar una gestión sostenible del agua; por esta razón, esta acción se puede considerar un paso más para aportar al objetivo 6 en la lista de los objetivos del desarrollo humano sostenible
- El 97.6% del agua que se consume en los proyectos está oculta en los procesos productivos de los materiales de construcción utilizados; por esta razón, se hace importante hacer el cálculo de la HH total para cuantificar el volumen de agua total utilizado para obtener el producto final
- De la investigación realizada para obtener los factores para el cálculo de HH indirecta por material se concluye que las declaraciones ambientales de producto son la mejor herramienta disponible en la que se muestra información ambiental

- de los procesos productivos; por ende, se debe incentivar a los productores nacionales a generar este tipo de documentos
- De los factores para el cálculo de la HH azul indirecta se concluye que los procesos productivos del PVC y materiales ferrosos generan un alto consumo de agua; por esta razón, si se sustituyen dichos materiales por otros similar que necesiten una menor cantidad de agua en su proceso productivo o se reduce su desperdicio en campo, se puede disminuir la HH indirecta del producto final
 - El cálculo de la HH azul directa de los proyectos se puede realizar con facilidad; ya que solo se necesita el dato de consumo de agua tomado de un hidrómetro que se coloque según las especificaciones técnicas de tal manera que no genere datos erróneos. Este equipo suele ser instalado en campo por la compañía que suministra el agua potable en la zona del proyecto
 - Al contar con una base de datos con factores estandarizados para la estimación de la HH indirecta, la información sobre cuantificación de materiales requerida en los proyectos para realizar dicha estimación es la misma que la necesaria para el cálculo de una huella de carbono. Dicho esto, se puede aprovechar los esfuerzos a nivel país en el tema de cálculo de las huellas de carbono para introducir la huella hídrica o huella de agua como indicadores de sostenibilidad en la construcción
 - Según los resultados obtenidos de HH directa e indirecta por m² de construcción se puede concluir que son un buen indicador de sostenibilidad en el consumo del recurso hídrico en la construcción; ya que cualquier variación en el consumo del proceso productivo se vería reflejado en dicho indicador. Sin embargo, se deben realizar más estudios para dictar un rango en el cual el factor de HH por m² de construcción sea sostenible
 - Según el tiempo invertido en la investigación, el valor económico de realizar un proyecto similar es de 386 400 colones al mes; esto asumiendo que se cobra por hora de consultoría profesional según el CFIA. Sin embargo, algunas de las actividades podrían ser realizadas por técnicos, lo que reduciría los costos del estudio

6.2. Recomendaciones

- Incluir el concepto de huella hídrica dentro del análisis de sostenibilidad en los proyectos de construcción; para así optimizar el consumo del recurso hídrico en la cadena de producción

- Fomentar en los productores e importadores de materiales de construcción la utilización de un sistema de eco-etiquetado que permita fácilmente seleccionar un producto por sus características ambientales
- Reducir la HH de los proyectos constructivos utilizando productos cuya huella hídrica esté optimizada (una huella hídrica de un producto no es óptima si las huellas hídricas verde, azul o gris de sus procesos productivos pueden reducirse o evitarse completamente con un coste social y económico aceptable)
- Incentivar a los productores nacionales de materiales de construcción a desarrollar Declaraciones Ambientales de Producto para obtener información ambiental de sus procesos productivos a nivel nacional.
- Utilizar la teoría P+L para disminuir la HH directa en el proyecto de la siguiente forma:
 - Cerrar las llaves de chorro mientras no se estén utilizando
 - Colocar una pistola a la manguera para controlar de una mejor forma el flujo del agua en actividades como el riego y el curado de concreto y mortero
 - Revisar que las mangueras estén libres de fugas
 - Recolectar agua de lluvia y utilizarla de manera eficiente
 - Realizar la conexión manguera-llave verificando que los empaques estén en estado óptimo y utilizando teflón
- Utilizar la teoría P+L para el disminuir la HH indirecta en el proyecto de la siguiente forma:
 - Realizar compras de materiales locales para reducir consumo asignado a los viajes
 - Aplicar buenas prácticas constructivas con el fin de reducir los desperdicios de material
 - Regular el consumo de energía eléctrica en la construcción para reducir la HH asociada a la evaporación en la producción de energía hidroeléctrica
 - Utilizar madera de rápido crecimiento para disminuir la HH verde; ya que, este tipo de madera requiere una menor cantidad de agua de cosecha debido a que se desarrolla en un menor periodo de tiempo. Sin embargo, se debe verificar el consumo de agua por especie de árbol
- Contemplar la colocación de medidores propios de agua por parte de la empresa constructora, para llevar el control del consumo de manera interna en periodos cortos y compararlos con los datos brindados por la compañía distribuidora del recurso para evitar errores de sobreconsumos.

- Aplicar sistemas de gestión ambientales en la etapa de planificación y gestión del proyecto para disminuir la HH
- Introducir el concepto de HH en los sistemas de evaluación de sostenibilidad en la construcción a nivel nacional para avanzar lo que sería un análisis integral de la sostenibilidad de los proyectos

