

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**Metodología para el control y análisis del consumo de agua durante la fase  
constructiva de obra gris**

**Trabajo Final de Graduación**

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

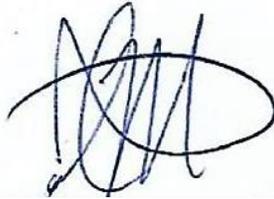
**Juan Pablo Castillo Villegas**

Director de Proyecto de Graduación:

**Ing. Erick Mata Abdelnour, PhD.**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio





---

**Director del Proyecto:** Ing. Erick Mata Abdelnour



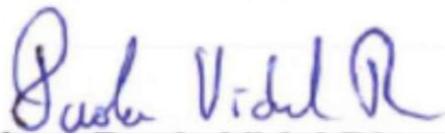
---

**Estudiante:** Juan Pablo Castillo Villegas



---

**Asesor:** Ing. Carlos Castro Campos



---

**Asesora:** Ing. Paola Vidal Rivera

## **Derechos de autor**

**Fecha:** 2021, Febrero, 16

El suscrito, **Juan Pablo Castillo Villegas**, cédula 1-1696-0120, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **B51691**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación **Metodología para el control y análisis del consumo de agua a partir de prácticas constructivas sostenibles durante la fase constructiva de obra gris**, bajo la Dirección del **phD. Ing. Erick Mata Abdelnour**, 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**

A Dios y a mi familia, pero en especial, para las mujeres más importantes de mi vida: mi madre y mi abuela.

## **Agradecimientos**

A Dios, por ser la luz y el sentido de mi vida, por darme la fuerza de voluntad necesaria y el amor en todo momento de esta etapa.

A mi mamá, por nunca dejar que me diera por vencido, por su amor incondicional y por enseñarme a perseverar, a luchar por mis sueños y poder compartirlos juntos. Este logro es suyo también por dárme todo en la vida.

A mi tío Kon, por ser el que me prendió la chispa de la ingeniería. Gracias por enseñarme que el trabajo es lo que mantiene honesta a una persona y que hay que proteger las cosas que tanto trabajo se hizo para construirse.

A mis abuelos, por enseñarme desde pequeño que por más que cuesten las cosas, se pueden lograr por medio del trabajo y por siempre tener una sonrisa en sus caras que me alegran el corazón.

A mis hermanos, Mari y Gabo, gracias por ser mi fuente de inspiración y de alegría. Gracias por el corazón tan grande que tienen, por ayudarme a salir adelante siempre y por su entendimiento. Este logro es para y por ustedes.

A mi director, el Ing. Erick Mata Abdelnour, por su paciencia en toda etapa de la investigación y por ser un guía y tutor que se preocupa por el desarrollo personal de sus estudiantes.

A mis asesores, el Ing. Carlos Castro Campos y la Ing. Paola Vidal Rivera, por su apoyo fundamental durante el desarrollo del proyecto y por sus conocimientos que se ven reflejados en la investigación realizada.

A Sebas, Karen, Steven, Lau Estrada, Ale, Lau Trujillo, Ricardo, por todos los momentos vividos en esta etapa universitaria. Tareas, proyectos, exámenes, momentos que llevaré en mi corazón toda la vida y que solo personas como ustedes podían lograrlo.

A mis otros compañeros y amigos, por permitirme crecer como persona y como profesional en esta etapa de vida y por todas las anécdotas vividas.

## Tabla de Contenido

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Justificación .....	1
1.1.1. El problema específico .....	1
1.1.2. Importancia .....	1
1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema .....	3
1.2. Objetivos .....	5
1.2.1. Objetivo general .....	5
1.2.2. Objetivos específicos .....	5
1.3. Delimitación del problema .....	5
1.3.1. Alcance .....	5
1.3.2. Limitaciones .....	6
1.4. Descripción de la metodología a usar .....	7
1.4.1. Etapa 1: Investigación Teórica .....	7
1.4.2. Etapa 2: Elaboración de metodología .....	8
1.4.3. Etapa 3: Aplicación de Metodología en Campo .....	8
1.4.4. Etapa 4: Validación Final .....	8
<b>Capítulo 2. Marco Teórico .....</b>	<b>10</b>
2.1 Definición de metodología .....	10
2.2 Desarrollo Sostenible .....	11
2.3 Construcción Sostenible .....	12
2.4 Sistemas de Certificación Sostenible .....	13
2.4.1 BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) .....	14
2.4.3 CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) .....	15
2.4.3 LBC (Living Building Challenge) .....	17
2.4.4 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) .....	19
2.4.5 EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies) .....	21
2.4.6 RESET (Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico) .....	22
2.4.7 PBAE-CS (Programa Bandera Azul Ecológica – Construcción Sostenible) ..	24
2.5 Consumo del recurso hídrico en la etapa de obra gris .....	27
2.6 Gestión del agua en la construcción a nivel internacional y nacional .....	28

2.6.1. España .....	29
2.6.2. Colombia .....	29
2.6.3. Chile.....	30
2.6.4. Costa Rica.....	31
<b>Capítulo 3. Metodología para recolección y análisis de datos de consumo de agua durante la obra gris .....</b>	<b>33</b>
3.1 Etapa 1: Definición de información y datos requeridos.....	33
3.2 Etapa 2: Recolección de datos e información .....	38
3.3 Etapa 3: Análisis de datos y obtención de resultados.....	40
<b>Capítulo 4. Análisis de resultados de datos obtenidos a partir de la implementación de la metodología .....</b>	<b>50</b>
4.1 Proyecto Torre Las Loras .....	52
4.2 Proyecto San Pedro Business Center .....	77
4.3 Comparación entre proyectos .....	98
<b>Capítulo 5. Validación de metodología elaborada .....</b>	<b>104</b>
<b>Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>108</b>
6.1. Conclusiones.....	108
6.2. Recomendaciones .....	108
<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>112</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>116</b>
Anexo 1. Formulario 001 - Confirmación de Requisitos de la Construcción .....	116
Anexo 2. Formulario 002 – Instrumento de Recolección de Datos .....	118
Anexo 3. Datos de entrada para el análisis de datos del proyecto Torre Las Loras según la metodología aplicada .....	119
Anexo 4. Datos de entrada para el análisis de datos del proyecto San Pedro Business Center según la metodología aplicada .....	121
Anexo 5. Herramienta de evaluación aplicado para la validación de la metodología elaborada.....	123

## Tabla de Figuras

Figura 1. Gráfica de variación del PIB Construcción y de la tasa de variación anual en Costa Rica.....	2
Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología realizada en el trabajo de investigación.....	9
Figura 3. Diferencia entre técnicas y métodos en una metodología.....	10
Figura 4. Dimensiones del desarrollo sostenible y su relación.....	12
Figura 5. Establecimiento de los límites a evaluar y de la eficiencia del entorno construido para metodología CASBEE.....	16
Figura 6. Matriz de pétalos, imperativos y tipologías para certificación LBC.....	18
Figura 7. Proceso de certificación EDGE en etapa de diseño y construcción.....	22
Figura 8. Puntos requeridos para categorización de impacto de proyectos según metodología RESET.....	23
Figura 9. Áreas de evaluación para metodología RESET con cantidad de objetivos, conceptos y criterios.....	24
Figura 10. Fotografía del medidor de agua del AyA del proyecto Torre Las Loras.....	35
Figura 11. Sección de información general del proyecto de formulario "001 – Confirmación de Requisitos de la Construcción".....	37
Figura 12. Sección de confirmación de requisitos generales del proyecto de formulario "001 – Confirmación de Requisitos de la Construcción".....	38
Figura 13. Sección de confirmación de requisitos específicos de agua del proyecto de formulario "001 – Confirmación de Requisitos de la Construcción".....	38
Figura 14. Sección de información general del proyecto de formulario "002 – Instrumento de Recolección de Datos".....	39
Figura 15. Sección de recolección de datos de consumo de agua del proyecto de formulario "002 – Instrumento de Recolección de Datos".....	40
Figura 16. Sección de datos de entrada para el análisis de consumo mensual de la herramienta de análisis de datos en Microsoft Excel.....	41
Figura 17. Sección de datos de entrada para el análisis de consumo por nivel de la herramienta de análisis de datos en Microsoft Excel.....	42
Figura 18. Sección de asignación de consumos de agua por nivel, primer apartado de consumo según medidor de la herramienta de análisis de datos en Microsoft Excel.....	44

Figura 19. Sección de asignación de consumos de agua por nivel, segundo apartado de consumo según medidor de la herramienta de análisis de datos en Microsoft Excel .....	44
Figura 20. Sección de asignación de consumos de agua por nivel, apartado de consumo de agua en el concreto de la herramienta de análisis de datos en Microsoft Excel .....	45
Figura 21. Resultados e indicadores obtenidos a partir del análisis de consumos de agua por niveles en la herramienta elaborada en Microsoft Excel.....	47
Figura 22. Diagrama de flujo de la metodología para el control y análisis del consumo de agua de una construcción en su etapa de obra gris .....	49
Figura 23. Bandera Azul otorgada al proyecto Torre Las Loras por parte del PBAE.....	50
Figura 24. Bandera Azul otorgada al proyecto San Pedro Business Center por parte del PBAE .....	51
Figura 25. Ubicación del proyecto Torre Las Loras.....	53
Figura 26. Vista frontal del modelo de Torre Las Loras .....	54
Figura 27. Vista en isométrico del modelo de Torre Las Loras .....	54
Figura 28. Fotografía del proyecto Torre Las Loras en su etapa de construcción.....	55
Figura 29. Manguera reparada y con pistola para evitar y controlar el desperdicio de agua .	55
Figura 30. Curador IMPERCURE sin membrana para concreto utilizado en proyecto Torre Las Loras.....	56
Figura 31. Aplicación de curador químico para concreto en proyecto Torre Las Loras .....	56
Figura 32. Empleo de llaves tipo “push” en lavatorios del proyecto Torre Las Loras .....	57
Figura 33. Cabañas sanitarias utilizadas en el proyecto Torre Las Loras .....	57
Figura 34. Limpieza de cabañas sanitarias del proyecto Torre Las Loras .....	58
Figura 35. Inodoro de bajo consumo instalado en el proyecto Torre Las Loras .....	58
Figura 36. Medidor de agua del proyecto Torre Las Loras .....	59
Figura 37. Gráfico del consumo de agua por recibos mensuales para Torre Las Loras.....	61
Figura 38. Gráfico del consumo acumulado de agua por recibos mensuales para Torre Las Loras.....	61
Figura 39. Gráfico del consumo corregido de agua por recibos mensuales para Torre Las Loras .....	63
Figura 40. Gráfico del consumo acumulado corregido de agua por recibos mensuales para Torre Las Loras.....	64

Figura 41. Gráfico del porcentaje de consumo total de agua para cada nivel en Torre Las Loras .....	68
Figura 42. Gráfico de consumo total de agua según fuente para cada nivel en Torre Las Loras .....	69
Figura 43. Gráfico de consumo total de agua por nivel en Torre Las Loras .....	69
Figura 44. Gráfico de consumo acumulado de agua por nivel en Torre Las Loras.....	70
Figura 45. Gráfico de consumo acumulado de agua con respecto al porcentaje de avance de obra gris en Torre Las Loras .....	71
Figura 46. Gráfico de consumo unitario de agua según área de cada nivel en Torre Las Loras .....	72
Figura 47. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua según área acumulada en Torre Las Loras.....	72
Figura 48. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua con respecto al porcentaje de avance de obra gris según área acumulada en Torre Las Loras .....	73
Figura 49. Gráfico de consumo unitario de agua según cantidad de concreto colado por nivel en Torre Las Loras .....	73
Figura 50. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua según cantidad de concreto colado acumulado en Torre Las Loras .....	74
Figura 51. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua con respecto al porcentaje de avance de obra gris según cantidad de concreto acumulado en Torre Las Loras.....	74
Figura 52. Gráfico del consumo de agua según las lecturas semanales recolectadas entre agosto a setiembre del 2020 para Torre Las Loras .....	76
Figura 53. Gráfico del consumo acumulado de agua según las lecturas semanales recolectadas entre agosto a setiembre del 2020 para Torre Las Loras.....	76
Figura 54. Ubicación del proyecto de San Pedro Business Center.....	77
Figura 55. Vista frontal del modelo de San Pedro Business Center .....	78
Figura 56. Vista en isométrico del modelo de San Pedro Business Center .....	78
Figura 57. Fotografía del proyecto San Pedro Business Center en su etapa de construcción	79
Figura 58. Cabañas sanitarias utilizadas en el proyecto San Pedro Business Center .....	79
Figura 59. Aplicación de curador químico para concreto en proyecto San Pedro Business Center .....	80

Figura 60. Aplicación de curador químico para concreto en proyecto San Pedro Business Center .....	80
Figura 61. Empleo de tanquetas para el control del polvo en el proyecto San Pedro Business Center .....	81
Figura 62. Tanque utilizado para la recolección de agua de lluvia en el proyecto San Pedro Business Center .....	81
Figura 63. Medidor de agua del proyecto San Pedro Business Center.....	82
Figura 64. Gráfico del consumo de agua por recibos mensuales para San Pedro Business Center .....	84
Figura 65. Gráfico del consumo acumulado de agua por recibos mensuales para San Pedro Business Center .....	84
Figura 66. Gráfico del consumo corregido de agua por recibos mensuales para San Pedro Business Center .....	86
Figura 67. Gráfico del consumo acumulado corregido de agua por recibos mensuales para San Pedro Business Center .....	86
Figura 68. Gráfico del porcentaje de consumo total de agua para cada nivel en San Pedro Business Center .....	90
Figura 69. Gráfico de consumo total de agua según fuente para cada nivel en San Pedro Business Center .....	90
Figura 70. Gráfico de consumo total de agua por nivel en San Pedro Business Center .....	91
Figura 71. Gráfico de consumo acumulado de agua por nivel en San Pedro Business Center.....	91
Figura 72. Gráfico de consumo acumulado de agua con respecto al porcentaje de avance de obra gris en San Pedro Business Center.....	92
Figura 73. Gráfico de consumo unitario de agua según área de cada nivel en San Pedro Business Center .....	93
Figura 74. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua según área acumulada en San Pedro Business Center .....	93
Figura 75. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua con respecto al porcentaje de avance de obra gris según área acumulada en San Pedro Business Center .....	94
Figura 76. Gráfico de consumo unitario de agua según cantidad de concreto colado por nivel en San Pedro Business Center .....	94

Figura 77. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua según cantidad de concreto colado acumulado en San Pedro Business Center .....	95
Figura 78. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua con respecto al porcentaje de avance de obra gris según cantidad de concreto acumulado en San Pedro Business Center	95
Figura 79. Gráfico del consumo de agua según las lecturas semanales recolectadas entre agosto a setiembre del 2020 para San Pedro Business Center .....	97
Figura 80. Gráfico del consumo acumulado de agua según las lecturas semanales recolectadas entre agosto a setiembre del 2020 para San Pedro Business Center .....	97
Figura 81. Gráfico comparativo de porcentajes de consumo total de agua entre Torre Las Loras y San Pedro Business Center.....	98
Figura 82. Gráfico comparativo de porcentajes de consumo total acumulado de agua entre Torre Las Loras y San Pedro Business Center .....	99
Figura 83. Gráfico comparativo de consumo total de agua entre Torre Las Loras y San Pedro Business Center .....	100
Figura 84. Gráfico comparativo de los consumos unitarios de agua según área de niveles entre Torre Las Loras y San Pedro Business Center .....	101
Figura 85. Gráfico comparativo de los consumos unitarios de agua según cantidad de concreto por nivel entre Torre Las Loras y San Pedro Business Center .....	101
Figura 86. Gráfico comparativo de los consumos unitarios acumulados de agua según área de niveles entre Torre Las Loras y San Pedro Business Center .....	102
Figura 87. Gráfico comparativo de los consumos unitarios acumulados de agua según cantidad de concreto por nivel entre Torre Las Loras y San Pedro Business Center .....	103
Figura 88. Resultados de la aplicación del formulario de validación.....	106
Figura 89. "Formulario 001 – Confirmación de Requisitos de la Construcción" elaborado para la metodología de control de consumo de agua en la construcción .....	116
Figura 90. "Formulario 002 – Instrumento de Recolección de Datos" elaborado para la metodología de control de consumo de agua en la construcción.....	118
Figura 91. Herramienta de evaluación aplicada para la validación de la metodología.....	123

## Tabla de Cuadros

Cuadro 1. Tipo de certificación BREEAM según porcentaje de puntos obtenidos .....	15
Cuadro 2. Escalas y herramientas que conforman la Familia CASBEE .....	17
Cuadro 3. Tipo de certificación LBC y criterios de obtención de la certificación .....	18
Cuadro 4. Categorías de evaluación para certificación LEED y cantidad de puntos a asignar	20
Cuadro 5. Tipo de certificación LEED según rango de puntos obtenidos .....	21
Cuadro 6. Parámetros de evaluación de modalidad Fase 2 PBAE-CS "Construcción" .....	25
Cuadro 7. Oferta, demanda y aprovechamiento del recurso hídrico en países centroamericanos .....	27
Cuadro 8. Áreas, fechas de inicio y final y porcentaje de avance para cada nivel del proyecto Torre Las Loras .....	60
Cuadro 9. Resultados de consumos mensuales según medidor del proyecto Torre Las Loras	60
Cuadro 10. Resultados corregidos de consumos mensuales según medidor del proyecto Torre Las Loras .....	63
Cuadro 11. Tiempo bruto de construcción y consumos por medidor mensuales para cada nivel en proyecto Torre Las Loras .....	65
Cuadro 12. Porcentajes de distribución y consumos de agua según medidor para cada nivel en proyecto Torre Las Loras .....	65
Cuadro 13. Cantidad de concreto colado con resistencia de 280 kg/cm <sup>2</sup> y consumo de agua adherida al concreto para cada nivel en proyecto Torre Las Loras .....	66
Cuadro 14. Cantidad de concreto colado con resistencia de 210 kg/cm <sup>2</sup> y consumo de agua adherida al concreto para cada nivel en proyecto Torre Las Loras .....	67
Cuadro 15. Resultados finales para el análisis del consumo de agua por niveles para el proyecto Torre Las Loras .....	67
Cuadro 16. Registro de datos semanales recolectados del medidor de agua del proyecto Torre Las Loras en el periodo agosto-setiembre del 2020 .....	75
Cuadro 17. Áreas, fechas de inicio y final y porcentaje de avance para cada nivel del proyecto San Pedro Business Center .....	83
Cuadro 18. Resultados de consumos mensuales según medidor del proyecto San Pedro Business Center .....	83
Cuadro 19. Resultados corregidos de consumos mensuales según medidor del proyecto San Pedro Business Center .....	85

Cuadro 20. Tiempo bruto de construcción y consumos por medidor mensuales para cada nivel en proyecto San Pedro Business Center .....	87
Cuadro 21. Porcentajes de distribución y consumos de agua según medidor para cada nivel en proyecto San Pedro Business Center.....	88
Cuadro 22. Cantidad de concreto colado y consumo de agua adherida al concreto para cada nivel en proyecto San Pedro Business Center .....	89
Cuadro 23. Resultados finales para el análisis del consumo de agua por niveles para el proyecto San Pedro Business Center .....	89
Cuadro 24. Registro de datos semanales recolectados del medidor de agua del proyecto San Pedro Business Center en el periodo agosto-setiembre del 2020 .....	96
Cuadro 25. Preguntas realizadas en el formulario de validación de la metodología y promedio obtenido según respuestas .....	105
Cuadro 26. Datos e información de entrada en la herramienta de análisis de datos del proyecto Torre Las Loras.....	119
Cuadro 27. Datos e información de entrada en la herramienta de análisis de datos del proyecto San Pedro Business Center .....	121

Castillo Villegas, Juan Pablo

Metodología para el control y análisis del consumo de agua a partir de prácticas constructivas sostenibles durante la fase constructiva de obra gris

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

J. P. Castillo V., 2021

xiv, 115, [12]h; ils. col. – 44 refs.