7. Bibliografía

- Agrelo, M. (2016). *Huella ambiental ¿Qué es y qué incluye?*. Santiago de Compostela, España. Recuperado de: <https://www.eco-huella.com/2016/03/huella-ambiental.htm>
- Alavedra, P.; Domínguez, J.; Gonzalo, E. & Serra, J. (2014). *La construcción sostenible. El estado de la cuestión*. Madrid, España.
- Artaraz, M. (2002). *Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible*. Universidad del País Vasco-Euskal, España.
- Asociación Española del Aluminio y tratamiento de superficies (AEA). (2019). *Declaración ambiental de producto De acuerdo con ISO 14025 y EN 15804+A1 para: PERFILES DE ALUMINIO ANODIZADOS Y LACADOS*. Madrid, España.
- ASTM. (2016). *NORMAL-WEIGHT AND LIGHT-WEIGHT CONCRETE MASONRY UNITS AS MANUFACTURED BY MEMBERS OF THE CANADIAN CONCRETE MASONRY PRODUCERS ASSOCIATION (CCMPA)*. Ontario, Canada.
- Bell, S. & Morse, S. (2008). *Sustainability Indicators: Measuring the Inmeasurable?* Forest Stewardship Council, 2ª ed. Londres, Reino Unido.
- Bio Construcción. (2019). *Importancia de la construcción sostenible*. San José, Costa Rica. Recuperado de: <https://bioconstruc.com/importancia-de-construcciones-sostenibles/>
- Canga, J. (2017). *La Huella hídrica de la producción de energía*. Madrid, España. Recuperado de: <https://www.iagua.es/blogs/jose-luis-canga/huella-hidrica-produccion-energia>
- Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) (2016). *Guía Construcción Sostenible*. San José, Costa Rica.
- CAP Acero. (2020). *Steel reinforcing bar (weldable and nonweldable)*. Santiago, Chile.
- Castillo, J. (2021). *Metodología para el control y análisis del consumo de agua durante la fase constructiva de obra gris*. (Trabajo final de graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Centro Nacional de Control de la Energía. (CENCE). *Matriz Energética de Costa Rica*. San José, Costa Rica

- Cementos Bio Bio. (CBB). (2018). *Environmental Product Declaration In accordance with ISO 14025 and EN 15804 for: Ready-Mix Concrete G025 (10)-20-12-28-B*. Santiago, Chile.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (CEPAL). (2021). *Reflexiones sobre la gestión del agua en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (CEPAL). (2021). Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
- EcuRed. (s.f.). *Sistema de Gestión Ambiental (SGA)*. Recuperado de: [https://www.ecured.cu/Sistema_de_Gesti%C3%B3n_Ambiental_\(SGA\)](https://www.ecured.cu/Sistema_de_Gesti%C3%B3n_Ambiental_(SGA))
- EditorR. (2016). *¿Qué es un Sistema de Gestión Ambiental? Software ISO*. Recuperado de: <https://www.isotools.org/2016/07/26/que-es-un-sistema-de-gestion-ambiental/>
- Envira. (2020). *El ciclo Deming: en qué consiste y cómo ayuda en la gestión y mejora de procesos*. Madrid, España. Recuperado de: <https://envira.es/es/el-ciclo-deming-que-consiste-y-como-ayuda-gestion-procesos/#:~:text=El%20ciclo%20Deming%20es%20el,Do%2C%20Check%2C%20Act>
- EsAgua. (2021). *Huella hídrica y huella de agua: entendiendo las dos metodologías*. Madrid, España. Recuperado de: <http://www.esagua.es/huella-hidrica-y-huella-de-agua-entendiendo-las-dos-metodologias/>
- EUMEPS (2017). *Environmental Product Declaration In accordance with ISO 14025 and EN 15804 for: Expanded Polystyrene (EPS) Foam Insulation (with infra-red absorbers, density 20 kg/m³)*. Berlin, Germany.
- Euromix. (2019). ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION IN ACCORDANCE WITH EN 15804+A2 & ISO 14025 / ISO 21930 for MASONRY MORTARS CPI MORTARS LTD. United Kingdom
- European Waterproofing Association (EWA). (2021). ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION Shingles For Pitched-roof Covering –sector EPD. Finland, Lithuania, Italy, Norway, Poland, Russia, Slovakia, Turkey
- Fundación Aquae. (2016) *¡Tus ZAPATILLAS se hacen con AGUA! Las CONSECUENCIAS de la GLOBALIZACIÓN*. [Archivo de Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=uNR4PscQznc>

- Fundación MAPFRE. (2011). Huella hídrica, desarrollo y sostenibilidad en España. Madrid, España. Recuperado de <http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2013/03/informe-huella-hidrica-y-desarrollo-sostenible.pdf>
- Fundación OXFAM Intermón. (2020). *Definición de sostenibilidad: ¿sabes qué es y sobre qué trata?* Barcelona, España. Recuperado de: <https://blog.oxfamintermon.org/definicion-de-sostenibilidad-sabes-que-es-y-sobre-que-trata/>
- González, R; Rodríguez, Y; García, Y; Fernández L. (2010). Consumo de combustible de los motores de combustión interna. Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP: 32700.
- Grupo Banco Mundial. (2017). *Gestión de los Recursos Hídricos*. Washington D. C., Estados Unidos. Recuperado de: <https://www.bancomundial.org/es/topic/waterresourcesmanagement>
- Gutiérrez, E. (2020). *¿Qué es una declaración ambiental de producto?* San Salvador, El Salvador. Recuperado de: <https://www.elsalvadorgreenbc.org/que-es-una-declaracion-ambiental-de-un-producto-epd/>
- Hoekstra, A. Chapagain, A. Aldaya, M. y Mekonnen, M. (2011). *Manual de evaluación de huella hídrica*. Londres, Inglaterra, Washington DC, Estados Unidos. Recuperado de https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf
- Hoekstra, A. Mekonnen, M. (2012). The blue water footprint of electricity from hydropower. Department of Water Engineering and Management, Univ. of Twente, P.O. Box 217, 7500 AE Enschede, The Netherlands. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 179–187, 2012.
- Holcim. (2020). Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025:2006 and EN 15804:2012 *Average Aggregate*. Rumania.
- Holcim. (2019). Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025:2006 and EN 15804:2012 *Cemento industrial*. Cartago, Costa Rica.
- Holcim. (2019). Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025:2006 and EN 15804:2012 *Cemento fuerte*. Cartago, Costa Rica.