## Resumen

La construcción es uno de los mayores sectores que promueven en el desarrollo de un país, no obstante, también es un sector con un alto uso de los recursos e impacto en el ambiente. A nivel nacional, la construcción sostenible ha tomado fuerza por medio de la aplicación de prácticas y técnicas constructivas sostenibles que minimicen el impacto ambiental, sin embargo, no existen registros estadísticos que demuestren el ahorro en el consumo de los recursos. El presente trabajo tiene como objetivo principal la elaboración de una metodología para el registro, control y análisis del consumo del agua, de manera que pueda ser aplicada a nivel nacional para generar estándares de sostenibilidad que indiquen el verdadero impacto de los proyectos de construcción y la comparación entre ellos.

Para ello, se revisaron diversas certificaciones y guías de sostenibilidad implementadas a nivel internacional y nacional para determinar la importancia de la gestión de los recursos y las posibles maneras de controlar y registrar los consumos de agua. A partir de ello, se establecieron herramientas y procesos para definir las fuentes de consumo, recolectar datos en sitio y analizar su comportamiento. La metodología se aplicó en dos proyectos de construcción en modalidad vertical durante su fase de obra gris, obteniendo resultados de consumos de agua mensuales, según el porcentaje de obra gris finalizado y para cada nivel.

La metodología y resultados encontrados resultaron ser una primera aproximación válida para determinar el consumo de agua en una construcción a partir de la aprobación de un comité de validación conformado por profesionales expertos en el ámbito de la construcción sostenible. Asimismo, se estableció el indicador de sostenibilidad de metros cúbicos de agua consumidos por metros cuadrados construidos para obtener consumos unitarios útiles que puedan utilizarse en la comparación de resultados entre proyectos.

**Palabras clave:** construcción sostenible, metodología, control y análisis, consumo de agua

## **Capítulo 1. Introducción**

### **1.1. Justificación**

#### **1.1.1. El problema específico**

A lo largo de los años, el sector de la construcción ha evolucionado a partir del aumento de la población y de la reactivación de la economía. No obstante, esto conlleva a un crecimiento apresurado y a un mayor gasto de los recursos de la construcción. Es por este motivo que se ha tenido que incorporar el desarrollo sostenible como enfoque principal a la hora de desarrollar la ingeniería, tomando en cuenta la optimización de los recursos.

Uno de los aspectos más importantes para el desarrollo sostenible en la construcción de infraestructura es el manejo racional y eficiente de los recursos, principalmente enfocado en la energía, los materiales, el manejo de residuos y el agua.

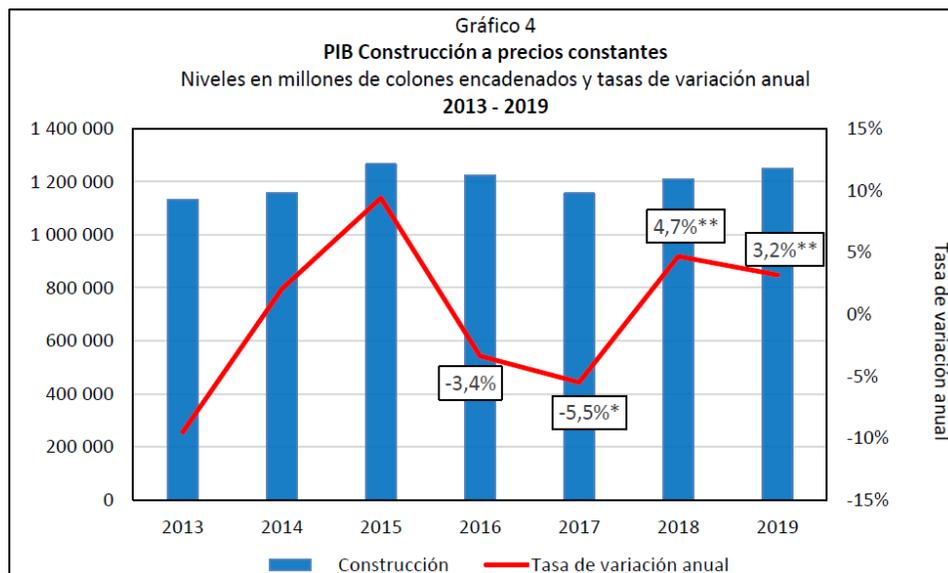
Con respecto a este último, se ha dicho que es un recurso inagotable e ilimitado, sin embargo, a partir del aumento del consumo y uso irracional de agua potable se pueden generar problemas de escasez hídrica en ciertos sectores. En el caso de Costa Rica, a pesar de ser uno de los países con mayor biodiversidad en el mundo y de contar con políticas de conservación y protección de esta, no se cuenta con un sistema de control del uso y consumo racional durante la construcción, así como de una metodología que permita planificar la sostenibilidad de un proceso constructivo.

Esto se evidencia a partir de la falta de una base de datos con índices, métricas, parámetros y estadísticas que permitan determinar una línea base a seguir durante la etapa de construcción para obtener un ahorro en el consumo de los recursos, lo cual pueda generar estándares.

#### **1.1.2. Importancia**

La construcción es una de las actividades económicas más importantes de un país, ya que refleja el crecimiento de la población y brinda una gran cantidad de empleo. En la Figura 1 se muestra un gráfico con el porcentaje de PIB del país que ha correspondido a la construcción en los últimos años. En este se muestra que, en los años 2016 y 2017, existió un declive en el PIB correspondiente a la construcción, sin embargo, se ha proyectado un aumento

para los años 2018 y 2019, en el cual se contemplaría un 3,2% del PIB del país destinado para la construcción (Cámara Costarricense de la Construcción, 2018).



**Figura 1. Gráfica de variación del PIB Construcción y de la tasa de variación anual en Costa Rica**

**Fuente: Cámara Costarricense de la Construcción, 2018**

A pesar de esto, es uno de los sectores con mayor consumo de recursos naturales y productor de una gran cantidad de desechos (Abarca & Leandro, 2016). Por ello, se ha tratado de implementar nuevas técnicas y prácticas constructivas sostenibles, para minimizar el impacto al medio ambiente y gestionar de una mejor manera el consumo de los recursos en la etapa constructiva de una edificación.

A nivel mundial, el Consejo Estadounidense de Edificación Sostenible (US Green Building Council, USGBC) ha realizado estudios donde demuestran que una edificación sostenible puede reducir el consumo de recursos como energía, agua o emisiones de carbono hasta en un 50% durante su operación (Comission for Environmental Cooperation, 2008).

No obstante, el proceso que más puede afectar el manejo de recursos es la fase constructiva, en el cual se enfoca la presente investigación, lo que conlleva a generar un control para el óptimo uso de los recursos en la construcción, algo que actualmente en Costa Rica no se encuentra regulado.

En el caso del recurso hídrico, existen técnicas de gestión producto de su escasez y vulnerabilidad, con el propósito de cumplir con el desarrollo sostenible del entorno y que pueda

ser utilizado por generaciones futuras. Asimismo, existen métodos para disminuir la generación de residuos de construcción y para clasificarlos para su posterior disposición.

En el país, para optimizar el uso del agua en una construcción generalmente se utilizan técnicas como la incorporación de dispositivos de ahorro o estrategias para la reducción del consumo. No obstante, no existe una metodología clara que integre las estrategias, prácticas y métodos que permita un ahorro o disminución de los recursos.

Asimismo, es importante llevar un control en campo de lo que acontece a lo largo de un proyecto en su etapa de construcción, para poder evaluar la gestión, uso y consumo que se da a los recursos, sin embargo, el país no cuenta con estándares, métricas o índices que puedan establecer límites de consumo, contra los que pueda medirse y realizarse dicha evaluación. Por lo anterior, resulta necesario determinar indicadores de sostenibilidad para determinar si la construcción puede clasificarse como sostenible durante su etapa constructiva.

En países latinoamericanos como Chile y Colombia existen metodologías para la gestión racional y eficiente de los recursos durante el proceso constructivo por medio de listas de verificación que permiten a su vez evaluar la condición de la obra en el campo y que permiten implementar prácticas sostenibles. En Costa Rica existe un rezago con respecto a estas otras naciones y por ello, es importante establecer un sistema de control que además del recurso hídrico, se puedan comprender los demás aspectos como la energía o el manejo de materiales y desechos.

La aplicación de una metodología para proyectos de infraestructura a nivel nacional es un primer paso para lograr controlar, gestionar y evaluar la sostenibilidad en la construcción e incentivar el cuidado al medio ambiente en uno de los sectores de mayor impacto a los recursos.

### **1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema**

A nivel internacional, se han realizado varias investigaciones referentes a la sostenibilidad en la construcción, así como metodologías de evaluación de las construcciones en la gestión racional de los recursos en varios países.

Montoya (2014) realiza una serie de propuestas de técnicas y prácticas sostenibles aplicables en la construcción peruana, identificando principalmente los recursos y materiales utilizados en un proyecto en específico, incorporando las dimensiones sociales, ambientales y económicas del proyecto.

Por su parte, Gaviria (2013) estableció la necesidad de elaborar un sistema a partir de indicadores sostenibles que permitiera registrar y evaluar la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura en Colombia, identificando y priorizando las variables involucradas para crear una herramienta de gestión y control de los procesos involucrados.

Existen varios países que cuentan con una guía específica de construcción sostenible para el aprovechamiento de los recursos. Por ejemplo, en Colombia existe la *Guía de Construcción Sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones*, la cual promueve la eficiencia energética y la conservación del agua (MVCT, 2015). Asimismo, en Chile se ha creado una metodología basada en estándares de construcción sostenible, que permite evaluar y aprovechar racionalmente el recurso hídrico durante las etapas de diseño, construcción y operación de un proyecto (MINVU, 2018).

La construcción sostenible también ha sido objeto de estudio a nivel nacional en los últimos años. Méndez (2009) realizó una guía de prácticas constructivas sostenibles para edificaciones donde además recopiló datos en campo de cantidades de desechos generados, así como consumo de electricidad y de agua en un proyecto constructivo determinado.

En el caso de Murillo (2015), realizó un estudio del sistema de evaluación LEED y de su implementación en una edificación existente para su certificación en su fase de operación, a partir de los lineamientos establecidos en el sistema para implementar estrategias sostenibles en la edificación.

En 2017, el Programa Bandera Azul Ecológica (PBAE) creó una categoría exclusiva para Construcción Sostenible como una forma de reconocer aquellos proyectos de arquitectura, ingeniería y construcción que hayan implementado estrategias innovadoras en el diseño y la aplicación de buenas prácticas constructivas durante la construcción (Bandera Azul Ecológica, 2017). No obstante, no se ha contemplado la incorporación de una metodología para cuantificar el consumo del agua, así como estándares o indicadores sostenibles que permitan controlar el consumo de dicho recurso.

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.

A raíz de lo encontrado, se puede evidenciar la falta de estudios a nivel nacional enfocados en el consumo eficiente de los recursos de la construcción en búsqueda de un menor impacto ambiental durante la etapa constructiva, así como la aplicación de un sistema que permite certificar las edificaciones en esta fase, a pesar de que en otros países se estén implementando técnicas y métodos para controlar el uso de los recursos.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Crear una metodología para el control y análisis del consumo de agua durante la fase constructiva de un proyecto a partir de prácticas constructivas sostenibles para la generación de estadísticas e indicadores.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Analizar la gestión y control racional y eficiente del recurso hídrico en la construcción a nivel nacional e internacional.
- Establecer los procesos, procedimientos y herramientas a seguir para el control y análisis de consumo de agua durante la fase constructiva.
- Elaborar un sistema de control y análisis de datos para la generación de estándares, estadísticas y métricas a partir de los indicadores recopilados por medio de la metodología.
- Analizar las condiciones de dos proyectos de construcción durante la fase constructiva de obra gris a partir de la implementación de la metodología elaborada.
- Justificar la metodología elaborada por medio del criterio de un grupo de profesionales expertos en el ámbito de la construcción sostenible.

## **1.3. Delimitación del problema**

### **1.3.1. Alcance**

La presente investigación se enfocó en el diseño de una metodología específica para el control y uso racional y eficiente del recurso hídrico durante el proceso constructivo, por lo cual no se contemplaron otros recursos asociados al estudio de la sostenibilidad de una construcción como lo son el consumo energético, la generación de residuos o el manejo correcto de materiales.

La metodología se elaboró para la etapa de construcción de un proyecto, específicamente para la fase de obra gris. Por ello, no se contemplan las decisiones establecidas en el diseño previo a la construcción de la edificación, ni aquellas estrategias para el manejo eficiente del recurso durante la operación.

Se consideraron para esta investigación únicamente proyectos de construcción de edificaciones en modalidades verticales, ya sea de uso residencial o comercial. La aplicación de la metodología elaborada se realizó en dos proyectos de construcción analizando únicamente la etapa constructiva de obra gris, ubicados en la Gran Área Metropolitana (GAM).

No se incluyen otras etapas de la fase constructiva de los proyectos, como la etapa de movimiento de tierras, acabados u obras exteriores complementarias en el análisis del consumo de agua, no obstante, se incluye en la recolección de datos para determinar las actividades realizadas en un periodo de tiempo específico.

En cuanto al consumo de agua, se toma en cuenta el agua consumida en actividades directas de la construcción, la cual se obtiene de los medidores de la compañía encargada de proveer el servicio, así como el agua adherida al concreto premezclado colado en el proyecto.

Además, se recolectaron los datos de consumo de agua producidos semanal y mensualmente en los proyectos investigados, con el fin de establecer indicadores sostenibles que puedan ser utilizados como referencia para proyectos futuros. Con esto, se pretende generar un sistema de análisis de datos para determinar a futuro determinados estándares a nivel nacional que sirvan de base para la búsqueda de la sostenibilidad en un proyecto dependiendo de su tipología constructiva y del consumo de los recursos durante la etapa constructiva.

### **1.3.2. Limitaciones**

Como se ha mencionado anteriormente, el país no cuenta con índices, estadísticas o métricas con respecto a la sostenibilidad de una construcción, por lo cual los resultados obtenidos no son para su comparación, sino para la determinación de los indicadores de sostenibilidad para la elaboración de estándares y límites.

Asimismo, no existe un ente interesado en la gestión eficiente de los recursos durante la construcción, por lo cual, gubernamentalmente el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)

podría ser el precursor para la aplicación de estos aspectos en el sector de la construcción a futuro.

Para establecer el instrumento de control se estudiaron diversas técnicas constructivas sostenibles a nivel internacional que hayan sido aplicadas con éxito. No obstante, la realidad nacional podría afectar la aplicación de algunas de estas prácticas, por lo cual se adaptaron a las condiciones de la construcción en Costa Rica.

Asimismo, debido a los acontecimientos provocados por la pandemia del COVID-19 y los lineamientos establecidos por el Ministerio de Salud, se tuvo complicaciones y prohibiciones para el acceso al sitio de las obras durante toda la duración del trabajo de investigación.

Es por ello que solo se pudo contar con el permiso de dos proyectos y los datos requeridos para el desarrollo del trabajo fueron enviados de manera virtual por parte de los encargados de cada proyecto, así como visitas esporádicas al sitio para la toma de datos semanales contemplando las medidas sanitarias definidas por el Ministerio de Salud.

En cuanto al análisis de los datos, la compañía proveedora de agua potable a nivel nacional, Acueductos y Alcantarillados (AyA), realizó sobrefacturaciones en la mayoría del país durante los meses de mayo y junio, afectando los resultados reales de consumo en los proyectos analizados, lo cual se explicará en el Capítulo 4 del presente documento.

## **1.4. Descripción de la metodología a usar**

La investigación realizada es de carácter cuantitativa al contar con datos numéricos recopilados y analizados. La metodología usada en el trabajo de investigación se encuentra dividida en cuatro distintas etapas, las cuales se explicarán a continuación.

### **1.4.1. Etapa 1: Investigación Teórica**

En esta fase se realizó una búsqueda y recopilación de fuentes bibliográficas para comprender y explicar los conceptos teóricos en los que se basa el trabajo de investigación como lo son la teoría de la metodología, la sostenibilidad en la construcción y el control del consumo del agua en la construcción, así como del estado de la cuestión de la gestión del manejo racional y eficiente de los recursos en la construcción. Para ello, se revisaron libros de texto, proyectos de graduación, estudios de investigación similares y guías de aplicación de construcción sostenible que existen en otros países.

#### **1.4.2. Etapa 2: Elaboración de metodología**

En esta etapa se definieron los métodos y técnicas a implementar en el diseño de la metodología. Para el caso de los métodos, se establecieron los distintos procesos involucrados, las interacciones entre estos y los procedimientos a seguir para implementar la metodología, mientras que, en el caso de las técnicas, se elaboraron instrumentos de recolección y de análisis de datos durante la fase constructiva de un proyecto para la generación de gráficas e indicadores sostenibles.

#### **1.4.3. Etapa 3: Aplicación de Metodología en Campo**

Una vez establecida la metodología, se procedió a realizar una aplicación en campo de esta en dos proyectos de construcción durante su etapa constructiva de obra gris, a partir de la recolección de datos actuales de la obra y la reconstrucción de los hitos previos a las visitas al campo.

En primer lugar, se describieron los proyectos evaluados para comprender la situación en la que se encontraban durante la implementación de la metodología. Posteriormente, se explicó la manera en cómo fue aplicada la metodología y si se realizó acorde con lo diseñado, tomando en cuenta las limitaciones que se tuvieron en el desarrollo del trabajo de graduación, con el fin de calibrar y mejorar la metodología a futuro.

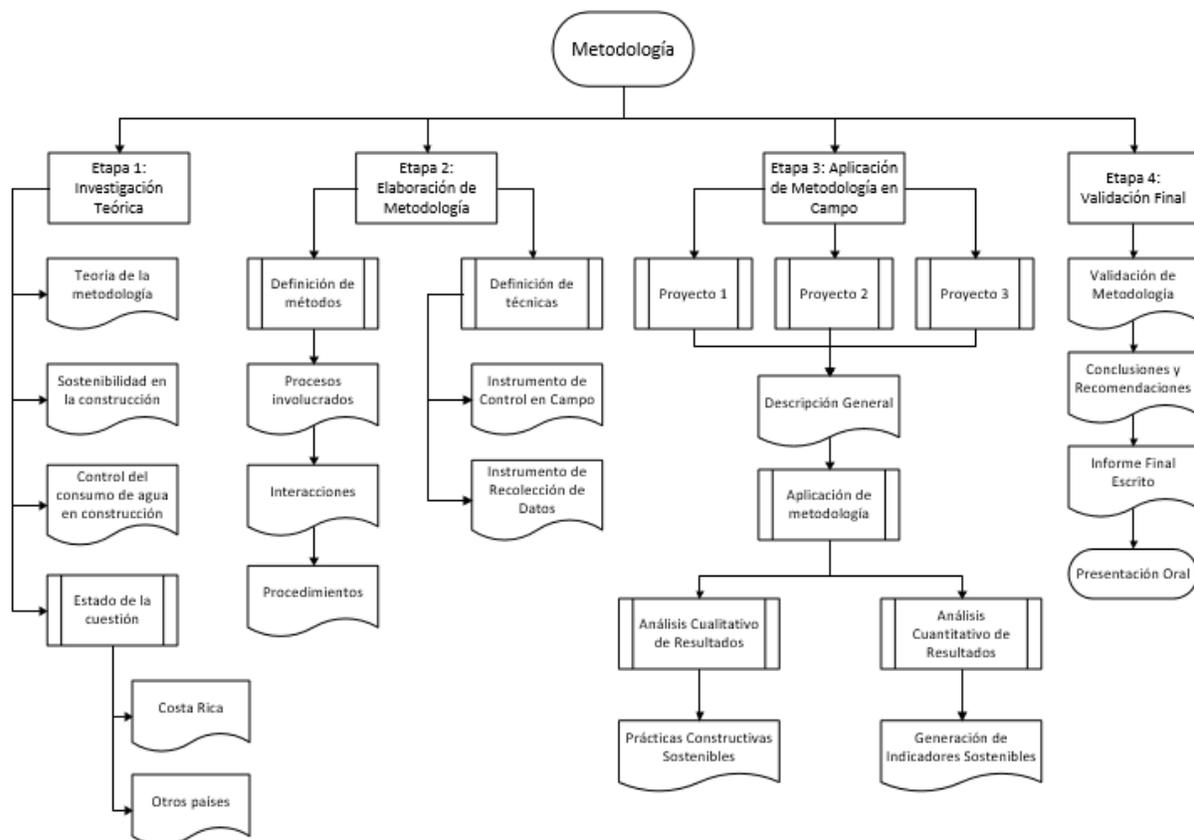
Al realizar esto, se pudo realizar el análisis cuantitativo de los proyectos para generar indicadores sostenibles que sirvan de línea base para la producción de datos, estadísticas y métricas del consumo de los recursos en la construcción.