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2020). *INEC Costa Rica*. San José, Costa Rica
Recuperado de Estadísticas de la Construcción: <https://www.inec.cr/>
- INTE ISO 14046:2015. (2015). *Gestión ambiental — Huella de agua — Principios, requisitos y directrices*. INTECO, San José, Costa Rica.
- Iplex Pipelines. (2020). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION PVC NON-PRESSURE PIPES FOR BUILDING APPLICATIONS*. Australia.
- Iplex Pipelines. (2020). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION PVC PRESSURE PIPES FOR BUILDING APPLICATIONS*. Australia.
- Keraben Grupo, (2022). *Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con: ISO 14025 UNE-EN 15804:2012+A2:2019 para: AZULEJO*. Barcelona, España.
- Keraben Grupo, (2022). *Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con: ISO 14025 UNE-EN 15804:2012+A2:2019 para: GRES PORCELÁNICO*. Barcelona, España.
- Keraben Grupo, (2022). *Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con: ISO 14025 UNE-EN 15804:2012+A2:2019 para: GRES ESMALTADO*. Barcelona, España.
- Macy, (2022). *Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con: ISO 14025 UNE-EN 15804:2012+A2:2019 para: Barnices*. Albacete, España.
- Macy, (2022). *Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con: ISO 14025 UNE-EN 15804:2012+A2:2019 para: Pintura Exterior*. Albacete, España.
- Macy, (2022). *Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con: ISO 14025 UNE-EN 15804:2012+A2:2019 para: Esmaltes*. Albacete, España.
- Macy, (2022). *Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con: ISO 14025 UNE-EN 15804:2012+A2:2019 para: Pintura Interior*. Albacete, España.
- Mora, K. (2021). *El agua de Costa Rica aún tiene muchos retos, y oportunidades, por cumplir*. Tecnológico de Costa Rica (TEC), Cartago, Costa Rica. Recuperado de: <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2020/03/20/agua-costa-rica-aun-tiene-muchos-retos-oportunidades-cumplir>
- Naciones Unidas. (UN). (2021). *Objetivo 6 del Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. Nueva York, Estados Unidos. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

- Naciones Unidas. (UN). (2021). *Los desafíos del agua*. Nueva York, Estados Unidos. Recuperado de: <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (UNESCO). (2020). *El 3er Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. París, Francia. Recuperado de: http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/wwap_WWDR3_Facts_and_Figures_SP.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (UNESCO). (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*. París, Francia. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000221862>
- OEFSR. (2018). *Organisation Environmental Footprint Sector Rules*. Recuperado de: https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/OEFSR-Retail_15052018.pdf
- PEFCR guide. (2018). *Product Environmental Footprint Category 2 Rules Guidance*. Recuperado de: https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf
- Plycem. (2020). *Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con ISO 14025 y EN 15804:2012+A1 para: Fibrolit*. Costa Rica.
- Plycem. (2020). *Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con ISO 14025 y EN 15804:2012+A1 para: Plyrock* Costa Rica.
- Plycem. (2020). *Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con ISO 14025 y EN 15804:2012+A1 para: Trims*. Costa Rica.
- Plycem. (2020). *Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con ISO 14025 y EN 15804:2012+A1 para: Plystone*. Costa Rica.
- Plycem. (2020). *Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con ISO 14025 y EN 15804:2012+A1 para: Siding*. Costa Rica.
- Plycem. (2020). *Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con ISO 14025 y EN 15804:2012+A1 para: Plydeck*. Costa Rica.
- Programa Bandera Azul Ecológica (PBAE) (2019). *Manual de Procedimientos Categoría XV Construcción Sostenible*. Costa Rica.
- Programa Estado de la Nación. (2018). *Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. San José, Costa Rica.

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2021). *Antecedentes de los Objetivos del Desarrollo Sostenible*. París, Francia. Recuperado de: <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/background/>
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (1994). *Manual de Producción más Limpia, un paquete de recursos de capacitación*. París, Francia.
- Ramírez, A. (2002). La construcción sostenible. *Física y Sociedad*, N° 13, págs. 30-33. España.
- Saint Gobain. (2021). ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION In accordance with ISO 14025 and EN 15804:2012+A2:2019 for PARSOL®- Flat Glass From 3 mm to 10 mm Body tinted glass. France
- Saint Gobain. (2022). ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION In accordance with ISO 14025 and EN 15804:2012+A2:2019 for DOUBLE GLAZING CLIMATOP. France
- Saint Gobain. (2022). ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION In accordance with ISO 14025 and EN 15804:2012+A2:2019 for TRIPLE GLAZING CLIMATOP. France
- Universidad Autónoma de Madrid. (UAM). (2019). *Estimación de la huella hídrica en una promoción residencial*. Madrid, España. Recuperado de: https://eventos.uam.es/files/event/33229/editorFiles/file/Informe_UAM-ViaCelere_WEB.pdf
- Ternium México. (2019). *Environmental Product Declaration In accordance with ISO 14025:2006 and EN 15804:2012 for Galvanized, painted and die rolling steel manufactured*. México
- Ternium México. (2019). *Environmental Product Declaration In accordance with ISO 14025:2006 and EN 15804:2012 for Ternium TRD 91.5 Roof Deck*. México.
- Ternium México. (2019). *Environmental Product Declaration In accordance with ISO 14025:2006 and EN 15804:2012 for Steel Building Structure Products manufactured*. México
- Universidad Nacional en Costa Rica. (UNA). (2016). *Medición de la huella hídrica azul de la Universidad Nacional en Costa Rica, del 2012 al 2016*. Heredia, Costa Rica. Recuperado de: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-34702020000100189&script=sci_arttext

Water Footprint Network. (2020). *Fair and smart use of fresh water* (Mensaje en un blog). Recuperado de: <https://waterfootprint.org/en/>

Water Footprint Network. (2016). Product Water Footprints (Mensaje en un blog). Recuperado de <https://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/>.