#### **1.4.4. Etapa 4: Validación Final**

Por último, se realizó la validación de la metodología elaborada a partir de un formulario elaborado a profesionales expertos en el área de la construcción sostenible para generar recomendaciones al trabajo realizado y que pueda ser implementado a nivel nacional.

Luego, se realizaron las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado según los resultados obtenidos y el cumplimiento de los objetivos planteados, para luego presentar el presente informe escrito con lo mencionado anteriormente y la presentación oral del trabajo de investigación.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a la metodología utilizada para la elaboración del trabajo de investigación.



**Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología realizada en el trabajo de investigación**

## Capítulo 2. Marco Teórico

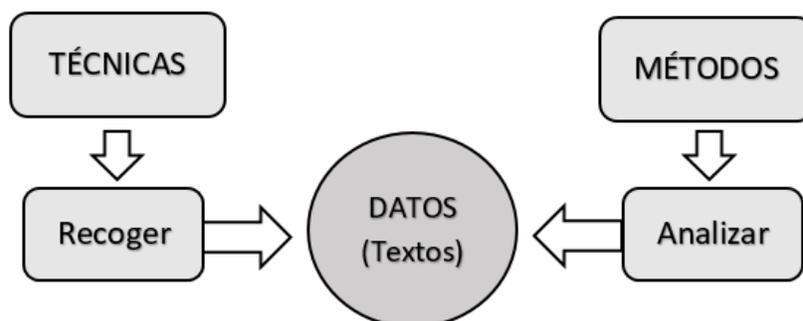
### 2.1. Definición de metodología

Dada la naturaleza del trabajo de investigación, se debe comprender el concepto de metodología, los procedimientos a tomar en cuenta para su implementación y los tipos de técnicas que pueden ser utilizadas en una metodología.

Una metodología es el conjunto de técnicas y métodos necesarias para ejecutar una investigación, por lo cual se considera como el procedimiento a seguir para abordar el objeto de estudio (Ramírez Caro, 2014).

Las técnicas consisten en los instrumentos con que se recoge y procesa la información teórica o experimental, dependiendo del tipo de investigación que se realice, los cuales también pueden funcionar para llevar un control de los datos recopilados (Ramírez Caro, 2014).

Por otro lado, los métodos consisten en el conjunto de procedimientos o pasos que se utilizan para el análisis e interpretación de los datos recolectados a partir de las técnicas, ya sea de manera cuantitativa o cualitativa (Ramírez Caro, 2014). En la Figura 3 se muestra la diferencia entre las técnicas y métodos en una metodología.



**Figura 3. Diferencia entre técnicas y métodos en una metodología**

**Fuente: Ramírez Caro, 2014**

**Modificado por: Castillo, 2019**

Según el enfoque que tenga una investigación, se definirá el tipo de metodología a utilizar. Si se considera un enfoque cualitativo, se utiliza la recolección de datos sin medición numérica para la posterior interpretación de los resultados, mientras que en un enfoque cuantitativo se considera la recopilación de datos numéricos y análisis estadístico para su posterior interpretación (Hernández, Fernández & Baptista, 2010).

En el caso de una investigación cualitativa, las técnicas de recolección de datos no se fundamentan en un instrumento preestablecido, sino que el mismo investigador obtiene los resultados a partir de la observación y de la descripción de los participantes por medio de entrevistas o censos. No obstante, es importante mencionar que existen instrumentos físicos como formularios que pueden adecuarse según las necesidades a estudiar en la investigación (Hernández, Fernández & Baptista, 2010).

Por su parte, dado un enfoque cuantitativo, las técnicas utilizadas se enfocan más en instrumentos estandarizados que faciliten la obtención de los datos por medio de su medición o documentación. Este tipo de instrumentos pueden ser verificados a partir de estudios previos para revisar su confiabilidad o ser generados a partir de una revisión literaria para ser probados y calibrados (Hernández, Fernández & Baptista, 2010).

## **2.2. Desarrollo Sostenible**

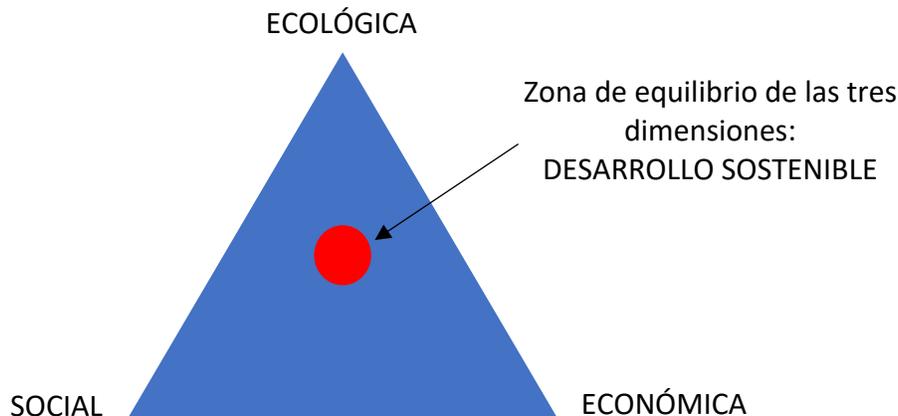
El sector de la construcción sostenible está basado primordialmente en el principio del desarrollo sostenible y de la sostenibilidad de los proyectos, lo cual cuenta con el respaldo de las certificaciones sostenibles existentes a nivel mundial. Es un hecho que la utilización de los recursos naturales actuales sumado al crecimiento demográfico poblacional suponen una disminución en el potencial de los recursos para las generaciones futuras (Alavedra et. al., 2014).

El concepto de desarrollo sostenible fue instaurado por primera vez en el Informe Brundtland en 1987, el cual explica que el desarrollo sostenible "es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (WCED, 1987).

El concepto de sostenibilidad también está asociado a la capacidad que tiene un entorno de adecuarse a las condiciones humanas de manera que los recursos naturales no se degraden (Alavedra et. al., 2014).

Existen más definiciones para el concepto de desarrollo sostenible, sin embargo, la mayoría de estas coinciden en que el respeto y cuidado al medio ambiente se sostiene a través de las políticas que se implementen para el crecimiento económico, de manera que sean socialmente equitativas, por lo que se habla de tres componentes o dimensiones interdependientes del desarrollo sostenible: la dimensión económica, la dimensión social y la

dimensión ecológica (Artaraz, 2002). En la Figura 4 se observa la relación entre las dimensiones y el desarrollo sostenible se ve representado como el balance que existe entre estas.



**Figura 4. Dimensiones del desarrollo sostenible y su relación**

**Fuente: Artaraz, 2002**

**Modificada por: Castillo, 2020**

A pesar de estar integradas entre sí, cada dimensión abarca un enfoque distinto. La dimensión económica, justificada en la globalización y el comercio, así como la dimensión social, basada en la promoción de la justicia y la equidad, deben favorecer el desarrollo sostenible. La dimensión ecológica se ha enfocado en “prevenir y reducir la contaminación ambiental y fomentar el consumo y la producción sostenibles para romper el vínculo entre crecimiento económico y degradación” (Bermejo, 2014).

Por lo tanto, el desarrollo sostenible busca aumentar el bienestar social y el crecimiento económico a partir de la reducción de los impactos ambientales negativos y de la reducción del consumo de recursos y contaminación.

### **2.3. Construcción Sostenible**

La construcción es una actividad enfocada en la mejora de la calidad de vida de los seres humanos a través del desarrollo de infraestructura civil. Actualmente, se intentan generar proyectos sostenibles de manera que se están replanteando los modelos y métodos constructivos más comunes para promover el cuidado de los recursos utilizados.

Existen diversas definiciones de construcción sostenible que se han presentado a lo largo de los años. Esta se puede definir como “aquella que implica el uso eficiente de la energía

y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medio ambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales” (Ramírez, 2002).

Cabe destacar que el término de construcción sostenible no abarca solamente los edificios o la infraestructura realizada, sino también el entorno que lo rodea y la manera en que pueda afectar los criterios del desarrollo sostenible (Ramírez, 2002).

Entre algunos de los principios ecológicos en los que se basa la construcción sostenible se encuentra la conservación y reutilización de recursos, la utilización de recursos reciclables y renovables en la construcción y consideraciones respecto a la gestión del ciclo de vida de las materias primas de los materiales utilizados (Kibert et. al., 1994).

La construcción sostenible presenta tres enfoques fundamentales: reducir la utilización de recursos disponibles a través de la reutilización, reciclaje, utilización de recursos renovables y su uso eficiente; 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 determinar si un sistema es sostenible se puede realizar la valoración de indicadores sostenibles, 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).

La principal ventaja de implementar la recolección de datos que permitan crear un indicador es eliminar la subjetividad a la hora de determinar la sostenibilidad de una actividad y facilitar la comparación de estos con índices o estándares establecidos que funcionen como límites de sostenibilidad (Bell & Morse, 2008).

#### **2.4. Sistemas de Certificación Sostenible**

Dada la necesidad de calificar la infraestructura construida en términos de sostenibilidad, en diversas partes del mundo se han desarrollado sistemas con una serie de herramientas, metodologías, técnicas, procedimientos o medidas, que ayuden a los

profesionales a verificar y cumplir los objetivos sostenibles planteados en cada proyecto de una manera clara y ordenada.

No obstante, estos sistemas deben adaptarse a los diversos tipos de proyecto y a las condiciones y necesidades de cada país, por lo cual algunas han servido como base en la formación de nuevas metodologías a implementar en nuestro país y en la región. En esta sección se explicarán los principales sistemas de certificación sostenible con su respectiva metodología de aplicación y aquellos que se han logrado implementar a nivel nacional.

#### **2.4.1. BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method)**

El Sistema BREEAM fue creado por la organización BRE Global en el Reino Unido en 1988 y originalmente se enfocaba en edificios comerciales o residenciales y en la medición del desempeño y el grado de sostenibilidad ambiental de estas edificaciones (Cabellos, 2018).

BREEAM consiste en una serie de herramientas y procedimientos que permiten medir, evaluar y ponderar los niveles de sostenibilidad en las fases de diseño, ejecución y mantenimiento de un proyecto de construcción (BREEAM, 2020). Esta contempla 5 ámbitos o tipologías de aplicación:

- BREEAM Comunidades: enfocado en lograr un plan maestro para urbanizaciones y residenciales.
- BREEAM Infraestructura: enfocado en obras de ingeniería civil y de ámbito público.
- BREEAM Nueva Construcción: principalmente de edificios comerciales y viviendas.
- BREEAM En Uso: enfocado en el mantenimiento de edificios comerciales.
- BREEAM Remodelación y Acondicionamiento: en busca de la remodelación y equipamiento de edificios comerciales o viviendas.

El sistema utiliza una serie de categorías ambientales que abordan los factores más influyentes en el proyecto, como el diseño de bajo impacto y su durabilidad y resistencia, la reducción de emisiones de carbono, la adaptación al cambio climático y el valor ecológico y protección de la biodiversidad. Las categorías que analiza BREEAM son las siguientes: energía, salud y bienestar, innovación, uso del suelo, materiales, agua, residuos, transporte, contaminación y administración (BREEAM, 2020).

La metodología para otorgar la certificación consiste en una lista de verificación o “check-list” que evalúa el proyecto o construcción en base a 51 requisitos previamente establecidos, de los cuales 23 son prerrequisitos obligatorios y 28 son tipo créditos obtenidos a partir de la evaluación del proyecto (Estévez, 2013).

Según el cumplimiento de estos, el sistema le otorga puntos a cada una de las categorías mencionadas anteriormente, los cuales pasan por un factor de ponderación medioambiental que cuenta la importancia relativa de cada área de impacto, sumado a una única puntuación global (Estévez, 2013).

Al obtener la puntuación global del edificio, se traduce en una escala de cinco rangos que brindan el grado de clasificación BREEAM otorgada al proyecto, como se observa en el Cuadro 1 (Cabellos, 2018):

**Cuadro 1. Tipo de certificación BREEAM según porcentaje de puntos obtenidos**

<b>Tipo de certificación</b>	<b>Porcentaje de puntos obtenidos</b>
Sin clasificar	Menos del 30%
Correcto (1 estrella)	Entre 30% y 45%
Bueno (2 estrellas)	Entre 45% y 55%
Muy Bueno (3 estrellas)	Entre 55% y 70%
Excelente (4 estrellas)	Entre 70% y 85%
Excepcional (5 estrellas)	Más del 85%

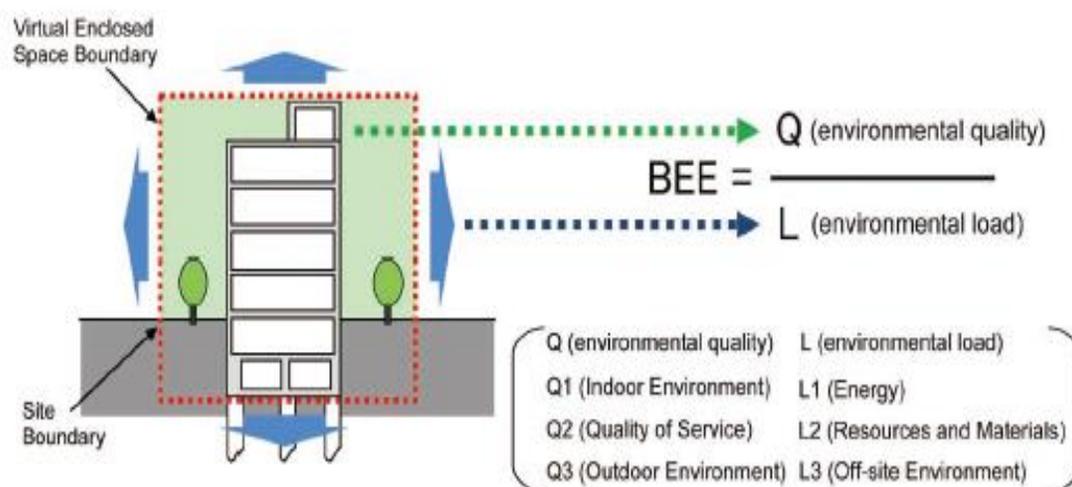
**Fuente: Cabellos, 2018**

#### **2.4.2. CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency)**

CASBEE consiste en un sistema desarrollado en Japón en 2001, desarrollado por el Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC) en conjunto con el Ministerio de Tierra, Infraestructura, Transporte y Turismo (MLIT), el cual consiste en un método para evaluar y calificar el desempeño ambiental de los edificios y entorno construido. Entre algunas de las características que evalúa se encuentra el confort y estética interior, así

como las estrategias ambientales utilizadas para el uso de materiales y equipos que disminuyan el consumo de energía, agua y otros recursos (IBEC, 2016).

CASBEE presenta varias características claves y singulares con respecto a otros sistemas internacionales. La primera de ellas es contar con una definición clara de los límites espaciales que se evaluarán, incluyendo el área circundante del edificio para la evaluación del sitio. Asimismo, se define la eficiencia del entorno construido, con las variables de mejora en la calidad ambiental (Grupo Q) y reducción de la carga ambiental (Grupo L), por lo que cada ítem se asocia a estas variables, con el fin de lograr una categorización más detallada (IBEC, 2016). En la Figura 5 se muestra representado lo anteriormente explicado.



**Figura 5. Establecimiento de los límites a evaluar y de la eficiencia del entorno construido para metodología CASBEE**

**Fuente: IBEC, 2016**

La principal diferencia del método CASBEE con respecto a otros sistemas es el uso de las variables "Q" y "L" para obtener un valor escalar determinado por la división entre ambos respectivamente, lo cual compone la eficiencia del entorno construido (Built Environment Efficiency, BEE) (IBEC, 2016).

Las principales ventajas que se pueden obtener al aplicar el método es contar con un sistema de informes de construcción sostenible que indique las características de cada estructura evaluada, así como obtener la certificación a partir de la evaluación, la cual puede clasificarse en 5 grados: Superior (S), Muy Bueno (A), Bueno (B+), Ligeramente Pobre (B-) y Pobre (C) (IBEC, 2016).

CASBEE está compuesto por una serie de herramientas de evaluación adaptadas a diferentes escalas, las cuales se conocen colectivamente como "Familia CASBEE". Las escalas y herramientas que constituyen esta familia y la forma en cómo se dividen se presenta en el Cuadro 2 (IBEC, 2016).

**Cuadro 2. Escalas y herramientas que conforman la Familia CASBEE**

<b>Escala</b>	<b>Herramientas</b>
Vivienda	CASBEE para vivienda unifamiliar (nueva o previamente construida)
	CASBEE para unidad de vivienda
	Lista de verificación de salud de la vivienda CASBEE
Edificio	CASBEE para el diseño de edificios (nuevos, previamente construidos, remodelaciones, construcciones provisionales, para reducción del calor, para escuelas o específicos para municipalidades)
	CASBEE para el diseño de espacios interiores
	CASBEE para la promoción del mercado
Distrito	CASBEE para desarrollo urbano
	Lista de verificación de salud comunitaria de CASBEE
Ciudad	CASBEE para ciudades

**Fuente: IBEC, 2016**

### **2.4.3. LBC (Living Building Challenge)**

Living Building Challenge (LBC) es un programa de certificación de construcciones sostenibles creado por el International Living Future Institute (ILFI) en el 2006, la cual busca que el entorno construido ideal funcione de manera limpia y eficiente. La certificación se encuentra basada en el rendimiento real y no esperado del proyecto construido, por lo cual la evaluación se realiza con un año de operación (WELL & ILFI, 2017).

El marco se encuentra estructurado en siete categorías o "pétalos": lugar, agua, energía, salud + felicidad, materiales, equidad y belleza. Cada una de estas categorías cuenta con varios "imperativos" o criterios de evaluación, que en total son 20. Estos son asignados según la tipología que se quiera, de las cuales existen 4: Edificio Nuevo, Edificio Existente, Interiores y Paisaje + Infraestructura.

Los proyectos tienen la posibilidad de obtener 5 diferentes tipos de certificaciones, dependiendo de los criterios obtenidos, los cuales se muestran en el Cuadro 3. En la Figura 6 se muestran los "imperativos" de cada "pétalo", asociados a las tipologías existentes.