Wood Solutions design and build. (2020). *Environmental Product Declaration Hardwood Timber*. Australia.

Wood Solutions design and build. (2020). *Environmental Product Declaration Plywood Timber*. Australia.

Wood Solutions design and build. (2020). *Environmental Product Declaration Softwood Timber*. Australia.

8. Anexos

A1. Formularios

Anexo 1. Formulario de inspección semanal

1. Datos generales		
Semana		
Fecha	Responsable	
Proyecto		

2. Consumo de agua		
Fotografía del medidor de agua		
Medición del medidor (m ³)		
Consumo semanal en tanques (m ³)		
Consumo semanal de cosecha de agua (m ³)		
¿Se utilizó concreto?		
Sí	No	
Volúmen (m ³)	Resistencia (kg/cm ²)	Relación A/C

3. Consumo de energía		
Fotografía del medidor de energía		

3. Consumo de energía	
Fotografía del medidor de energía	
Medición del medidor (kW)	

4. Consumo de combustibles		
Maquinaria	Horas día	Cantidad de días

5. Principales actividades realizadas	
1	
2	
3	
4	

6. Observaciones adicionales

6. Observaciones adicionales

A2. Lista de materiales proyecto 1

Anexo 2. Materiales Estructurales proyecto 1

Cuantificación de materiales del sistema estructural		
Material	Cantidad	Unidades
Concreto premezclado	14.00	m3
Acero longitudinal PC-1 (G70)	86.29	kg
Acero longitudinal PC-2 (G70)	50.59	kg
Acero longitudinal PC-3 (G70)	28.27	kg
Acero transversal PC-1 (G70)	68.56	kg
Acero transversal PC-2 (G70)	36.66	kg
Acero transversal PC-3 (G70)	24.11	kg

Cuantificación de materiales del sistema estructural		
Material	Cantidad	Unidades
Acero longitudinal VA-1 (G70)	46.91	kg
Acero longitudinal VA-2 (G70)	48.09	kg
Acero transversal VA-1 (G70)	18.21	kg
Acero transversal VA-2 (G70)	34.21	kg
Acero malla contrapiso (G70)	103.21	kg
Bloques (45 cm) nivel 1	1103.00	un
Bloques (30 cm) nivel 1	396.00	un
Acero refuerzo horizontal nivel 1 (G60)	162.45	kg
Acero refuerzo vertical nivel 1 (G60)	123.53	kg
Ganchos #1 nivel 1 (G70)	5.61	kg
Ganchos #2 nivel 1 (G70)	4.16	kg
Ganchos #3 nivel 1 (G70)	7.29	kg
Acero longitudinal C1 nivel 1 (G60)	128.00	kg
Acero longitudinal C2 nivel 1 (G70)	157.50	kg
Acero longitudinal C3 nivel 1 (G60)	60.00	kg
Acero transversal C1 nivel 1	63.48	kg
Acero transversal C2 nivel 1	32.66	kg
Acero transversal C3 nivel 1	15.24	kg
Acero longitudinal VP-1 nivel 1 (G70)	3.57	kg
Acero transversal VP-1 nivel 1 (G70)	1.05	kg
Acero longitudinal viga VE-1 (G70)	106.31	kg
Acero longitudinal viga VE-2 (G70)	79.82	kg
Acero longitudinal viga VE-2 (G60)	94.60	kg
Acero longitudinal viga VE-3 (G60)	68.2	kg
Acero longitudinal viga VE-4 (G70)	21.26	kg
Acero transversal viga VE-1 (G70)	36.75	kg
Acero transversal viga VE-2 (G70)	50.12	kg
Acero transversal viga VE-3 (G60)	59.43	kg
Acero transversal viga VE-4 (G70)	12.12	kg
Acero Viguetas (G60)	56.45	kg
Concreto Viguetas 210	1.35	m3
Estereofón	7.84	m3
Acero losas	1.32	kg
Concreto premezclado	12.00	m3
Bloques (45 cm) nivel 2	1389.00	un
Bloques (30 cm) nivel 2	403.00	un
Acero refuerzo horizontal nivel 2	239.85	kg
Acero refuerzo vertical nivel 2	151.88	kg
Ganchos #1 nivel 2 (G70)	12.83	kg
Ganchos #2 nivel 2 (G70)	9.70	kg
Ganchos #3 nivel 2 (G70)	10.21	kg
Acero longitudinal C1 nivel 2	128.00	kg
Acero longitudinal C2 nivel 2	157.50	kg
Acero longitudinal C3 nivel 2	60.00	kg

Cuantificación de materiales del sistema estructural		
Material	Cantidad	Unidades
Acero transversal C1 nivel 2	63.48	kg
Acero transversal C2 nivel 2	32.66	kg
Acero transversal C3 nivel 2	15.24	kg
Acero longitudinal VP-1 nivel 2 (G70)	2.38	kg
Acero transversal VP-1 nivel 2 (G70)	0.71	kg
Acero longitudinal viga VE-1 (G70)	194.74	kg
Acero longitudinal viga VE-2 (G70)	97.37	kg
Acero longitudinal viga VE-2 (G60)	115.40	kg
Acero transversal viga VE-1 (G70)	67.16	kg
Acero transversal viga VE-2 (G70)	61.07	kg
Acero Viguetas (G60)	73.38	kg
Concreto Viguetas 210	1.76	m3
Estereofon	10.19	m3
Acero losas	1.32	kg
Concreto premezclado	12.00	m3
Bloques (45 cm) nivel 3	968.75	un
Bloques (30 cm) nivel 3	255.75	un
Acero refuerzo horizontal nivel 3	172.63	kg
Acero refuerzo vertical nivel 3	95.47	kg
Ganchos #1 nivel 3 (G70)	10.36	kg
Ganchos #2 nivel 3 (G70)	9.54	kg
Ganchos #3 nivel 3 (G70)	8.79	kg
Acero longitudinal viga VC-1 (G70)	53.23	kg
Acero transversal viga VC-1 (G70)	36.00	kg
Acero longitudinal VP-1 nivel 3 (G70)	2.58	kg
Acero transversal VP-1 nivel 3 (G70)	0.77	kg
Bloques (45 cm) tapichel	242	un
Bloques (30 cm) tapichel	97	un
Acero refuerzo horizontal tapiche	43.12	kg
Acero refuerzo vertical tapichel	23.85	kg
Acero longitudinal viga VT-1 (G70)	41.71	kg
Acero transversal viga VT-1 (G70)	19.68	kg