**Cuadro 3. Tipo de certificación LBC y criterios de obtención de la certificación**

Tipo de Certificación	Criterios para obtención de certificación
Certificación de Edificio Vivo	Requiere todos los imperativos asignados a la tipología del proyecto
Certificación Pétalo	Requiere todos los imperativos básicos asignados a la tipología del proyecto más los imperativos restantes requeridos por la tipología en el pétalo de Agua, Energía o Materiales
Certificación de Edificio Núcleo Verde	Requiere todos los imperativos básicos del proyecto para demostrar un alto rendimiento integral
Certificación de Energía Cero	Se logra generando toda la energía en el sitio del proyecto sin combustión
Certificación de Carbono Cero	Se logra demostrando la eficiencia energética y la neutralidad de carbono en el proyecto

Fuente: ILFI, 2019

PETAL	IMPERATIVE	TYPOLOGY			
		New Building	Existing Building	Interior	Landscape + Infrastructure
PLACE	1 Ecology of Place	Core	Core	Core	Core
	2 Urban Agriculture	Core	Core	Core	Core
	3 Habitat Exchange	Core	Core	Core	Core
	4 Human Scaled Living	Core	Core	Core	Core
WATER	5 Responsible Water Use	Core	Core	Core	Core
	6 Net Positive Water	Core	Core	Core	Core
ENERGY	7 Energy + Carbon Reduction	Core	Core	Core	Core
	8 Net Positive Energy	Core	Core	Core	Core
HEALTH + HAPPINESS	9 Healthy Interior Environment	Core	Core	Core	Core
	10 Healthy Interior Performance	Core	Core	Core	Core
	11 Access to Nature	Core	Core	Core	Core
MATERIALS	12 Responsible Materials	Core	Core	Core	Core
	13 Red List	Core	Core	Core	Core
	14 Responsible Sourcing	Core	Core	Core	Core
	15 Living Economy Sourcing	Core	Core	Core	Core
	16 Net Positive Waste	Core	Core	Core	Core
EQUITY	17 Universal Access	Core	Core	Core	Core
	18 Inclusion	Core	Core	Core	Core
BEAUTY	19 Beauty + Biophilia	Core	Core	Core	Core
	20 Education + Inspiration	Core	Core	Core	Core

 CORE IMPERATIVE  
 SCALE JUMPING ALLOWED  
 HANDPRINTING IMPERATIVE  
 IMPERATIVE REQUIRED FOR TYPOLOGY  
 REQUIREMENT DEPENDENT ON SCOPE  
 NOT REQUIRED FOR TYPOLOGY

**Figura 6. Matriz de pétalos, imperativos y tipologías para certificación LBC**

Fuente: ILFI, 2019

Modificada por: Castillo, 2020

#### **2.4.4. LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)**

La certificación LEED es un programa independiente creado por United States Green Building Council (USGBC) en el año 1993, el cual es aplicable para todos los tipos de edificios y todas las fases de construcción, incluidas las de nueva construcción, acondicionamiento interior, operaciones y mantenimiento, entre otros. Este programa fomenta la adopción de la construcción sostenible y los sistemas en los que se clasifica las herramientas necesarias para lograr un efecto medible e inmediato en su desempeño (USGBC, 2014). Asimismo, LEED aborda todos los tipos de edificio a través de los siguientes sistemas de clasificación:

- LEED para hogares (LEED for Homes)
- LEED para desarrollo de vecindario (LEED for Neighborhood Development)
- LEED para interiores comerciales (LEED for Commercial Interiors)
- LEED para fachadas y estructuras (LEED for Core and Shell)
- LEED para nuevas construcciones y renovaciones importantes (LEED for New Construction and Major Renovations)
- LEED para escuelas (LEED for Schools)
- LEED para tiendas minoristas (LEED for Retail)
- LEED para atención médica (LEED for Healthcare)
- LEED para edificios existentes: operación y mantenimiento (LEED for Existing Buildings: Operations and Maintenance)

LEED se enfoca en determinar el desempeño utilizando un sistema de puntos que se le otorgan a los proyectos al satisfacer criterios específicos y satisfacer ciertos pre-requisitos en ocho categorías (USGBC, 2014). En el Cuadro 4 se muestran las características de las categorías evaluadas y la cantidad de puntos para calificar los proyectos según los criterios del USGBC.

**Cuadro 4. Categorías de evaluación para certificación LEED y cantidad de puntos a asignar**

<b>Categoría evaluada</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad de puntos</b>
Ubicación y Transporte	Enfocado en la ubicación del proyecto y en promover las elecciones inteligentes de transporte.	16
Sitios sostenibles	Se fomentan los sitios que promueven jardinería paisajística adecuada, control de escorrentías de agua de lluvia y reducción de erosión, así como espacios abiertos, mientras que desalienta los sitios previamente no desarrollados y que requiera un daño considerable al ecosistema o a las corrientes de agua.	10
Eficiencia de agua	El objetivo es fomentar la eficiencia del agua con un uso más inteligente tanto dentro como fuera del edificio, la reducción del consumo a través de dispositivos eficientes y jardinería que no necesite grandes cantidades de agua para mantenerse.	10
Energía y atmósfera	Se fomenta la eficiencia y el control en el consumo de energía, tanto en la etapa de diseño como en la fase constructiva, la utilización de dispositivos o sistemas de iluminación eficientes, y el uso de fuentes de energía renovable generada dentro o fuera del sitio.	35
Materiales y recursos	Se promueven la selección de productos y materiales que puedan ser recolectados y transportados para su deposición de una manera sostenible, ya que, durante la construcción, se generan grandes cantidades de desechos y se utilizan volúmenes grandes de materiales y recursos. Además, fomentan la reducción de desechos, así como la reutilización y el reciclado.	14
Calidad en el ambiente interior	Se enfoca principalmente en mejorar la calidad del ambiente dentro de cada espacio, mejorando el aire interior y su circulación, la iluminación natural y la acústica interior.	15
Innovación en el diseño	Se fomenta la aplicación de estrategias innovadoras en el diseño y la etapa de operación de un edificio, de manera que mejore el desempeño sostenible. También reconoce la inclusión de profesionales acreditados LEED en el equipo de proyecto.	6
Prioridad regional	LEED aporta créditos a aquellos proyectos que se encuentren en zonas con inquietudes ambientales de mayor relevancia, según criterios estipulados por la USGBC.	4

**Fuente: Alpízar, 2018; USGBC, 2014**

Según el sistema de clasificación, las primeras seis categorías cuentan con una cierta cantidad de puntos los cuales suman un total de 100, a los cuales se le pueden añadir 6 puntos adicionales por la categoría de Innovación en el diseño y otros 4 puntos adicionales por la categoría de Prioridad regional, para un total máximo de 110 puntos. Según la cantidad de puntos obtenidos, se le brinda un nivel de certificación al proyecto como se muestra en el Cuadro 5.

**Cuadro 5. Tipo de certificación LEED según rango de puntos obtenidos**

<b>Tipo de certificación</b>	<b>Rango de puntos obtenidos</b>
Certificado (Certified)	40-49
Plata (Silver)	50-59
Oro (Gold)	60-79
Platino (Platinum)	Más de 80

**Fuente: USGBC, 2014**

Cabe destacar que el sistema de clasificación LEED se encuentra ponderado en función de los valores de los puntos obtenidos con cada crédito y categoría, por lo que el resultado es un promedio ponderado que combina los efectos del edificio y el valor relativo de las categorías (USGBC, 2014).

A nivel nacional, el Consejo de Construcción Ecológica de Costa Rica (Green Building Council Costa Rica, GBCCR) se ha encargado de orientar y promover la implementación de LEED para la certificación de varios proyectos. Al año 2018, se tenía conocimiento de 64 proyectos certificados LEED-CR y 108 registrados en busca de obtener la certificación, así como 86 profesionales acreditados (Alpizar, 2018).

#### **2.4.5. EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies)**

En el caso de construcciones nuevas, se puede aplicar la metodología EDGE, creada por la Corporación Financiera Internacional (IFC) y certificada por la Green Business Certification Inc. (GBCI). Asimismo, a nivel nacional se ha aplicado y el GBCCR es la organización encargada de promoverla y de la emisión de la certificación (Alpizar, 2018).

La certificación EDGE se otorga a los edificios nuevos que logren demostrar que se encuentran diseñados con una reducción mínima del 20% menos en energía y agua, así como con los recursos utilizados en los materiales de construcción, comparado al promedio generado por un edificio estándar como punto de referencia (GBCI, 2020). En la Figura 7 se muestra el proceso para la certificación en las etapas de diseño y construcción, así como los actores involucrados en cada paso del proceso.



**Figura 7. Proceso de certificación EDGE en etapa de diseño y construcción**

**Fuente: GBCI, 2020**

La aplicación de software EDGE es una herramienta sencilla de manejar que le brinda a las empresas constructoras y desarrolladoras información importante que le ayude a predecir el consumo y ahorros en energía, agua y recursos en los materiales de construcción, estimar los ahorros en servicios y el periodo de retorno de la inversión inicial, obtener datos sobre los impactos generados al ambiente para la implementación de nuevas estrategias de contención, entre otras funciones. Esta es aplicable para muchos tipos de edificaciones como, por ejemplo, residencias horizontales o verticales, hoteles, oficinas, hospitales y locales comerciales (GBCI, 2020).

Actualmente en Costa Rica existen 7 proyectos de construcción que cuentan con certificaciones EDGE, de las cuales 3 representan edificios de oficinas, 2 de ellos son edificios residenciales y 2 edificios de centros médicos (EDGE, 2020).

#### **2.4.6. RESET (Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico)**

En los últimos años se le ha brindado mayor atención a la sostenibilidad en la construcción en los países latinoamericanos, por lo que surgió la necesidad de adaptar las metodologías y criterios existentes al contexto de la construcción en el trópico, lo cual se logra con la creación de los Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET), con el

objetivo de ampliar los requisitos de sostenibilidad recurriendo a soluciones bioclimáticas y al uso de nuevas tecnologías

La norma fue desarrollada por el Instituto de Arquitectura Tropical (IAT) y donada al Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) y al Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) para su regulación. A pesar de ser una norma desarrollada a nivel nacional, actualmente existe solamente un proyecto certificado en Costa Rica y más de 60 profesionales acreditados como consultores o evaluadores (Alpizar, 2018).

La norma está diseñada para la evaluación de una edificación en cada una de las fases de su ciclo de vida (diseño, construcción y operación), por lo que es necesario contar con datos de la gestión socioeconómica del proyecto para lograr resultados más precisos (INTECO, 2017).

Para la evaluación de las edificaciones, en primer lugar, se debe categorizar el impacto del proyecto en relación con su tamaño y naturaleza del lugar donde se ubica, a partir de la "Hoja de Contexto", la cual es un tipo de lista de verificación para la evaluación de criterios sociales y ambientales. Una vez categorizado el impacto del proyecto, se procede a aplicar la guía de estudios preliminares que deben realizarse según la categoría definida. En la Figura 8 se muestran las categorías de impacto de los proyectos según el puntaje obtenido de la "Hoja de Contexto".

	<b>Color</b>	<b>Categoría</b>	<b>Puntos requeridos</b>
	<b>Blanca</b>	vivienda social	n/a*
	<b>Amarillo</b>	bajo impacto	8-20
	<b>Anaranjado</b>	mediano impacto	21-30
	<b>Rojo</b>	alto impacto	31-40

**Figura 8. Puntos requeridos para categorización de impacto de proyectos según metodología RESET**

**Fuente: INTECO, 2017**

A partir de lo anterior, se pueden abordar cada uno de los 7 capítulos o áreas de evaluación de la norma, los cuales se evalúan a partir de listas de verificación que cuentan con objetivos y conceptos, los criterios y requisitos a cumplir, a los cuales se les establece un valor de referencia a cumplir para calificar el logro del criterio en relación a parámetros métricos, un porcentaje logrado o según el juicio de valor que tenga el evaluador, el cual debe ser una persona competente en el campo de diseño y construcción, según corresponda (INTECO, 2017). En la Figura 8 se muestran las áreas a evaluar, con la cantidad de objetivos, conceptos y criterios de diseño y aplicación.

Capítulo	Cantidad de objetivos	Cantidad de conceptos	Criterios de diseño	Criterios de aplicación
7 Aspectos socio-económicos	4	6	0	11
8 Entorno y transporte	3	10	19	6
9 Calidad y bienestar espacial	3	10	20	8
10 Suelos y paisajismo	4	6	11	8
11 Materiales y recursos	2	7	7	8
12 Uso eficiente del agua	3	5	11	4
13 Optimización energética	2	3	2	7
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>47</b>	<b>71</b>	<b>52</b>
			<b>122</b>	

**Figura 9. Áreas de evaluación para metodología RESET con cantidad de objetivos, conceptos y criterios**

**Fuente: INTECO, 2017**

#### **2.4.7. PBAE-CS (Programa Bandera Azul Ecológica – Construcción Sostenible)**

La categoría XV del Programa Bandera Azul Ecológica (PBAE) denominada Diseño y Construcción Sostenible fue creada en el 2017 y actualmente a cargo de profesionales del CFIA, con el fin de disminuir los impactos negativos ocasionados en el medio ambiente en el sector de la construcción, de tal manera que también forme un incentivo para los proyectos de ingeniería para ser reconocidos por sus acciones para lograr esa disminución (PBAE, 2019).

Se fomenta el uso de buenas prácticas económicas, sociales y ambientales en los procesos de diseño y construcción de los proyectos, aplicables para la sostenibilidad del país y la mitigación del cambio climático (PBAE, 2019).

Para participar en el proceso de certificación con este galardón, cualquier proyecto puede inscribirse antes de que transcurra el 20% del avance de la obra para la modalidad de construcción, siempre y cuando cuente con el registro correspondiente ante el CFIA. Los proyectos pueden participar en tres distintas fases: la de diseño, la de construcción o de ambas modalidades simultáneamente.

Además de cumplir con el formulario de inscripción, se debe presentar una matriz de justificación de medidas a implementar en el proyecto que puedan ayudar a mitigar o disminuir los consumos de los recursos de la construcción y de cumplir los lineamientos y parámetros establecidos por PBAE. Según el tipo de modalidad en el que se participe (diseño o construcción) los criterios de evaluación de parámetros variarán, no obstante, se mantienen

las cinco categorías de estudio: Agua, Energía, Gestión de los Residuos, Materiales y Biodiversidad.

En el Cuadro 6 se presentan los parámetros de evaluación con la comprobación respectiva y puntaje asignado a cada recurso de la modalidad de Construcción, el cual es el principal objeto de estudio del presente trabajo.

**Cuadro 6. Parámetros de evaluación de modalidad Fase 2 PBAE-CS "Construcción"**

Parámetro	Evaluación	Comprobación del parámetro	Puntaje
Agua	Incorporación de estrategias o uso de dispositivos de ahorro de agua en los sistemas temporales que se emplean durante el proceso constructivo	Las estrategias o dispositivos se incluyeron en los planos y/o especificaciones.	5%
	Incorporar estrategias y dispositivos para reducir la generación de aguas residuales, así como la disposición adecuada de las mismas	Las estrategias o dispositivos se incluyeron en los planos y/o especificaciones.	5%
	Para el proceso constructivo se aprovechan fuentes alternativas de recurso hídrico de acuerdo con el tipo de procesos constructivos que se ejecuta	Demostrar utilización de uso de tanquetas de agua para riego de zonas expuestas a excesivo polvo, reutilización de agua, sistemas y dispositivos que permitan la "cosecha de lluvia" para diferentes procesos durante la construcción.	5%
Energía	Incorporación de estrategias o dispositivos de ahorro de electricidad para el proceso constructivo	Sistemas y metodologías de ahorro energético durante el proceso constructivo.	5%
	Incorporación de estrategias o dispositivos de ahorro de combustibles fósiles para el proceso constructivo	Sistemas y metodologías de ahorro energético durante el proceso constructivo.	5%
	Evidenciar un programa de control del consumo de electricidad y combustible mensual	Cuadros de control con base en la facturación mensual, donde se estime el consumo energético que se realizará durante el proceso constructivo.	5%
Gestión de los residuos	Presentar un plan de gestión de residuos del proyecto	Identificar los residuos generados y presentar la cantidad, clasificación y disposición.	5%
	Incorporación de estrategias para reducir la cantidad de residuos	Descripción de las acciones realizadas para la reducción de los residuos.	5%

**Cuadro 6. Parámetros de evaluación de modalidad Fase 2 PBAE-CS "Construcción" (continuación)**

Parámetro	Evaluación	Comprobación del parámetro	Puntaje
Gestión de los residuos	Asignación de espacio físico y contenedores para la debida clasificación de los residuos	Memoria fotográfica del espacio asignado y su uso en periodos de 15 días naturales.	5%
	Disposición final y apropiada de los residuos	Evidenciar documentos que garanticen que los residuos han sido adecuadamente dispuestos según clasificación.	5%
	Capacitación al personal de la construcción sobre gestión adecuada de residuos	Memoria fotográfica, lista de asistencia y contenido de la capacitación.	5%
Materiales	Incorporación de estrategias para optimizar el adecuado almacenamiento de los materiales	Plan de almacenamiento y disposición de los materiales a utilizar en construcción con memoria fotográfica.	8%
	Incorporación de estrategias para evitar la contaminación por el transporte de materiales	Incorporación de estrategias para evitar contaminación por transporte de materiales en vías públicas u otras áreas del proyecto.	7%
	La construcción utiliza materiales locales en al menos un 50%	Listado de materiales de construcción a utilizar e identificación de cuales son de origen local.	5%
	Incorporación de estrategias y técnicas constructivas que maximicen la reutilización de materiales durante el proceso constructivo	Evidenciar en obra al menos tres buenas prácticas aplicadas que comprueben que se han utilizado materiales para procesos constructivos de alto nivel de reutilización.	5%
Biodiversidad	Incorporar estrategias y dispositivos para prevenir impactos a la biodiversidad	Las estrategias o dispositivos se incluyeron en los planos y/o especificaciones.	10%
	Incorporar estrategias de diseño paisajístico que incluya biodiversidad de la zona	Las estrategias de diseño paisajístico que incluya biodiversidad de la zona se incluyeron en los planos y/o especificaciones.	10%

**Fuente: Bandera Azul Ecológica, 2019**

**Modificado por: Castillo, 2020**

El equipo técnico de PBAE está encargado de realizar inspecciones periódicas de verificación para calificar los proyectos y el cumplimiento de lo establecido en los requerimientos presentados en la inscripción. Si el resultado es satisfactorio, se otorgará el galardón de Bandera Azul Ecológica, seccionado en cinco distintas estrellas según sea el nivel de cumplimiento del proyecto en observación. Finalmente, se debe presentar un informe final de resultados 30 días después de finalizada la obra.

## 2.5. Consumo del recurso hídrico en la etapa de obra gris

En el ámbito de la construcción sostenible es de suma importancia la combinación de los principios ecológicos que se buscan con el control de los recursos disponibles durante la construcción, de tal manera que se pueda reducir el consumo, conservar los recursos y la biodiversidad y mantener un ambiente de calidad y saludable (Alavedra et. al., 2014).

El agua es uno de los principales recursos para la conservación de la vida en el planeta, además de ser un recurso utilizado en diversas actividades socioeconómicas como la generación de electricidad, la producción de alimentos, entre otros sectores, tales como la construcción (Global Water Partnership Centroamérica, 2013).

En el Cuadro 7 se muestra la comparación de oferta y demanda del recurso hídrico en países latinoamericanos, así como el dato de su aprovechamiento en diferentes actividades.

**Cuadro 7. Oferta, demanda y aprovechamiento del recurso hídrico en países centroamericanos**

PAÍS	OFERTA (mm <sup>3</sup> /año)	OFERTA (m <sup>3</sup> per cápita)	DEMANDA (mm <sup>3</sup> /año)	OBSERVACIONES
Panamá	193,500	59,985	12,500	Se aprovecha menos del 7% de la oferta total.
Costa Rica	113,100	24,784	23,500	Se aprovecha el 20.73% de la oferta y total.
Nicaragua	189,700	34,500	1,956	Se aprovecha alrededor del 1.03% de la oferta total.
Honduras	92,850	11,540	8,450	Se aprovecha alrededor del 9.1% de la oferta total
El Salvador	18,252	3,177	1,844	Se aprovecha alrededor del 9.1% de la oferta total.
Guatemala	97,120	6,900	9,596	Se aprovecha alrededor del 9.88% de la oferta total.
Belice	18,550	53,156	568	Se aprovecha alrededor del 3% de la oferta total.
TOTAL:	723,072		58,414	8% de la oferta

**Fuente: Global Water Partnership Centroamérica, 2013**

Estos datos muestran que Costa Rica es el país que más aprovecha el recurso hídrico en general, por lo cual es importante fortalecer la gestión del agua en los ámbitos que se requiera. Uno de los objetivos principales de la construcción sostenible es buscar la optimización del consumo del recurso de manera racional y eficiente durante los procesos de construcción de un proyecto, ya que el sector de la construcción es responsable de un 16% del consumo mundial de agua potable (Valdez, 2014).

El uso del agua en los procesos constructivos puede clasificarse dependiendo de las actividades en que se utilice durante el proceso de obra gris, la cual es la fase de la construcción que abarca las siguientes etapas constructivas (Castro, 2019):

- Trabajos preliminares: instalaciones provisionales (talleres, bodegas, servicios sanitarios, oficinas), conexiones a los servicios básicos de agua y energía eléctrica.
- Limpieza del terreno, nivelación y trazado de los ejes principales de la obra.
- Movimientos de tierra (excavaciones) y construcción de cimentaciones.
- Levantamiento de paredes, columnas y vigas: se incluye la fabricación y colocación del concreto, la armadura de acero y el encofrado de los elementos.
- Chorrea de contrapiso, entrepisos y losas de techo.
- Repellos para acabado de superficies de la obra.
- Levantamiento de la estructura, clavadores y cubierta de techos.

Se puede tomar como consumo directo de agua en actividades cuyo uso del recurso sea imprescindible del proceso o que forme parte del proceso o material constructivo a implementar, como en la preparación y el curado del concreto. Para estos casos, la calidad del agua debe ser de preferencia potable, para brindarle la mayor trabajabilidad posible al concreto y cumplir con los requerimientos establecidos para la fabricación del mismo (Dubravcic, 2017).

Asimismo, se puede tomar como consumo indirecto de agua en la construcción aquel uso del recurso en actividades que la utilicen como auxiliar, tales como limpieza de materiales o equipos, control de pruebas, control de polvo, limpieza o lavado de herramientas o limpieza de superficies de la obra. En estos casos, se puede utilizar desde agua potable hasta agua pluvial recolectada u otras fuentes de agua (Valdez, 2014).

## **2.6. Gestión del agua en la construcción a nivel internacional y nacional**

La gestión del agua durante el proceso constructivo de un proyecto ha sido objeto de estudio en varios países donde se han establecido metodologías para el ahorro o disminución del consumo, así como estrategias y técnicas fácil de implementarse para ello.

Esto ha permitido contribuir al cambio de mentalidad necesario en todos los sectores del proceso constructivo de una estructura, para considerar el impacto ambiental no solo durante la fase de diseño u operación de un proyecto, sino también durante su construcción y que además permita ser cuantificable.

A continuación, se presentarán los ejemplos de guías de construcción sostenible para el caso de España, Chile, Colombia y Costa Rica.

### **2.6.1. España**

En España se creó en 2005 la "Guía de Construcción Sostenible", la cual brinda recomendaciones para el uso de sistemas constructivos, materiales y equipos más adecuados ambiental o energéticamente (Baño & Vigil, 2005). En cuanto a la gestión del agua, la guía propone cinco tácticas para la reducción en el consumo del agua durante todo el ciclo de vida (Baño & Vigil, 2005):

- Emplear aparatos tales como grifos, duchas o inodoros de una mayor eficiencia con su respectivo mantenimiento para evitar fugas accidentales. Con la implementación de estos aparatos se puede ahorrar entre un 30% y 40% de agua.
- Uso de electrodomésticos eficientes en la parte de operación de cada proyecto. Se pueden utilizar aparatos como válvulas antirretorno, sistemas de corte o filtros.
- Incentivar una jardinería sostenible desde el proceso de diseño hasta su mantenimiento. Se pueden diseñar los edificios bajo criterios de ahorro de agua tomando en consideración las características del suelo, para poder plantar con menor necesidad de riego o implementar sistemas de riego eficientes con mantenimiento adecuado.
- Empleo de contadores individuales, con el fin de controlar el consumo periódicamente en cada recinto.
- Utilización de agua de lluvia y aguas grises a través del diseño e implementación de sistemas de saneamiento desde la construcción de los edificios, con el fin de reutilizar estas aguas para riego, inodoros, limpieza de calles o maquinaria.

### **2.6.2. Colombia**

La Guía de Construcción Sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones es un documento de referencia para las nuevas construcciones realizadas en Colombia a partir del 2017. Su objetivo es ser una herramienta para la implementación de estrategias de construcción sostenible que puedan ser aplicadas en el país promoviendo la eficiencia energética y conservación del agua (ISMD, 2017).

La guía plantea varias medidas de eficiencia en el uso de agua para promover el ahorro del consumo del recurso como las siguientes (ISMD, 2017):

- Uso de accesorios de conservación de agua como lavamanos, orinales, duchas, inodoros o lavaderos, los cuales pueden reducir el consumo de agua entre un 10% y 42% dependiendo del tipo de edificación.
- Reutilización de aguas residuales a partir de un sistema de tratamiento para el reciclaje de agua en actividades como descargas de inodoros o para riego.
- Recolección de aguas de lluvia y reutilización para utilizarse en actividades diarias de limpieza o en irrigación de jardines.
- Sub-medición de agua, la cual le brinda ayuda al administrador o usuario de la edificación para entender la distribución del consumo de agua para aplicar acciones de corrección de conservación de agua.

### **2.6.3. Chile**

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo del Gobierno de Chile estableció los “Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile” en el año 2018, para ser una guía de buenas prácticas que ayuden a mejorar el desempeño ambiental de las viviendas, mediante estándares técnicos de sostenibilidad en 6 aspectos: salud y bienestar, energía, agua, materiales y residuos, impacto ambiental y entorno inmediato (MINVU, 2018).

Para el recurso del agua se cuenta con un tomo específico para esta categoría, el cual cuenta con “estándares de eficiencia hídrica para el diseño y construcción de viviendas con requerimientos mínimos para sistemas de monitoreo de calidad y cantidad del suministro utilizado durante la operación de las mismas” (MINVU, 2018).

Entre las estrategias que se presentan en el documento se encuentran las siguientes:

- Estrategias de abastecimiento y calidad del agua.
- Minimización de consumo desde el diseño, tanto interno como externo.
- Estrategias de reutilización del agua a partir de sistemas de tratamiento de aguas grises, aguas servidas o recolección de agua de lluvia.
- Plan de gestión del agua durante la construcción con medidas para minimizar la contaminación del agua, gestión de las aguas residuales, manejo de efluentes provenientes de limpieza de vehículos y maquinaria y el manejo de aguas pluviales.

- Control y supervisión del consumo de agua durante la operación por medio de sistemas de monitoreo y medición del agua.

Cabe resaltar que, para cada estrategia definida en el documento, se cuenta con un "check-list" para verificar que la aplicación de las estrategias es correcta, lo cual brinda un control de la metodología planteada para tomar acciones correctivas que puedan mejorar la implementación de las técnicas.

#### **2.6.4. Costa Rica**

La Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) estableció en 2016 la primera edición de la "Guía de Construcción Sostenible" para comenzar a fomentar la sostenibilidad en la construcción tomando en cuenta los aspectos ambientales que afectan el entorno de nuestro país, estableciendo como meta implantar las prácticas y estrategias presentadas en el documento en la construcción nacional (CCC, 2016).

La guía establece prácticas sostenibles y recomendaciones de acciones a considerar durante varios procesos de la construcción, así como para varios recursos. Entre los temas que se desarrollan dentro de la guía se cuenta con los siguientes:

- Entorno y aprovechamiento pasivo de los recursos naturales
- Movimiento de tierras y reconocimiento de elementos naturales
- Orientación y forma
- Iluminación natural
- Ventilación natural
- Utilización de áreas verdes
- Jardines verticales
- Áreas verdes
- Conservación del agua y eficiencia del uso
- Reducción de desechos de construcción
- Equipos de aire acondicionado de alta eficiencia
- Control de iluminación exterior
- Energía solar
- Sistemas de calentamiento de agua

Dentro del capítulo de conservación del agua potable y eficiencia del uso se presentan cuatro estrategias principales que permiten reducir el consumo y el impacto en las edificaciones, las cuales pueden ser aplicadas durante el proceso constructivo, así como en la operación de la edificación. Las estrategias especificadas en la guía son las siguientes:

- Instalar grifería (tipo “push”, de sensor o de palanca), accesorios de plomería (aireadores o reductores de caudal), equipos (inodoros u orinales de bajo consumo o sin tanque) y electrodomésticos de menor consumo de agua. Asimismo, se fomenta a calcular el ahorro del consumo a partir de unas fórmulas presentadas en la guía.
- Implementar sistemas de detección de fugas, medición y control mensual del consumo. Entre las acciones que se pueden realizar para identificar los consumos se encuentran los sistemas de control de caudal, sistemas integrados de acción inteligente o sistemas domóticos, mantenimiento preventivo o un contrato de servicios de fontanería especializados en fuga.
- Aprovechamiento del agua de lluvia a partir de sistemas de retención o de tanques captadores para su uso en actividades durante el proceso constructivo.
- Aspectos de cambio cultural en el uso eficiente del agua a través de campañas dentro de cada edificación, durante todo su ciclo de vida.

## **Capítulo 3. Metodología para recolección y análisis de datos de consumo de agua durante la obra gris**

La metodología elaborada se realizó de manera conjunta con el Trabajo Final de Graduación denominado "Metodología para la gestión de recursos de consumo energético durante el proceso constructivo", elaborado por Mariana Solís Acuña, con el objetivo de crear una metodología compatible y consistente para el análisis de los distintos recursos asociados al estudio de la sostenibilidad de una construcción a nivel nacional y la obtención de una primera aproximación válida del consumo de estos recursos.

Los procedimientos y herramientas creadas para cada proceso de la metodología son compartidos, por lo cual en este trabajo se presentarán las secciones referentes y específicas para el registro y análisis del consumo de agua.

La metodología puede ser aplicada durante todo el proceso de obra gris, así como posterior a este realizando una reconstrucción de las actividades realizadas. Asimismo, puede ser aplicada por una entidad externa como lo puede ser el Comité del Programa de Bandera Azul Ecológica del CFIA, como también puede aplicarla la empresa constructora para el control de su propio proyecto.

La metodología para el registro y análisis del consumo de agua en un proyecto de construcción durante la fase de obra gris se elaboró a través de tres etapas. La primera etapa consistió en la definición de los datos necesarios de los proyectos de construcción que brinden información relevante sobre el consumo de agua. La segunda etapa contempló la recolección de los datos para su análisis y obtención de resultados de consumos en la tercera etapa.

A continuación, se presenta la explicación de la metodología creada, tomando en cuenta los procesos y las herramientas producidas para cada etapa explicada anteriormente.

### **3.1. Etapa 1: Definición de información y datos requeridos**

Para poder iniciar cualquier proceso, se deben conocer los insumos requeridos para lograr obtener un resultado determinado. En este caso, para poder obtener datos de consumo de algún recurso en una construcción, se necesitan conocer las actividades, formas y momentos determinados en que se hace uso de un determinado recurso.

Es por esto que el primer paso en la elaboración de la metodología consistió en la definición de las fuentes de consumo de agua en una construcción, según las actividades que se realicen durante la fase de obra gris y según el tiempo que duren en ejecutarse.

Además, la información que se necesite depende de los resultados que se quieran obtener, por lo que se establecieron los resultados esperados al final de la aplicación de la metodología, tales como el consumo por fuente, consumo total, consumo acumulado, consumo unitario, consumo mensual y consumo por niveles tomando en cuenta que el estudio se basa en edificios verticales.

El consumo de agua durante la obra gris de un proyecto se puede dar en actividades involucradas directamente con la construcción, como en la elaboración del concreto, ya sea hecho en sitio o premezclado, o el curado del concreto colado. Además, se tienen consumos de agua en actividades paralelas que se realicen en el mismo periodo, como el agua consumida en las instalaciones provisionales, para control de riego o para el lavado de maquinaria y equipo.

No obstante, la manera de recolectar el dato consumido según cada actividad es distinta, por lo cual se establecieron tres fuentes de recolección de consumo de agua principales durante la obra gris: consumo según medidor, consumo en el concreto premezclado y otros consumos.

El "consumo según medidor" contempla el agua consumida en el proyecto para instalaciones provisionales, control de riego, lavado de equipo y maquinaria, curado del concreto y en la elaboración del concreto hecho en sitio. Estas actividades utilizan el agua otorgada directamente de la compañía encargada de proporcionar el servicio, el cual en este caso es el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).

La manera en cómo se recolecta el dato del consumo es a través de uno o varios medidores, colocados por Acueductos y Alcantarillados (AyA) o adquiridos por la empresa constructora para contar con un control interno. El dato que se muestra en el medidor es del consumo acumulado de agua desde su instalación, por lo que es importante llevar un registro de los datos recopilados para una mejor trazabilidad del consumo, ya sea semanal o mensualmente. En la Figura 10 se muestra un ejemplo de un dato de consumo de agua de un medidor del AyA tomada en un determinado momento.



**Figura 10. Fotografía del medidor de agua del AyA del proyecto Torre Las Loras**

**Fuente: Castillo, 2020**

El “consumo en el concreto premezclado” se refiere al agua incorporada en el concreto premezclado transportado desde otro sitio. El agua utilizada para esta actividad no se consumió directamente en el sitio del proyecto, pero forma parte del producto final que consiste en el edificio construido, por lo cual se decidió tomar en cuenta el agua adherida al concreto.

Para obtener el dato del agua adherida, se necesita conocer los diseños de mezcla utilizados por la concretera para la elaboración del concreto, ya que en esta se muestran las dosificaciones y proporciones de materiales para su creación.

El dato que se requiere conocer es la cantidad de metros cúbicos o litros de agua necesarios para producir 1 metro cúbico de concreto, el cual luego se multiplicaría por la cantidad total de concreto colado en el proyecto o por nivel para obtener el agua contemplada en el concreto.

Finalmente, la última fuente de consumo denominada “otros consumos” puede contemplar datos de tanquetas de agua obtenidas por la empresa constructora y utilizadas para las mismas actividades anteriormente explicadas. Además, se podrían tener estañones para la captación de agua de lluvia, los cuales se pueden utilizar luego en actividades como el lavado de maquinaria o equipo para el ahorro del recurso. Estos consumos no se miden

directamente del medidor, así que se toman como consumos adicionales que podrían obtenerse del proyecto.

En el caso de la aplicación de la metodología cuyos resultados se explicarán en el Capítulo 4, no se contempló ninguno de estos consumos adicionales, no obstante, queda establecido y disponible para su aplicación en investigaciones a futuro.

Con esto analizado, se elaboró una lista de información requerida de manera general para la recolección y análisis de cualquier recurso, así como una lista de datos directamente para analizar el consumo de agua, con lo cual se obtuvo que se requiere la siguiente información:

1. Área total de construcción de cada proyecto
2. Área de cada nivel del edificio a construir
3. Cronograma global de trabajo teórico y real del proyecto
4. Programación de trabajo semanal del proyecto
5. Control de fechas de coladas de concreto con cantidades
6. Datos del medidor de agua, ya sea interno o del AyA
7. Recibos mensuales de gasto de agua
8. Fichas técnicas de los tipos de concreto utilizados
9. Datos de consumo de agua pluvial y capacidad o volumen de estañones (en caso de que se tenga en el proyecto)
10. Datos de consumo de tanquetas adicionales de agua y capacidad o volumen de estañones (en caso de que se tenga en el proyecto)

A partir de esta lista, se generó la primera herramienta de recolección de datos preliminares denominada "001 – Confirmación de Requisitos de la Construcción", la cual se encuentra en su totalidad en el Anexo 1 del presente documento.

La herramienta se creó para elaborar un diagnóstico de los proyectos que quieran utilizar la metodología, de manera que puedan contar con los requisitos que se establecieron para analizar los datos adecuadamente, según se establece en la presente metodología.

La herramienta se debe aplicar en la primera visita que se tenga al proyecto en estudio o al inicio del proyecto, donde se pueden obtener los datos generales, contactos del proyecto y una descripción breve del mismo tomando en cuenta el tipo de proyecto, área de construcción, cantidad de niveles y las fechas de inicio y final de la etapa de obra gris. En la

Figura 11 se muestra la sección de información general del proyecto de la herramienta creada para la primera etapa.

1. Datos Generales							
Fecha de Visita: / /			Responsable de visita:				
Nombre del Proyecto:				Código del Proyecto:			
Nombre de Constructora:							
Nombre de Desarrolladora:							
Provincia:			Cantón:				
Distrito:			Poblado:				
2. Contactos del Proyecto							
Nombre:				Cargo:			
Correo:				Teléfono:			
Nombre:				Cargo:			
Correo:				Teléfono:			
3. Descripción y Características del Proyecto							
Sector:	Público		Privado		Otro		Especifique:
Descripción General del Proyecto:							
Tipo de Proyecto:	Habitacional		Comercial		Industrial		Infraestructura
	Obras Complementarias			Institucional		Otros	
Área de Construcción (m <sup>2</sup> ):			Cantidad de edificios:		Cantidad de niveles:		
Fecha de Inicio de Obra Gris:				Fecha Final de Obra Gris (aproximada):			
/ /				/ /			

**Figura 11. Sección de información general del proyecto de formulario "001 – Confirmación de Requisitos de la Construcción"**

Posteriormente, se encuentra la sección de confirmación de requisitos, tanto generales como para el consumo de agua. Se debe marcar en las casillas si se cuenta con ese dato o información y anotar alguna observación adicional con respecto a cada pregunta.

Cabe destacar que, si algún proyecto no cumple con algún requisito, no significa que no puede ser tomado en cuenta para el análisis del consumo del recurso por analizar, sino que se podría contar con dificultades a la hora de recolectar la información necesaria y el análisis del consumo no brindaría una buena aproximación.

En las Figuras 12 y 13, se observan las secciones de confirmación de requisitos generales y para información específica para agua, respectivamente.

4. Confirmación de Requisitos				
a. Requisitos Generales				
1. ¿El proyecto lleva un control de las fechas de colado de concreto?				
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	Observaciones:
2. ¿El proyecto lleva un cronograma actualizado del trabajo semanal?				
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	Observaciones:
3. ¿El proyecto cuenta con una lista de actividades detalladas del proceso de obra gris según el trabajo semanal realizado?				
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	Observaciones:

**Figura 12. Sección de confirmación de requisitos generales del proyecto de formulario "001 – Confirmación de Requisitos de la Construcción"**

b. Requisitos Agua				
4. ¿El proyecto cuenta con medidor de consumo de agua?				
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA <input type="checkbox"/>
Observaciones:				
5. ¿El proyecto cuenta con los recibos mensuales de consumo de agua?				
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA <input type="checkbox"/>
Observaciones:				
6. ¿El proyecto cuenta con el diseño de mezcla del concreto utilizado en sitio?				
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA <input type="checkbox"/>
Observaciones:				
7. ¿El proyecto cuenta con registros de cosecha de lluvia?				
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA <input type="checkbox"/>
Observaciones:				
8. ¿El proyecto cuenta con registros de tanquetas de agua?				
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA <input type="checkbox"/>
Observaciones:				

**Figura 13. Sección de confirmación de requisitos específicos de agua del proyecto de formulario "001 – Confirmación de Requisitos de la Construcción"**

### 3.2. Etapa 2: Recolección de datos e información

La etapa de recolección de datos e información se puede realizar en una ventana de tiempo determinada, dependiendo del nivel de control que se quiera tener del consumo de cada recurso por analizar.