Anexo 3. Materiales proyecto 1

Material	Cantidad	Unidades
Reglas 1x2x4	35.00	un
clavos corriente de 2.5 pulgadas	5.00	kg
clavos corriente de 2 pulgadas	5.00	kg
clavos acero de 2 pulgadas	1.00	caja
Cal	1.00	bolsa
zaran de 2 metros de ancho color verde	45.00	m
reglas 1x2x3	25.00	un
alfajillas 2x3x3	20.00	un

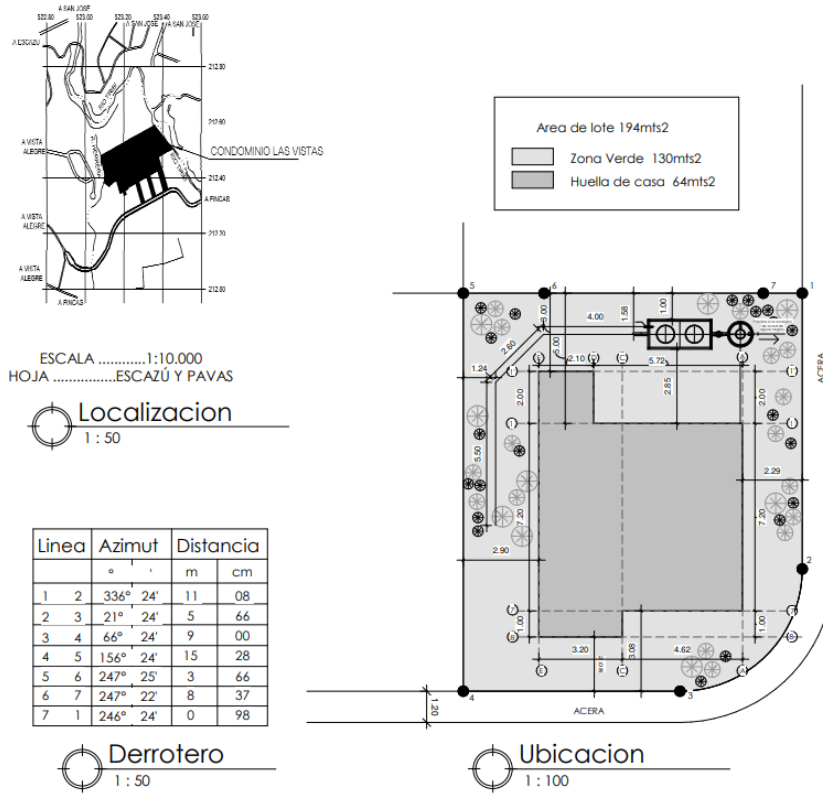
Material	Cantidad	Unidades
reglas 1x2x4	35.00	un
clavos corriente de 2.5 pulgadas	5.00	kg
clavos corriente de 2 pulgadas	5.00	kg
clavos acero de 2 pulgadas	1.00	caja
Cal	1.00	Bolsa
zaran de 2 metros de ancho color verde	45.00	m
reglas 1x2x3	25.00	un
alfajillas 2x3x3	20.00	un
tubos 1x1 en 1.5 HG	2.00	un
tomacorrontes economicos	2.00	un
tubo de chorro barato	1.00	un
unión de 1/2 que rosca y lisa	1.00	un
lastre fino	6.00	m
viaje de 6 metros de lastre fino	1.00	un
lastre	8.00	m
cemento	60.00	sacos
tubos conduit de 1/2 ul	40.00	un
tubos de 3/4 conduit ul	25.00	un
tapones lisos de 1/2 PVC	25.00	un
tapones lisos cpvc de 1/2	25.00	un
cajas rectangular ul pesadas	24.00	un
cajas cuadradas doble fondo ul pesadas	13.00	un
aros de repello de 1 gan	13.00	un
sedazo de 1/4	2.00	m
discos corte metal de 9	5.00	un
caja de crayon rojos	1.00	un
hojas de sequeta	2.00	un
alambre negro	30.00	kg
cajas de clavos acero de 2 pulgadas	2.00	un
tubos 1x3 en 1.5	5.00	un
reglas 1x3x3	25.00	un
caja de clavos de 2,1/2 corriente	1.00	un
clavos de 2 pulgadas corriente	10.00	kg
sacos de cemento	40.00	sacos
arena	4.00	m3
piedra quinta (en vagoneta pequeña porque la grande es muy complicado)	4.00	m3
Centro de carga CH 32 polos 125 amp para empotrar	1.00	un
tablas 1x12x4	13.00	un
reglas 1x3x4	25.00	un
tablas 1x12x4	30.00	un
caja clavos de 2.5 pulgadas corriente	1.00	un
cajas de clavos acero de 2 pulgadas	3.00	un
hojas de sequeta	3.00	un
lamina de plywood de 18 mm	1.00	un