La recopilación de datos y de información se puede realizar por parte del personal de la empresa constructora o bien, de personal externo que realice visitas programadas para llevar el control de los datos, las cuales pueden tener una duración de entre 10 y 15 minutos. Se pueden realizar recolecciones de datos semanales, bisemanales o mensuales, donde la diferencia dependerá de la disponibilidad de los encargados del control del consumo y del nivel de seguimiento que se prefiera para el proyecto.

Es importante destacar que, si se recolectan datos semanalmente, se tendrá un mayor nivel de control y el análisis de los datos será más específico, menos complejo y se pueden encontrar, con mayor facilidad, eventos inusuales que pudieran incidir en el consumo del recurso.

Como anteriormente se explicó, la metodología puede ser aplicada durante el proceso de obra gris, así como después de terminada esta fase por medio de una reconstrucción de los hechos y actividades realizadas.

Por ello, es de vital relevancia conocer el trabajo realizado a lo largo de la fase de obra gris, con el objetivo de conocer el nivel en el que se trabaja en determinado momento, conocer el avance real del proyecto tomando en cuenta retrasos o adelantos en la obra con respecto al cronograma planeado y determinar si se realizaron actividades paralelas a la construcción de obra gris, como por ejemplo, en alguna obra exterior complementaria o en la etapa de acabados en niveles inferiores construidos en semanas anteriores.

Para mayor facilidad en la recolección de datos, se elaboró la herramienta denominada "002 – Instrumento de Recolección de Datos", el cual consiste en un formulario de rutina para recopilar los datos necesarios. La herramienta se muestra completa en el Anexo 2.

La herramienta cuenta con dos secciones principales, donde la primera consiste en la actualización de la información general del proyecto para llevar un control de las visitas o registros que se tengan de los consumos, como se muestra en la Figura 14.

1. Datos Generales	
Fecha de Visita: _ / _ / _	Responsable de visita: _____
Nombre del Proyecto: _____	Código del Proyecto: _____
Nombre de Constructora: _____	
Nombre de Desarrolladora: _____	
Provincia: _____	Cantón: _____
Distrito: _____	Poblado: _____
2. Contactos del Proyecto	
Nombre: _____	Cargo: _____
Correo: _____	Teléfono: _____
Nombre: _____	Cargo: _____
Correo: _____	Teléfono: _____

**Figura 14. Sección de información general del proyecto de formulario "002 – Instrumento de Recolección de Datos"**

La segunda sección se encuentra destinada para anotar el dato del consumo respectivo y de otros datos necesarios para su debido análisis. Para el caso del agua, en la Figura 15 se

muestra la sección para la recolección de datos, donde se debe anotar la medida tomada del medidor respectivo en esa fecha, si existiese algún dato de consumo de agua por cosecha de lluvia o por tanquetas adicionales en el periodo de estudio, así como la cantidad de concreto colado por nivel en el periodo por analizar. Una vez recopilados los datos de consumo de agua, se procederá a introducir los datos en la herramienta de análisis de datos elaborada. Además, es importante tomar fotografías con cada registro, principalmente de los medidores para un mejor control.

b. Datos de Agua		
2. Medición semanal de medidor(es) (L)		
3. Consumo semanal de tanquetas de agua (L)		
4. Consumo semanal de cosecha de agua (L)		
5. Volumen de concreto colado en la semana por nivel		
Nivel	Resistencia concreto (kg/cm <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )

**Figura 15. Sección de recolección de datos de consumo de agua del proyecto de formulario "002 – Instrumento de Recolección de Datos"**

A partir de los datos tomados del medidor, se puede llevar un control fotográfico o en modo tabla para cada lectura realizada, de tal manera que se pueda establecer el consumo correspondiente al periodo entre lecturas. Asimismo, en el caso del agua adherida al concreto, se puede contar con un registro de la cantidad de volumen colado por nivel para su posterior análisis.

Como último paso en la recolección de datos e información, se debe realizar una verificación e inspección de las actividades de ahorro del recurso por analizar planteados por la empresa constructora previo al inicio de la construcción, para determinar si se realizaron dichas actividades y establecer una lista de actividades de ahorro de consumo de agua que puedan ser usadas como guía base para los profesionales en futuros proyectos.

### **3.3. Etapa 3: Análisis de datos y obtención de resultados**

Una vez recopilados los datos de consumo de agua, se procede a introducirlos en la herramienta de análisis elaborada en Microsoft Excel. El objetivo de la herramienta es conocer el consumo de agua realizado en el proyecto por mes y por cada nivel tomando en cuenta su periodo de construcción.

Esta se encuentra distribuida en tres secciones: la sección de datos de entrada, la sección de distribución de consumos por niveles y la sección de gráficos y resultados. A continuación, se presentarán ejemplos de la interfaz de la herramienta, así como una

explicación de la manera en que se deben incorporar los datos y utilizar la herramienta para el análisis del consumo de agua mensual, por nivel y según la fuente de consumo.

Los datos de entrada se dividen en dos apartados, uno para el análisis mensual del consumo y otro para el análisis por nivel de la estructura en estudio. En la Figura 16 se muestra un ejemplo de la sección de datos de entrada para el análisis de consumo mensual, la cual se debe preparar con antelación para contar con los datos ordenados de manera óptima para el análisis mensual y por nivel del consumo de agua.

DATOS DE ENTRADA								
Año	Mes	Fecha de inicio de semana	Fecha de final de semana	Gasto Mensual por medidor (m <sup>3</sup> )	Días del mes	Actividades	Gasto Mensual Acumulado por medidor (m <sup>3</sup> )	
2020	1	Enero	02/01/2020	04/01/2020	55	31	Movimiento de tierras; C (obra gris)	55
			06/01/2020	11/01/2020			Movimiento de tierras; C (obra gris)	
			13/01/2020	18/01/2020			Movimiento de tierras; C, S1 (obra gris)	
			20/01/2020	25/01/2020			C, S1 (obra gris)	
			27/01/2020	31/01/2020			C, S1 (obra gris)	

**Figura 16. Sección de datos de entrada para el análisis de consumo mensual de la herramienta de análisis de datos en Microsoft Excel**

A continuación, se explicará cada componente de la sección de datos de entrada para el análisis de consumo mensual mostrada en la Figura 16.

- Año: se debe identificar el año en el que se esté realizando el proyecto para luego ubicar el respectivo mes en el que se estuvieran realizando trabajos, ya que pueden existir proyectos cuyo inicio y final se den en diferentes años.
- Mes: se debe identificar el mes respectivo al que se le indicará el consumo mensual total según el registro que se tenga de las lecturas al medidor o medidores de agua.
- Fecha de inicio de semana: se tomará el día lunes como fecha de inicio de semana. Se puede contar con semanas especiales con pocos días tomando en cuenta fin y principio de mes.
- Fecha de final de semana: Se tomará el día sábado como fecha de final de semana. Se puede contar con semanas especiales con pocos días tomando en cuenta fin y principio de mes.
- Gasto mensual por medidor (m<sup>3</sup>): en esta casilla se debe colocar el dato sumado del gasto mensual según las lecturas del medidor de agua tomadas a lo largo del mes respectivo. Por esto, es importante contar con un registro de las lecturas para luego realizar la suma del acumulado de las lecturas.

- f) Días del mes: en esta casilla se establecen los días totales de cada mes respectivamente.
- g) Actividades: Se debe detallar las actividades realizadas por semana según el nivel en que se trabaje y la etapa de construcción. Para ello debe establecerse una codificación previa de los niveles de los edificios por analizar. La codificación creada para la metodología consiste en la siguiente:
- C: Cimentaciones
  - S#: Sótano, con el número respectivo según la cantidad total
  - N#: Nivel, con el número respectivo según la cantidad total
  - A: Azotea, losa de techo u otro nivel superior

Las actividades que pueden especificarse son las siguientes:

- Movimiento de Tierras
- Obra Gris
- Acabados
- Obras Externas Complementarias

Así mismo, si en alguna semana no se realizó ningún trabajo por condiciones especiales o extraordinarias, se debe especificar en este espacio.

- h) Gasto Mensual Acumulado por medidor ( $m^3$ ): en este espacio se debe sumar el gasto mensual por medidor anotado anteriormente de manera acumulada para cada mes.

Por otra parte, en la Figura 17 se observa un ejemplo de la sección de datos de entrada para el análisis del consumo por nivel de la estructura en estudio y posteriormente se explicará cada componente y su debido proceso para llenarse.

Nivel	Área Nivel ( $m^2$ )	Área acumulada ( $m^2$ )	Fecha de Inicio de Nivel (incluye columnas, muros, vigas y entrepiso)	Fecha Final de Nivel (incluye chorrea de entrepiso)	% avance	% avance acumulado
C	1383	1383	04/01/2020	12/03/2020	9%	9%

**Figura 17. Sección de datos de entrada para el análisis de consumo por nivel de la herramienta de análisis de datos en Microsoft Excel**

- a) Nivel: se establece el nivel respectivo siguiendo la codificación creada y explicada anteriormente.
- b) Área Nivel ( $m^2$ ): se debe colocar el área de la huella de cada nivel según planos del proyecto. En el caso de la cimentación, se coloca el área de la huella de cimentación.

Estos datos se utilizarán para conocer el porcentaje de avance del proyecto y el consumo unitario del recurso.

- c) Área acumulada ( $m^2$ ): en este espacio se deben ir sumando las áreas de manera acumulada. Estos datos se utilizarán posteriormente para conocer el consumo unitario acumulado del recurso analizado.
- d) Fecha de Inicio de Nivel: se establece como fecha de inicio de cada nivel el día en que se realice la primera colada de los elementos estructurales verticales (muros o columnas) u horizontales (vigas o cimientos) que se encuentren por debajo de la losa de entepiso del nivel respectivo.
- e) Fecha Final de Nivel: se establece como fecha final de nivel el día en que se realice la última colada de la losa de entepiso correspondiente al nivel respectivo.
- f) % Avance: para el caso de la metodología elaborada, al contemplar únicamente la etapa de construcción de obra gris, se estableció el porcentaje de avance como el área de cada nivel construido entre el área acumulada total de todos los niveles. Se podría considerar también el porcentaje de avance por medio de la cantidad de concreto colado por nivel entre el total de concreto colado para la estructura.
- g) % Avance Acumulado: en este espacio se deben ir sumando los porcentajes de avance acumulado. Estos datos se utilizarán posteriormente para conocer el consumo unitario acumulado del recurso analizado.

Cabe destacar que las fechas de inicio y final de nivel se establecieron de la manera explicada con supuestos para establecer una primera aproximación del consumo por nivel y para determinar el plazo de construcción de cada nivel, tomando en cuenta el registro de coladas de concreto del cual se tuvo acceso al aplicar la metodología en campo.

No obstante, se podría optimizar la fecha de inicio de cada nivel y establecerlo como el día en que se comiencen a realizar trabajos previos al colado de los elementos que lo componen como lo son el trazado, la colocación de la armadura o la colocación de la formaleta de las columnas y muros que soportarán la losa de entepiso de dicho nivel. Asimismo, en el caso de la fecha final del nivel, se podría considerar el tiempo en que se cure por completo el concreto colado o que se finalice cualquier actividad referente a obra gris en ese nivel.

Aun así, los supuestos explicados anteriormente se establecieron para ajustarse a la información obtenida en el momento de la aplicación de la metodología en dos proyectos de construcción, lo cual se explicará detalladamente en el Capítulo 4.

La sección para la asignación de consumos de agua por nivel se divide según la fuente de consumo: consumo según medidor, consumo en el concreto y otros consumos. El apartado para el análisis del consumo por medidor por nivel se muestra como ejemplo en las Figuras 18 y 19, y su funcionamiento se explica seguidamente.

Consumo según medidor					
Consumo total por medidor Mes 1 (m <sup>3</sup> )	Consumo total por medidor Mes 2 (m <sup>3</sup> )	Consumo total por medidor Mes 3 (m <sup>3</sup> )	Días Mes 1	Días Mes 2	Días Mes 3
55	162	92	28	29	12

**Figura 18. Sección de asignación de consumos de agua por nivel, primer apartado de consumo según medidor de la herramienta de análisis de datos en Microsoft Excel**

Consumo según medidor						
% Construido Mes 1	% Construido Mes 2	% Construido Mes 3	Consumo Nivel Mes 1 (m <sup>3</sup> )	Consumo Nivel Mes 2 (m <sup>3</sup> )	Consumo Nivel Mes 3 (m <sup>3</sup> )	Subtotal Consumo por medidor (m <sup>3</sup> )
62.22%	46.77%	16.22%	34.22	75.77	14.92	124.92

**Figura 19. Sección de asignación de consumos de agua por nivel, segundo apartado de consumo según medidor de la herramienta de análisis de datos en Microsoft Excel**

- a) Consumo total por medidor durante Mes X: dado que un nivel puede durar varias semanas en su proceso de construcción, existe la posibilidad que se inicie en un mes y se finalice en otro distinto, por lo cual se debe repartir el consumo de agua según el medidor de esos meses en dicho nivel.

En estas casillas se debe colocar el consumo total de los meses en que se realizaron trabajos en un nivel determinado, previamente introducidos en la sección de datos de entrada. El periodo de construcción puede darse entre un solo mes o entre varios, por lo cual se pueden crear columnas dependiendo de la cantidad de meses de trabajo en un nivel, como se observa en la Figura 18.

- b) Días Mes: en estas casillas se debe colocar la cantidad de días trabajados en un nivel determinado según el mes respectivo. Existe la posibilidad que por circunstancias especiales (feriados, paros de obra u otros), uno o varios días del mes no se haya trabajado en el proyecto, por lo cual no se deben considerar estos días, es decir, solamente se debe considerar el tiempo bruto de construcción, definido como el tiempo

en días en que se haya realizado al menos una actividad que influya directa o indirectamente en la construcción de un nivel específico.

- c) % Construido Mes: dado a que durante un mismo periodo de tiempo se pueden estar construyendo varios niveles en paralelo, la manera en que se asigna la cantidad de agua consumida por mes a un nivel específico es a partir de porcentajes de distribución obtenidos de la siguiente manera:

- Si durante un mes se trabajó en 2 o más niveles durante el mismo periodo de tiempo, el porcentaje asignado al nivel X es:

$$\% = \frac{\text{Tiempo bruto de construcción del mes en el nivel X (días)}}{\text{Tiempo bruto de construcción de todos los niveles en ese mes (días)}} \quad (1)$$

- Si durante un mes se trabajó menos de 7 días (1 semana) en un único nivel, el porcentaje asignado al nivel X es:

$$\% = \frac{\text{Tiempo bruto de construcción del mes en el nivel X (días)}}{\text{Días totales del mes (días)}} \quad (2)$$

- d) Consumo Nivel durante Mes X: en esta casilla se realiza la multiplicación del consumo total por medidor en el mes y el porcentaje de distribución explicado en el paso anterior. De esta manera, se puede obtener una primera aproximación del consumo de agua para niveles específicos tomando en cuenta el tiempo bruto de construcción de cada uno y los supuestos explicados.
- e) Subtotal Consumo por medidor (m<sup>3</sup>): en este espacio se realiza la suma de los consumos obtenidos en el paso anterior, tomando en cuenta el aporte de cada mes en la construcción de un nivel determinado.

Por otra parte, para el análisis del consumo de agua en el concreto, en la Figura 20 se muestra la salida de la herramienta de análisis de datos y seguidamente se explica la función del modelo creado.

Consumo en el concreto			
Tipo de Concreto	Volumen concreto colado (m <sup>3</sup> )	Agua diseño de mezcla (m <sup>3</sup> agua/m <sup>3</sup> concreto)	Subtotal Consumo en el Concreto (m <sup>3</sup> )
Premezclado	864.50	0.231	199.70

**Figura 20. Sección de asignación de consumos de agua por nivel, apartado de consumo de agua en el concreto de la herramienta de análisis de datos en Microsoft Excel**

- a) Tipo de Concreto: se debe especificar la manera en que se elaboró el concreto para el proyecto, ya sea hecho en sitio, premezclado o prefabricado y transportado a la obra.
- b) Volumen concreto colado ( $m^3$ ): se debe especificar la cantidad de concreto total colado por nivel. Para lograr esto con mayor facilidad, se puede contar con un control o registro del concreto colado por parte de la empresa constructora, donde se puedan identificar fácilmente los elementos que componen cada nivel, como lo son las columnas, los muros, las vigas y el entrepiso.
- c) Agua diseño de mezcla ( $m^3$  agua/ $m^3$  concreto): en este espacio se debe colocar la cantidad de agua por metro cúbico de concreto en promedio según los distintos diseños de mezcla de concreto utilizados en el proyecto.
- d) Subtotal Consumo en el Concreto: en esta casilla se realiza la multiplicación del volumen de concreto colado para cada nivel por el promedio de la cantidad de agua por metro cúbico de concreto obtenida en el paso anterior.

Existe la posibilidad que un mismo nivel utilice varios tipos de concreto, por lo que debe especificarse para cada nivel la cantidad de volumen de concreto colado según su tipo respectivamente.

Esto es importante, ya que, si el concreto fue hecho en sitio, el agua utilizada para su fabricación pertenece al consumo brindado a partir del medidor, por lo que ya se encontraría incorporado el dato del consumo en el concreto y no se le debe añadir al consumo total de agua en esos casos.

De igual manera, existe la posibilidad de contabilizar el consumo de agua por medio de tanquetas de agua adquiridas por el proyecto o de agua de lluvia recolectada, los cuales son datos puntuales que se sumarían al dato del consumo total de agua. Estas fuentes de consumo al ser poco comunes, no se les brinda un seguimiento adecuado del consumo, no obstante, se recomienda llevar un control del gasto que se obtenga para poder contemplarse dentro del análisis de la metodología.

Una vez obtenidos los subtotales según su fuente de consumo, se procede a la sección de resultados y de generación de gráficos. Los resultados finales o indicadores que se pueden obtener a partir del análisis por niveles anteriormente explicado se resumen en la Figura 21.

Consumo Total Agua (m <sup>3</sup> )	Consumo Acumulado (m <sup>3</sup> )	Consumo Unitario (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Consumo Unitario Acumulado (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
324.61	324.61	0.23	0.23

**Figura 21. Resultados e indicadores obtenidos a partir del análisis de consumos de agua por niveles en la herramienta elaborada en Microsoft Excel**

- a) Consumo Total Agua (m<sup>3</sup>): en este espacio se realiza la suma de los subtotales de consumos de agua obtenidos anteriormente para cada fuente de consumo: consumo por medidor, consumo en el concreto y otros consumos. Este dato es una primera aproximación para obtener la cantidad total de agua que se puede consumir en la creación de un nivel en su etapa de obra gris dependiendo de su área, su duración y de la cantidad de volumen de concreto colado.
- b) Consumo Acumulado (m<sup>3</sup>): en esta casilla se irá sumando de manera acumulada el consumo total de agua por nivel. Esta información puede ser utilizada para determinar la cantidad de agua consumida conforme avanza la construcción del proyecto en sus distintos niveles.
- c) Consumo Unitario (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>): en esta casilla se realiza la división del consumo total de agua entre el área de cada nivel. El consumo unitario de agua es un indicador de sostenibilidad que se puede obtener para comparar proyectos entre sí y para generar estadísticas que permitan conocer cuánta agua se puede consumir en la construcción de un nivel según su área de huella.
- d) Consumo Unitario Acumulado (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>): en esta casilla se realiza la división del consumo total acumulado de agua entre el área acumulada. El consumo unitario acumulado de agua es un indicador de sostenibilidad que se puede obtener para comparar varios proyectos entre sí durante toda su etapa de construcción y así, generar estadísticas que permitan conocer la cantidad de agua consumida en estructuras de varios niveles según su área.

En el caso del análisis de datos mensuales, se pueden obtener los totales por mes según las lecturas tomadas del medidor como anteriormente se explicó, así como el consumo acumulado mensualmente para determinar el total de agua consumida a lo largo del periodo.