Material	Cantidad	Unidades
pegamento para Pvc	1.00	1/4 de galon
alfajillas 2x3x4	20.00	varas
tablas 1x6x4	15.00	varas
reglas de 1x3x4	35.00	varas
tubos conduit de 3/4 ul	25.00	un
tubos conduit de 1/2 ul	40.00	un
conectores de 1/2 ul	80.00	un
curvas conduit de 3/4 ul	45.00	un
curvas conduit de 1/2 ul	60.00	un
uniones de 3/4 conduit ul	25.00	un
uniones de 1/2 conduit ul	30.00	un
conectores de 3/4 ul	40.00	un
tubos de 1/2 potable	6.00	un
tee de 3 pulgadas pvc	1.00	un
rollo de tape negro	1.00	un
lámina de plywood 18 mm	1.00	un
cuartos de pegamento wetdry	2.00	1/4 de galon
reglas 1x3x4	20.00	un
broca de 3/8	1.00	un
arena	4.00	m3
piedra quintella	4.00	m3
Cemento	105	sacos 50 kg
Arena	7	m3
Piedra	10	m3
Tablas 1x12	40	un
Reglas 1x3	100	un
Mortero de pega	120	sacos 40 kg
repello grueso	67	sacos 40 kg
Repello fino	67	sacos 40 kg
Cemento	120	sacos 50 kg
Arena	8	m3
Piedra	11	m3
Tablas 1x12	27	un
Reglas 1x3	65	un
Mortero de pega	130	sacos 40 kg
repello grueso	75	sacos 40 kg
Repello fino	75	sacos 40 kg
Cemento	90	sacos 50 kg
Arena	6	m3
Piedra	8	m3

Material	Cantidad	Unidades
Tablas 1x12	20	un
Reglas 1x3	40	un
Mortero de pega	100	sacos 40 kg
repello grueso	55	sacos 40 kg
Repello fino	55	sacos 40 kg

A3. Planta arquitectónica proyecto 1

Anexo 4. Ubicación proyecto 1



A4. Lista de materiales proyecto 2

Anexo 7. Materiales proyecto 2

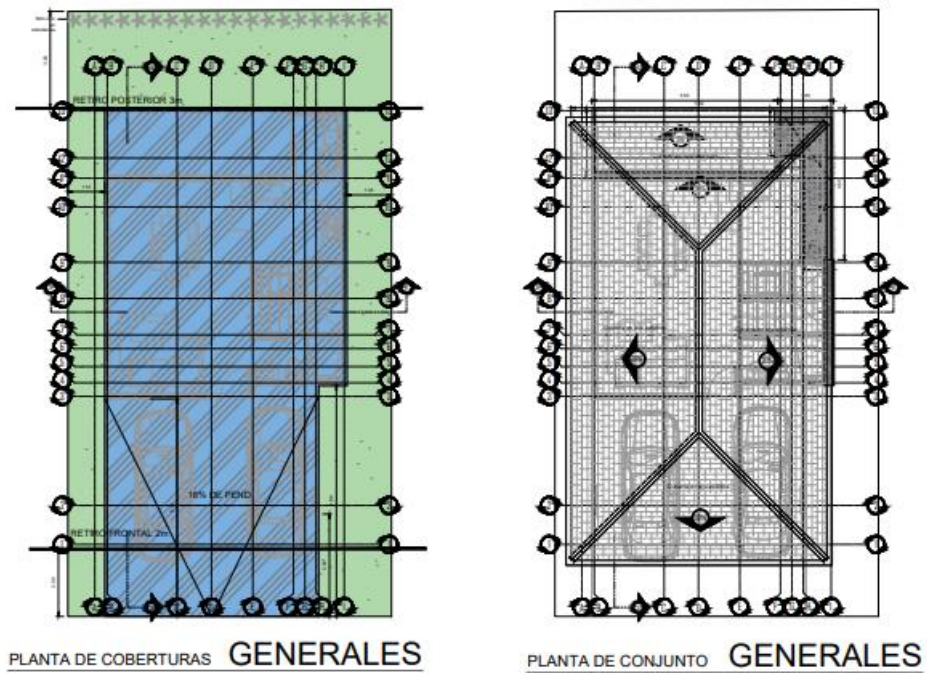
Material	Cantidad	Unidad
Cimentaciones		
Bloques 15x20x40	240	un
Cemento	90	sacos
Arena	5	m3
Piedra	7	m3
Varillas #3	181	un
Lastre	11	m3
Paredes nivel 1		
Bloques 15x20x40	1660	un
Cemento	90	Sacos
Arena	6	m3
Piedra	7	m3
Varillas #3	230	un
Mortero de pega	120	Sacos
Repello grueso	35	Sacos
Paredes nivel 2		
Bloques 12x20x40	1180	un
Cemento	100	Sacos
Arena	7	m3
Piedra	10	m3
Varillas #3	275	un
Mortero de pega	135	Sacos
Repello grueso	40	Sacos
Contrapiso y Acera exterior		
Cemento	110	sacos
Arena	6	m3
Piedra	8	m3
Malla electrosoldada	10	un
Cielos		
Gypsum	65	láminas
Furring	50	un
Pintura	10	galones
Techo		
Larguero 2"x6"x1.5mm	11	un
Clavador en rt 2"x3" en 1.5mm	50	un

Material	Cantidad	Unidad
Larguero 2"x4"x1.5mm	5	un
Lamina OSB 11mm x 1.22 x 2.44 metros	35	un
Teja asfáltica	120	m2
Ventanas y puertas		
Vidrio	35	m2
Madera	3.78	m2
Cerámicas		
Porcelanato	170	m2
Azulejo	70	m2
Mortero adhesivo	58	sacos de 40 kg
Entrepiso y escalera		
Concreto premexclado	14	m3
Tablas 1x12x4varas	12	un
Reglas 1x3x4 varas	30	un
Estereofón	88	un
Malla electrosoldada	7	un
Vigas		
Varillas #3	205	un
Varillas #4	66	un
Cemento	95	
Arena	6	
Piedra	8	
Tablas 1x12x4varas	82	
Reglas 1x3x4 varas	300	
PVC		
PVC 100mm	9	un
PVC 75mm	14	un
Conduit 19 mm	20	un
CPVC 13 mm	7	un
PVC 150 mm	3	un
Conduit 32 mm	20	un

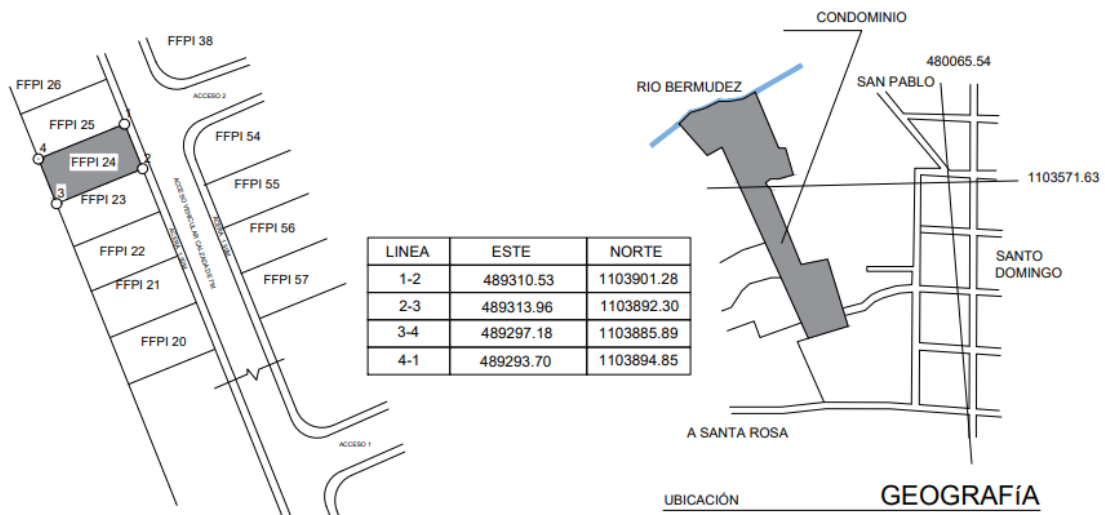
Material	Cantidad	Unidad
Conduit 12 mm	64	un
Uniones		
13 mm	10	un
19 mm	15	un
32 mm	11	un
75 mm	7	un
100 mm	5	un
150 mm	10	un
Codos		
13 mm	7	un
19 mm	11	un
32 mm	8	un
75 mm	6	un
100 mm	3	un
150 mm	8	un
Canoas PVC	5	un
Cajas de registro	12	un
Detalles		
Pintura	52	gal
Fachaleta en fachada	15	m2
Mortero adhesivo	5	sacos de 40
Tapia		
Master Block	375	un
varilla n3	70	un
Mortero de pega	22	sacos 40 kg
repello grueso	15	sacos 40 kg
Cemento	40	sacos 50 kg
Arena	3	m3
Piedra	4	m3