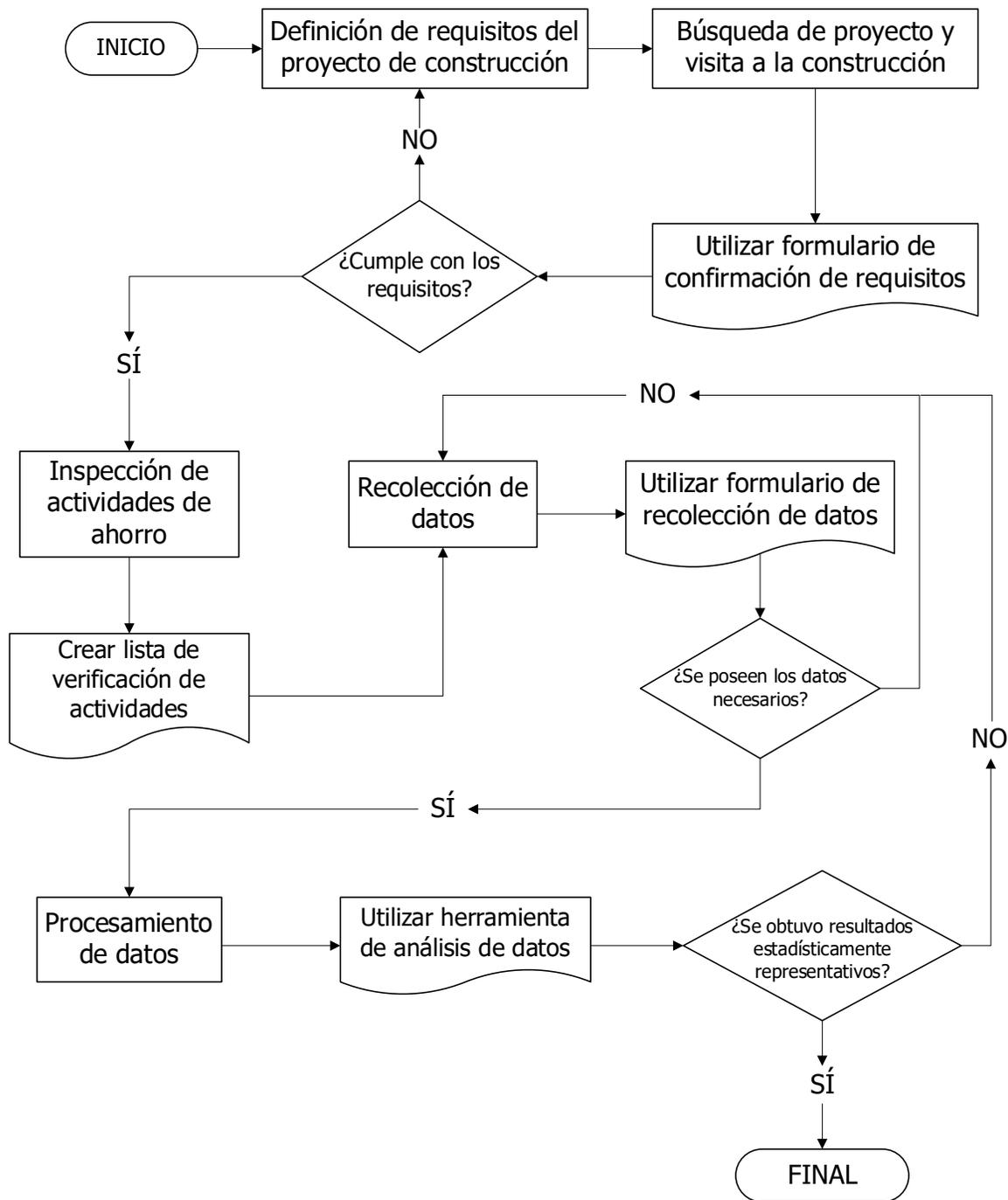
Se pueden generar gráficos para una mejor visualización de los resultados anteriormente explicados, de los cuales para el caso del recurso del agua se pueden obtener los siguientes gráficos:

- Consumo de agua por medidor mensualmente
- Consumo acumulado de agua por medidor mensualmente
- Consumo de agua por nivel según fuente de consumo
- Porcentajes de consumo de agua por nivel
- Consumo total de agua por nivel
- Consumo total de agua según porcentaje de avance
- Consumo total acumulado de agua por nivel
- Consumo total acumulado de agua según porcentaje de avance
- Consumo unitario de agua según el área de cada nivel
- Consumo unitario de agua por metro cúbico de concreto colado por nivel
- Consumo unitario de agua por nivel según porcentaje de avance
- Consumo unitario acumulado de agua por nivel
- Consumo unitario acumulado de agua por nivel según porcentaje de avance

Estos gráficos se observarán y analizarán en detalle en el Capítulo 4 para los dos proyectos en estudio, así como gráficos comparativos entre proyectos, tomando en cuenta los consumos totales, acumulados y unitarios según el porcentaje de avance de cada construcción.

Por último, en la Figura 22 se muestra el diagrama de flujo general de la metodología elaborada y aplicada para registrar, procesar y analizar los datos de consumo de agua durante la fase de obra gris en un proyecto de construcción.

### GESTIÓN DEL CONSUMO DEL AGUA EN LA CONSTRUCCIÓN



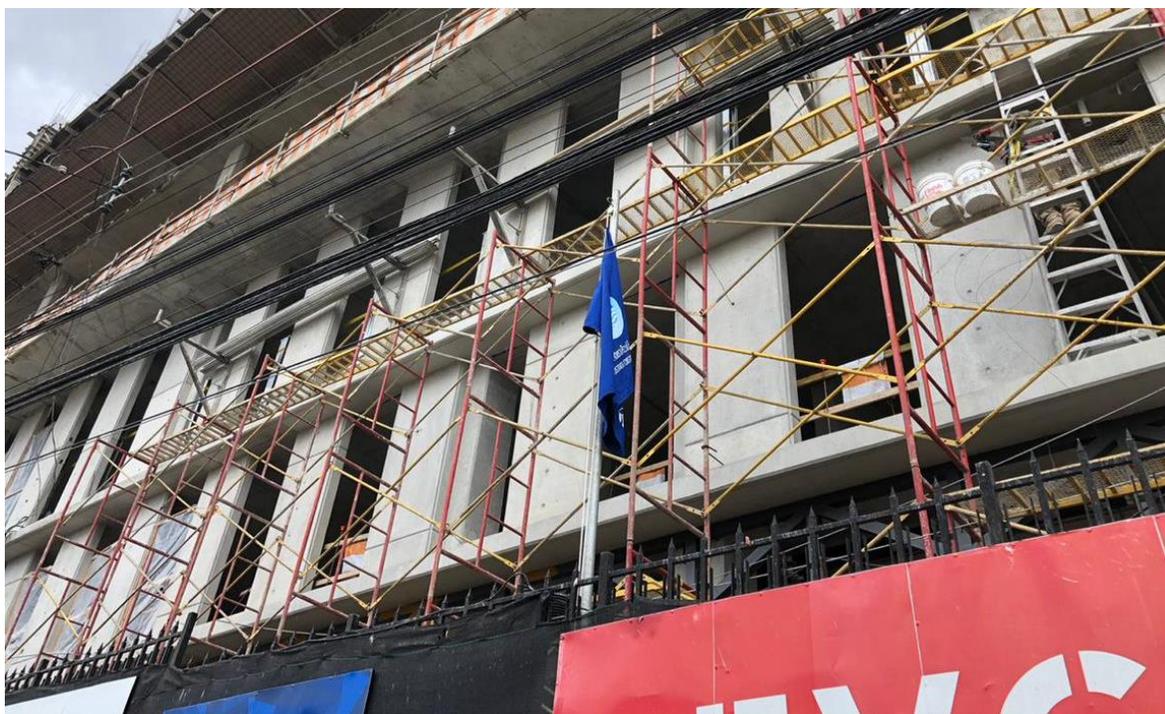
**Figura 22. Diagrama de flujo de la metodología para el control y análisis del consumo de agua de una construcción en su etapa de obra gris**

## Capítulo 4. Análisis de resultados de datos obtenidos a partir de la implementación de la metodología

La metodología creada fue aplicada en dos proyectos de construcción a cargo de la empresa Eliseo Vargas Constructora (EVCO): Torre Las Loras y San Pedro Business Center. Ambos proyectos consisten en edificios verticales ubicados dentro de la Gran Área Metropolitana y se abarcó el periodo de construcción de obra gris.

Ambos proyectos fueron galardonados como Bandera Azul por la Categoría XV: Construcción Sostenible por parte del PBAE. En las Figuras 23 y 24 se muestran las banderas izadas para cada proyecto. En ambos casos, se tuvo acceso a la información brindada al comité de PBAE en el proceso de certificación.

Uno de los objetivos principales de la aplicación de la metodología es brindar una herramienta a las empresas constructoras para llevar un control del consumo de los recursos y al PBAE para fiscalizar el trabajo en la obra y darle trazabilidad a los proyectos que quieran obtener el galardón enfocándose en la categoría de Construcción Sostenible.



**Figura 23. Bandera Azul otorgada al proyecto Torre Las Loras por parte del PBAE**

**Fuente: EVCO, 2020**



**Figura 24. Bandera Azul otorgada al proyecto San Pedro Business Center por parte del PBAE**

**Fuente: EVCO, 2020**

Debido a la situación ocurrida a partir de la pandemia nacional por el COVID-19 y las medidas tomadas por el Gobierno Nacional, la mayoría de empresas constructoras decidieron restringir las visitas a las distintas construcciones y se adaptaron a las medidas sanitarias especificadas para continuar con sus labores.

Es por este motivo que no se pudo implementar la metodología en otras construcciones que estaban en ejecución para la etapa de recolección de datos de los proyectos. Asimismo, en el caso de los dos proyectos estudiados, la información y los datos recibidos, así como consultas se realizaron de manera virtual y por correo electrónico por parte del ingeniero Mario Martínez, asistente de calidad de ambos proyectos. Aun así, se logró coordinar y realizar visitas semanales en un determinado periodo de tiempo para la toma de datos de los medidores de agua de ambos proyectos.

Durante la etapa de recolección de datos, realizada de julio a setiembre del 2020, los dos proyectos contaban con cierto porcentaje de avance de la etapa de obra gris, por lo cual se realizó una reconstrucción de los datos de consumo de agua para los meses de enero a julio, así como la recolección de los datos semanalmente para el análisis de los mismos en los meses de agosto y setiembre.

A partir de la aplicación de la herramienta "001 – Confirmación de Requisitos de la Construcción", la información suministrada por la empresa de manera virtual para la reconstrucción de los datos de consumo de agua para los meses previos fue la siguiente:

- Recibos mensuales de agua por parte del AyA para los meses de enero a setiembre.
- Área de cada proyecto y para cada nivel de los edificios a construir.
- Cronograma global de cada proyecto.
- Control de fechas de coladas de concreto con cantidades y detalle de ubicación.
- Fichas técnicas de los tipos de concreto utilizados en los proyectos.
- Detalle y fotografías de actividades sostenibles aplicadas para la disminución y el ahorro de agua durante la ejecución de los proyectos.
- Programación semanal de trabajo de cada proyecto para determinar las actividades realizadas, tanto de obra gris como de otras etapas.

Asimismo, en el periodo de recolección de datos semanales, se utilizó la herramienta "002 – Instrumento de Recolección de Datos" para llevar el registro de las visitas semanales y del dato observado en los medidores, mientras que el consumo de agua en el concreto se obtenía según la actualización del control de coladas de concreto.

A continuación, se describirá cada proyecto de manera general, las acciones realizadas durante su ejecución para el ahorro y disminución del consumo de agua y los datos, resultados y gráficos encontrados a partir de la aplicación de la metodología elaborada.

#### **4.1 Proyecto Torre Las Loras**

El proyecto Torre Las Loras se encuentra ubicado 200 m sur de McDonald's de Plaza del Sol, en Curridabat, como se observa en la Figura 25. El proyecto se encuentra en un área de 13 765 m<sup>2</sup> y consiste en un edificio de 11 niveles más un sótano, cuyo uso se espera sea para estacionamientos, comercio, oficinas y apartamentos.

La estructura se construyó a partir de muros y columnas de concreto reforzado, con losas en sistema postensado no adherido. El proyecto comenzó en diciembre de 2019 y su plazo estimado es de 13 meses, finalizando en enero de 2021. La etapa de obra gris finalizó a principios del mes de setiembre, por lo que, en el presente trabajo se mostrarán los resultados de la metodología aplicada contemplando el 100% de la obra gris terminada.



**Figura 25. Ubicación del proyecto Torre Las Loras**

**Fuente: Google Earth, 2020**

**Modificado por: Castillo, 2020**

En las Figuras 26 y 27 se muestra el modelo del edificio terminado, mientras que en la Figura 28 se muestra una fotografía de la estructura en el momento de su construcción, en setiembre del 2020.



**Figura 26. Vista frontal del modelo de Torre Las Loras**

**Fuente: Torre Las Loras, 2020**



**Figura 27. Vista en isométrico del modelo de Torre Las Loras**

**Fuente: Torre Las Loras, 2020**



**Figura 28. Fotografía del proyecto Torre Las Loras en su etapa de construcción**

Entre las medidas que realizaron en el proyecto para mitigar el impacto en el consumo de agua y lograr ahorrar o disminuir su consumo, se encuentran las siguientes:

1. Reparación de mangueras dañadas y compra de pistolas para manguera para evitar y controlar el desperdicio de agua.



**Figura 29. Manguera reparada y con pistola para evitar y controlar el desperdicio de agua**

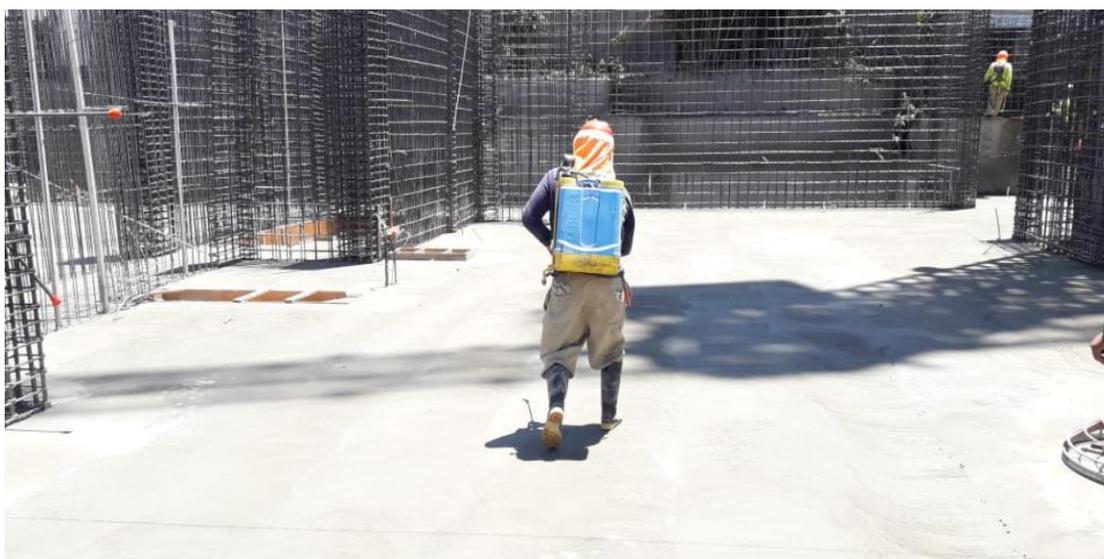
**Fuente: EVCO, 2020**

2. Uso de curador químico (Impercure de Impersa) para los elementos de concreto en lugar de agua, promoviendo el ahorro de agua potable.



**Figura 30. Curador IMPERCURE sin membrana para concreto utilizado en proyecto Torre Las Loras**

**Fuente: Impersa, 2020**



**Figura 31. Aplicación de curador químico para concreto en proyecto Torre Las Loras**

**Fuente: EVCO, 2020**

3. Colocar llaves tipo "push" para los lavatorios del proyecto y regular el caudal.



**Figura 32. Empleo de llaves tipo "push" en lavatorios del proyecto Torre Las Loras**

**Fuente: EVCO, 2020**

4. Uso de cabañas sanitarias en las primeras etapas del proyecto y solicitar al proveedor la certificación del tratamiento de desechos.



**Figura 33. Cabañas sanitarias utilizadas en el proyecto Torre Las Loras**

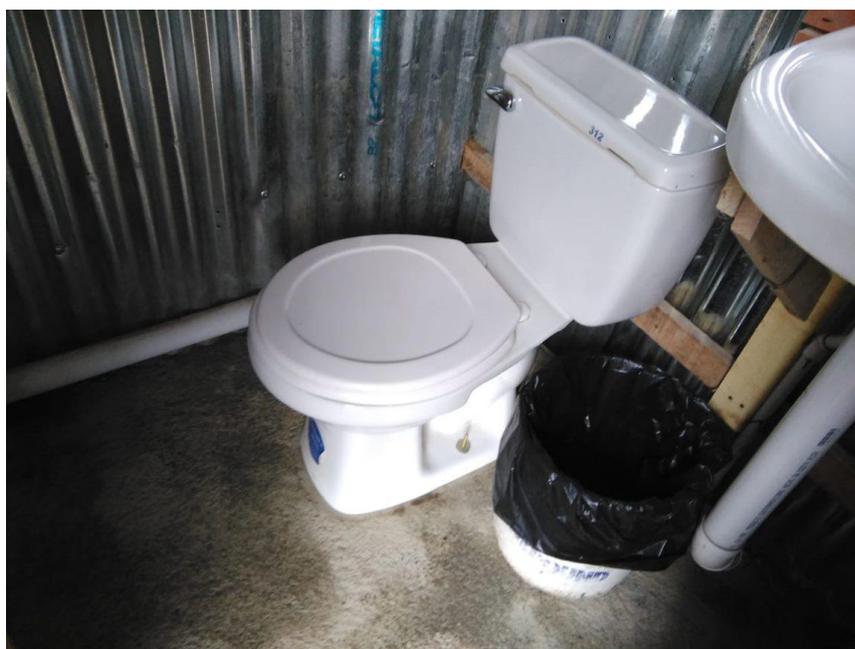
**Fuente: EVCO, 2020**



**Figura 34. Limpieza de cabañas sanitarias del proyecto Torre Las Loras**

**Fuente: EVCO, 2020**

5. Construcción de baterías de baños con inodoros de bajo consumo de agua y conectar a la red de alcantarillado sanitario.



**Figura 35. Inodoro de bajo consumo instalado en el proyecto Torre Las Loras**

**Fuente: EVCO, 2020**

Como se mencionó anteriormente, se obtuvo la información completa para toda la etapa de obra gris del proyecto, ya que comprendió desde el mes de enero hasta setiembre. Los datos tomados entre enero y julio del 2020 fueron tomados directamente de los recibos mensuales del AyA recibidos por los encargados del proyecto, así como del registro de coladas de concreto para el análisis por niveles. A partir del mes de agosto, se realizaron registros semanales del medidor del proyecto, el cual se muestra en la Figura 36 a manera de ejemplo.

Tomando en consideración la planificación semanal del proyecto, se establecieron las actividades realizadas en cada semana en la sección de datos de entrada de la herramienta de análisis de datos creada para la metodología, los cuales se muestran por completo en el Anexo 3.



**Figura 36. Medidor de agua del proyecto Torre Las Loras**

En el Cuadro 8 se muestran las fechas de inicio y de final establecidas para cada nivel según lo explicado en el Capítulo 3 para la definición de las fechas según la metodología elaborada. Así mismo, se muestra el área de la huella de cada nivel y el porcentaje de avance que corresponde a cada uno.