A5. Planta arquitectónica proyecto 2

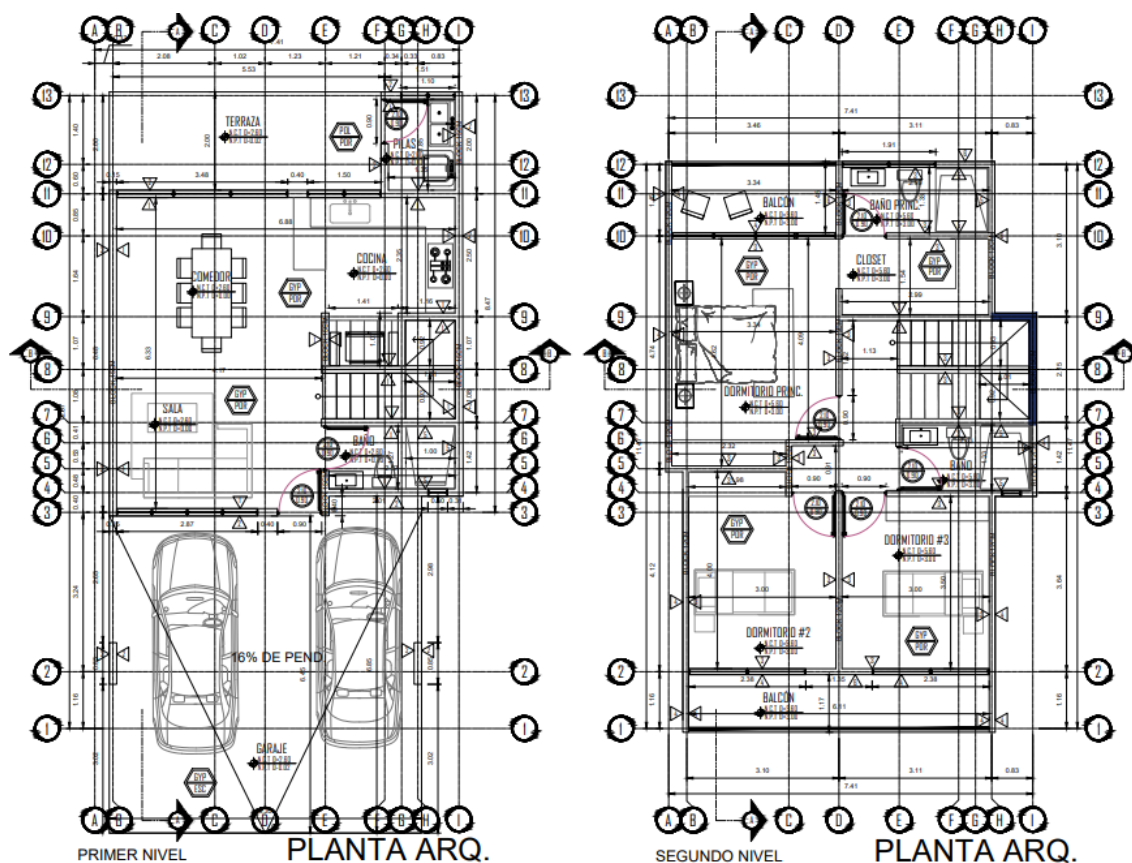
Anexo 8. Planta coberturas proyecto 2



Anexo 9. Ubicación proyecto 2



Anexo 10. Planta arquitectónica nivel 1 y 2 proyecto 2



A6. Tabla de factores para cálculo de Huella de agua

Anexo 11. Base de datos para Huella de agua

Material	Unidad	Para Huella de agua expresa en m ³ de agua por unidad de material			Fuente
		Uso de agua en proceso productivo	Consumo de agua de cosecha	Potencial de escasez de agua	
Acero de refuerzo soldable	ton	32.81	NA	1721.00	CAP Acero, 2020
Acero de refuerzo no soldable	ton	32.72	NA	1717.00	CAP Acero, 2020
Bloques de concreto	m ³	1.040	NA	NR	ASTM International, 2016
Madera blanda aserrada	m ³	1.01	291	NR	WoodSolutions, 2020
Madera dura aserrada	m ³	1.17	927	NR	WoodSolutions, 2020
Plywood	m ³	0.094	15.1	NR	WoodSolutions, 2020
Agregados	ton	2.26	NA	NR	Holcim rumania, 2020
Poliestireno	m ³	0.34	NA	NR	Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), 2017
PVC-U presión	kg	0.732-0.751	NA	NR	Iplex y Vinidex, 2020
PVC-O presión	kg	0.705-0.731	NA	NR	Iplex y Vinidex, 2020
PVC-M presión	kg	0.748-0.775	NA	NR	Iplex y Vinidex, 2020

Material	Unidad	Para Huella de agua expresa en m ³ de agua por unidad de material			Fuente
		Uso de agua en proceso productivo	Consumo de agua de cosecha	Potencial de escasez de agua	
PVC sin presión y conduit	kg	0.716-0.792	NA	NR	Iplex y Vinidex, 2020
Concreto premezclado	m ³	6.33	NA	NR	Cementos Bio Bio S.A, 2018
Cemento industrial en saco	ton	1.15	NA	45.50	Holcim CR, 2019
Cemento industrial a granel	ton	0.98	NA	39.00	Holcim CR, 2019
Cemento fuerte en saco	ton	0.94	NA	37.30	Holcim CR, 2019
Cemento fuerte a granel	ton	0.77	NA	30.90	Holcim CR, 2019
Plyrock	ton	3.54	NA	NR	Plycem CR, 2020
Trims	ton	3.56	NA	NR	Plycem CR, 2020
Fibrolit	ton	3.80	NA	NR	Plycem CR, 2020
Plystone	ton	3.66	NA	NR	Plycem CR, 2020
Siding	ton	4.12	NA	NR	Plycem CR, 2020
Plydeck	ton	6.97	NA	NR	Plycem CR, 2020
Acero galvanizado, pintado y troquelado	ton	13.20	NA	610.00	Ternium México, 2019
Lámina TRD 91.5	ton	12.20	NA	526.00	Ternium México, 2019
Vigas y columnas de acero	ton	10.80	NA	496.00	Ternium México, 2019
Stud	ton	9.30	NA	323.00	Ternium México, 2019
Canoas metálicas	ton	11.40	NA	403.00	Ternium México, 2019
Metaldeck	ton	13.20	NA	1122.00	Ternium México, 2019
Pintura	kg	0.037	NA	1.37	Macy, 2022
Pintura elástica	kg	0.140	NA	4.48	Macy, 2022
Pintura anticorrosiva	kg	0.110	NA	3.85	Macy, 2022
Barniz	kg	0.04	NA	1.57	Macy, 2022
Esmaltes	kg	0.06	NA	2.19	Macy, 2022
Cerámica	m ²	0.026	NA	1.66	Keraben Grupo, 2022
Porcelanato	m ²	0.034	NA	1.74	Keraben Grupo, 2022
Azulejo	m ²	0.027	NA	1.43	Keraben Grupo, 2022
Teja Asfáltica	m ²	0.239	NA	9.15	EWA, 2021
Mortero de pega	ton	1.970	NA	67.50	Euromix, 2019
Energía hidroeléctrica	GJ	22.30	NA	NR	Hoeskstra, 2012
Gasolina (Diesel)	m ³	6	NA	NR	WaterFootprint Calculator, 2017
Ventana doble vidrio	m ²	0.17	NA	5.00	Saint Gobain, 2022
Ventana triple vidrio	m ²	0.23	NA	6.24	Saint Gobain, 2022
Ventana Polarizada 3 mm	m ²	0.0152	NA	0.45	Saint Gobain, 2021
Ventana Polarizada 4 mm	m ²	0.0203	NA	0.60	Saint Gobain, 2021
Ventana Polarizada 5 mm	m ²	0.0254	NA	0.75	Saint Gobain, 2021

Material	Unidad	Para Huella de agua expresa en m ³ de agua por unidad de material			Fuente
		Uso de agua en proceso productivo	Consumo de agua de cosecha	Potencial de escasez de agua	
Ventana Polarizada 6 mm	m ²	0.0304	NA	0.90	Saint Gobain, 2021
Gypsum	m ²	0.0175	NA	NR	Plaka, 2021
Furring	ml	0.0203	NA	NR	Saint Gobain, 2021