**Cuadro 8. Áreas, fechas de inicio y final y porcentaje de avance para cada nivel del proyecto Torre Las Loras**

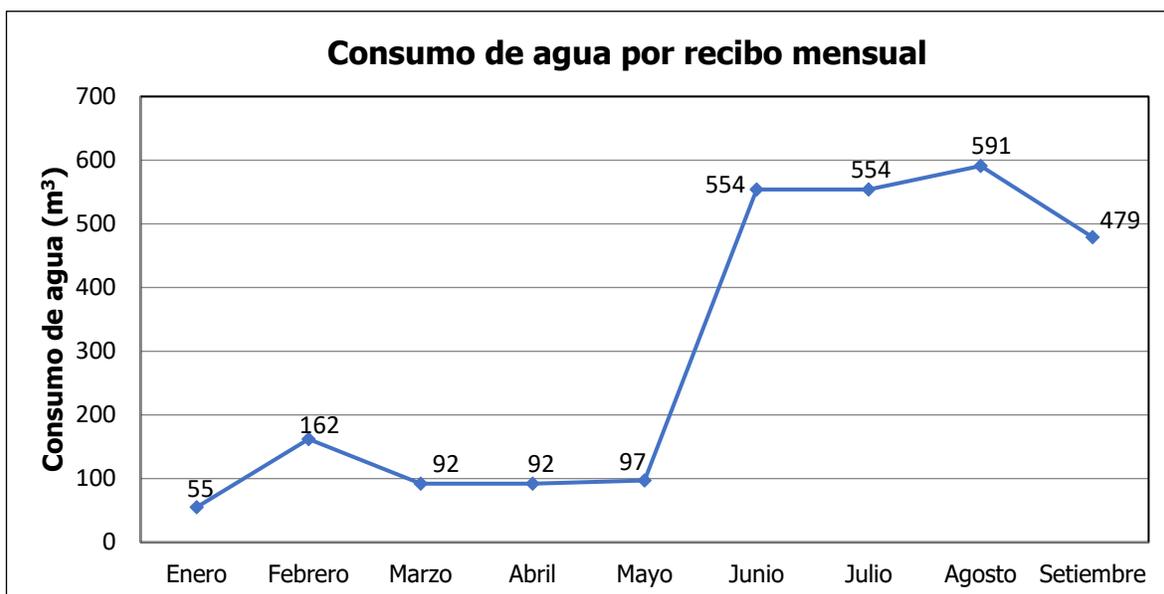
Nivel	Área Nivel (m <sup>2</sup> )	Fecha de Inicio de Nivel	Fecha Final de Nivel	% avance	% avance acumulado
C	1383	04/01/2020	12/03/2020	9%	9%
S1	1217	15/01/2020	04/04/2020	8%	17%
N1	1217	26/02/2020	26/03/2020	8%	25%
N2	1013	27/03/2020	21/04/2020	7%	32%
N3	1023	22/04/2020	12/05/2020	7%	39%
N4	1296	11/05/2020	29/05/2020	9%	47%
N5	1471	25/05/2020	25/06/2020	10%	57%
N6	1347	12/06/2020	30/06/2020	9%	66%
N7	861	26/06/2020	09/07/2020	6%	72%
N8	861	08/07/2020	01/08/2020	6%	77%
N9	861	30/07/2020	10/08/2020	6%	83%
N10	861	11/08/2020	21/08/2020	6%	89%
N11	861	22/08/2020	08/09/2020	6%	94%
A	835	09/09/2020	10/09/2020	6%	100%

Además, como se muestra en el Cuadro 8, en el periodo de tiempo de la recolección de datos semanales, los niveles en construcción eran del 8 al 11 y la azotea del edificio. El consumo de agua en el concreto para estos niveles fue obtenido del registro de coladas de concreto que se actualizaba a medida que avanzaba el proyecto.

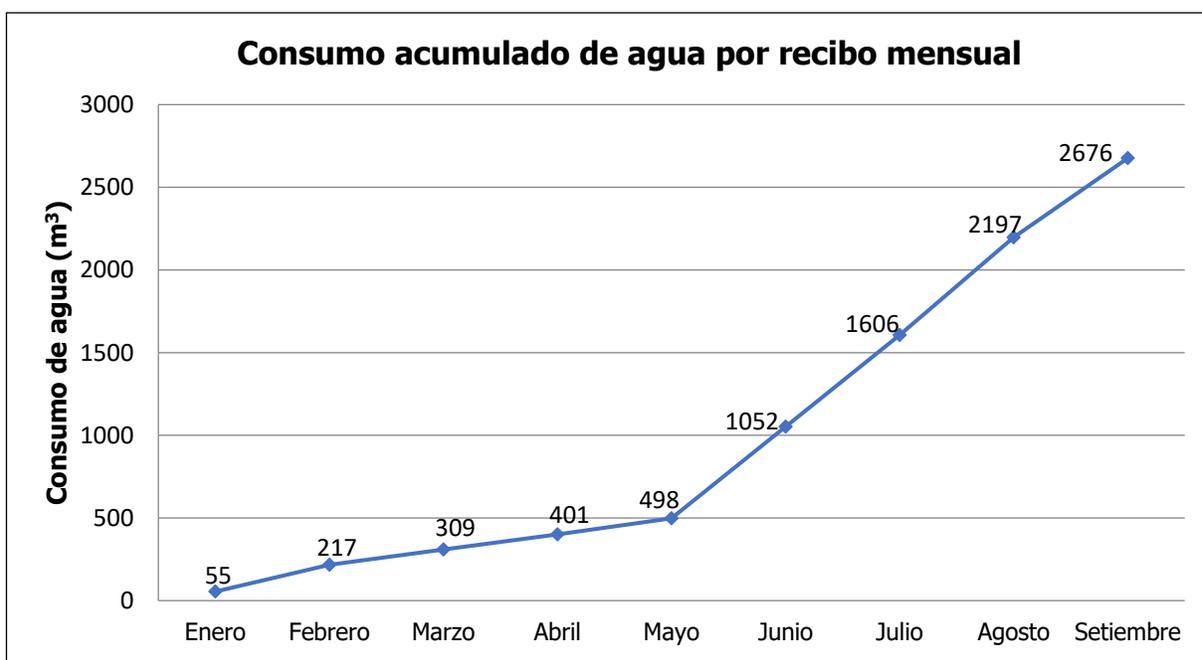
En el Cuadro 9 se muestra el resumen de los resultados para el análisis mensual para el consumo según medidor, tomando en cuenta la reconstrucción de datos que se realizó a partir de los recibos mensuales y las lecturas tomadas al medidor. Así mismo, en las Figuras 37 y 38 se representan de manera visual los datos mostrados en el cuadro.

**Cuadro 9. Resultados de consumos mensuales según medidor del proyecto Torre Las Loras**

Año	Mes	Consumo Mensual por medidor (m <sup>3</sup> )	Consumo Mensual por medidor Acumulado (m <sup>3</sup> )
2020	1	Enero	55
	2	Febrero	162
	3	Marzo	92
	4	Abril	92
	5	Mayo	97
	6	Junio	554
	7	Julio	554
	8	Agosto	591
	9	Setiembre	479
			2676



**Figura 37. Gráfico del consumo de agua por recibos mensuales para Torre Las Loras**



**Figura 38. Gráfico del consumo acumulado de agua por recibos mensuales para Torre Las Loras**

En la Figura 37 se puede observar un aumento desproporcionado en el consumo de agua en el mes de junio y luego en los meses siguientes el consumo se mantuvo en ese mismo rango. Al preguntar al personal encargado del proyecto, no se llegó a una conclusión exacta del motivo del aumento, sin embargo, se pensaron en varias teorías del aumento.

Durante los meses de mayo, junio y julio, el AyA sufrió una sobrefacturación en sus recibos que afectó a la mayoría de la población. Asimismo, durante los meses de marzo y abril, debido a la situación de la pandemia del COVID-19 que afectó al país, los funcionarios de la institución dejaron de realizar lecturas en los medidores y utilizaron cobros estimados por debajo del consumo real de agua. No obstante, al realizar las lecturas del mes de mayo y de junio, contemplaron todo el sobreconsumo de los dos meses anteriores (Rodríguez, 2020). Además, durante este periodo, no se realizaron lecturas del medidor por parte de la empresa constructora.

Durante el mes de mayo y junio, se estaban realizando actividades de obra gris para dos niveles en paralelo únicamente, por lo cual el aumento considerado para el trabajo que involucra consumo de agua directamente desde el medidor no justifica el aumento que se dio.

Inclusive, debido a la situación de la pandemia, en el mes de julio las construcciones tuvieron que parar obras durante una semana, la cual no se consideró dentro de los cálculos ni como parte del tiempo bruto de construcción, no obstante, en el mes de julio el recibo indicaba el mismo consumo del mes anterior, por lo cual existe la posibilidad de que existiese una sobrefacturación producto del error de la compañía encargada.

A pesar de ello, no fue posible comprobar el error, ya que el AyA solo reembolsó económicamente el sobreconsumo, no así del consumo real de agua en los casos en que se presentó el problema, sin embargo, se plantea una corrección de los datos para estimar una aproximación del consumo real de agua.

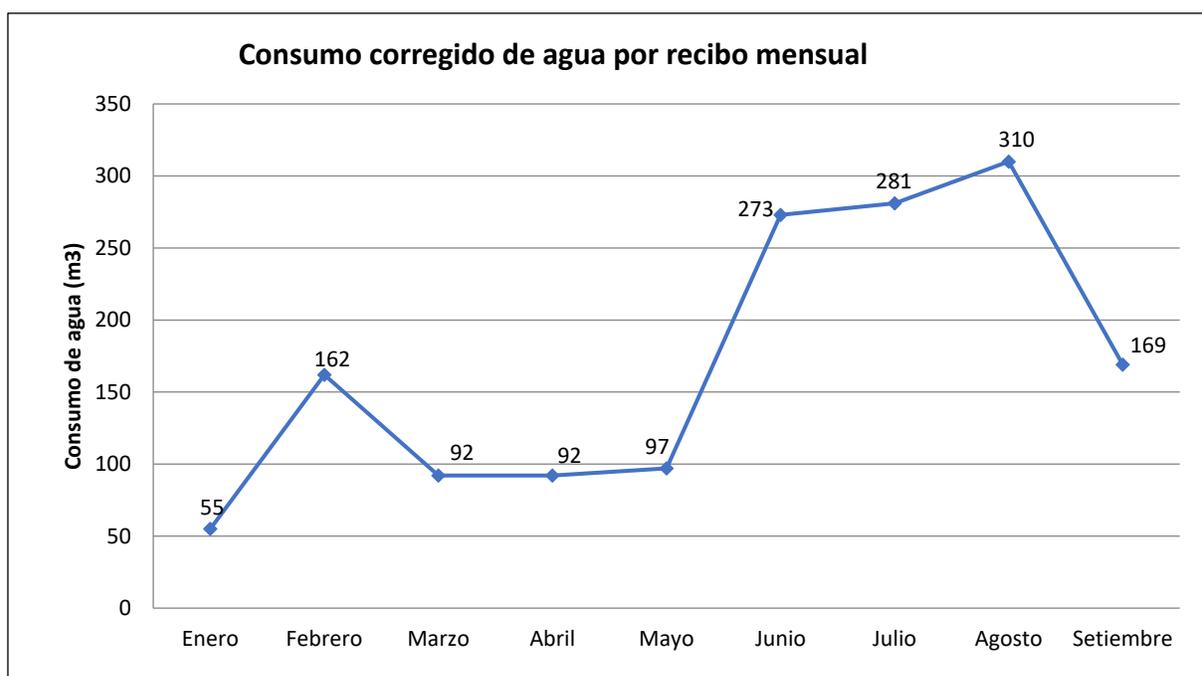
La corrección se realizó a partir de la resta del valor tomado directamente del medidor para el mes de junio ( $554 \text{ m}^3$ ) y el valor tomado para los meses de marzo, abril y mayo ( $92 \text{ m}^3$ ,  $92 \text{ m}^3$  y  $97 \text{ m}^3$  respectivamente), el cual da como resultado el consumo corregido aproximado para el mes de junio ( $273 \text{ m}^3$ ).

Asimismo, para el consumo corregido del mes de julio, se tomó el valor del medidor ( $554 \text{ m}^3$ ) y se le restó el valor obtenido de la corrección para el mes de junio. El proceso se realizó de manera acumulada para los meses siguientes.

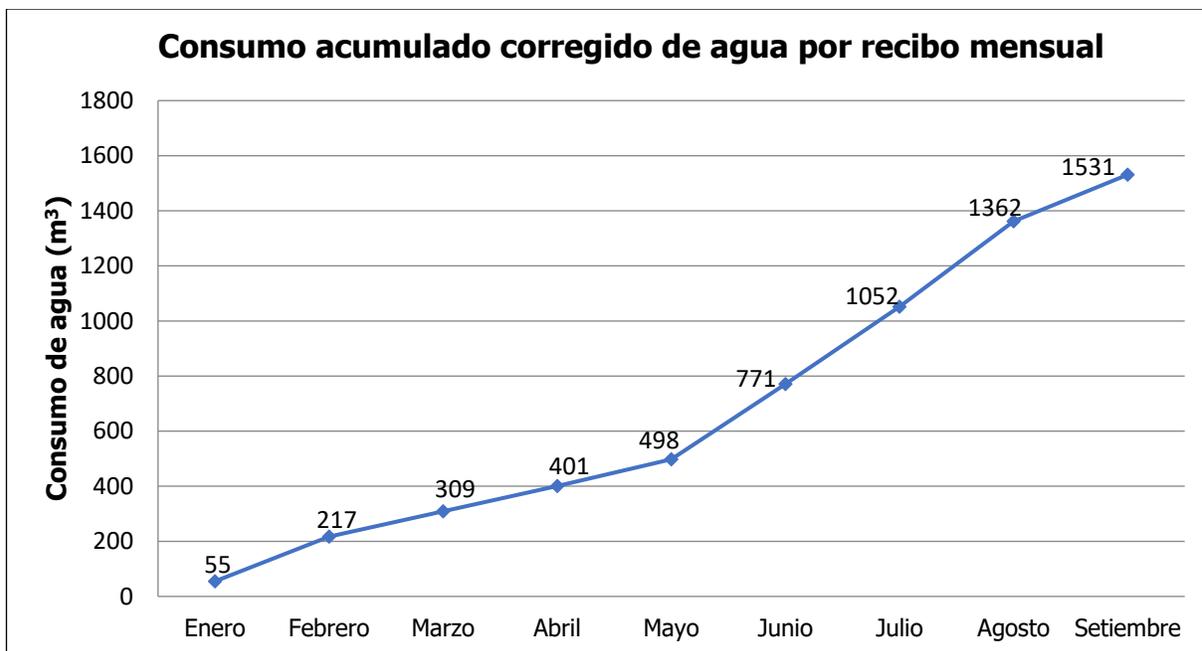
En el Cuadro 10 se muestran los datos corregidos resaltados en negrita, mientras que en las Figuras 39 y 40 se presentan en manera de gráficos.

**Cuadro 10. Resultados corregidos de consumos mensuales según medidor del proyecto Torre Las Loras**

Año	Mes	Consumo Mensual por medidor (m <sup>3</sup> )	Consumo Mensual por medidor Acumulado (m <sup>3</sup> )	
2020	1	Enero	55	55
	2	Febrero	162	217
	3	Marzo	92	309
	4	Abril	92	401
	5	Mayo	97	498
	6	Junio	<b>273</b>	<b>771</b>
	7	Julio	<b>281</b>	<b>1052</b>
	8	Agosto	<b>310</b>	<b>1362</b>
	9	Setiembre	<b>169</b>	<b>1531</b>



**Figura 39. Gráfico del consumo corregido de agua por recibos mensuales para Torre Las Loras**



**Figura 40. Gráfico del consumo acumulado corregido de agua por recibos mensuales para Torre Las Loras**

Para evitar en aplicaciones futuras de la metodología el error que se presentó, se puede considerar contar con un medidor propio del proyecto, colocado por la empresa constructora a cargo, para llevar el registro del consumo por cuenta propia y así poder compararse con los recibos mensuales de la compañía encargada del suministro de agua.

Asimismo, es recomendable llevar el control en periodos cortos, por ejemplo, cada semana, con el fin de determinar las fuentes de aumentos o disminuciones en el consumo de una manera más precisa tomando en cuenta las actividades que se realicen durante ese periodo y lograr una acción correctiva eficiente.

Para el análisis por niveles se utilizaron los datos no corregidos para el consumo según medidor, con el fin de tomar en consideración la información encontrada para el análisis y no las suposiciones realizadas. En el Cuadro 11 se muestra la sección de consumo según mes y días de tiempo bruto de construcción tomados en cuenta para la construcción de cada nivel, según la metodología establecida. Realizando la distribución de consumos de cada mes a cada nivel, se obtuvieron los resultados mostrados en el Cuadro 12 para determinar el subtotal del consumo según medidor para cada nivel.

**Cuadro 11. Tiempo bruto de construcción y consumos por medidor mensuales para cada nivel en proyecto Torre Las Loras**

Nivel	Consumo por medidor Mes 1 (m <sup>3</sup> )	Consumo por medidor Mes 2 (m <sup>3</sup> )	Consumo por medidor Mes 3 (m <sup>3</sup> )	Días Mes 1	Días Mes 2	Días Mes 3	Tiempo bruto de construcción
C	55	162	92	28	29	12	69
S1	55	162	92	17	29	31	77
N1	162	92	0	4	26	0	30
N2	92	92	0	5	21	0	26
N3	92	97	0	9	12	0	21
N4	97	0	0	19	0	0	19
N5	97	554	0	7	19	0	26
N6	554	0	0	19	0	0	19
N7	554	554	0	5	9	0	14
N8	554	591	0	11	1	0	12
N9	554	591	0	2	10	0	12
N10	591	0	0	11	0	0	11
N11	591	479	0	9	8	0	17
A	479	0	0	2	0	0	2

**Cuadro 12. Porcentajes de distribución y consumos de agua según medidor para cada nivel en proyecto Torre Las Loras**

Nivel	% Construido Mes 1	% Construido Mes 2	% Construido Mes 3	Consumo Nivel Mes 1 (m <sup>3</sup> )	Consumo Nivel Mes 2 (m <sup>3</sup> )	Consumo Nivel Mes 3 (m <sup>3</sup> )	Subtotal Consumo por medidor (m <sup>3</sup> )
C	62.22%	46.77%	16.22%	34.22	75.77	14.92	124.92
S1	37.78%	46.77%	41.89%	20.78	75.77	38.54	145.92
N1	6.45%	35.14%	-	10.45	32.32	-	42.78
N2	6.76%	61.76%	-	6.22	56.82	-	63.04
N3	26.47%	31.58%	-	24.35	30.63	-	54.98
N4	50.00%	-	-	48.50	-	-	48.50
N5	18.42%	44.19%	-	17.87	244.79	-	262.66
N6	44.19%	-	-	244.79	-	-	244.79
N7	11.63%	40.91%	-	64.42	226.64	-	291.05
N8	50.00%	3.23%	-	277.00	19.06	-	296.06
N9	9.09%	32.26%	-	50.36	190.65	-	241.01
N10	35.48%	-	-	209.71	-	-	209.71
N11	29.03%	26.67%	-	171.58	127.73	-	299.31
A	6.67%	-	-	31.93	-	-	31.93

El proyecto utilizó concreto premezclado producido por la Concretera Nacional, donde se utilizaron 2 tipos distintos de concreto con resistencia a la compresión a los 28 días de 210 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup>, los cuales utilizaron proporciones diferentes de agua para su elaboración y fabricación.

En el caso del concreto colado con resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, según el diseño de mezcla se consume 0.199 m<sup>3</sup> de agua por cada metro cúbico de concreto, mientras que para el concreto con resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup>, la proporción corresponde a 0.231 m<sup>3</sup> de agua por metro cúbico de concreto.

Por este motivo, se realizó el cálculo del agua adherida al concreto según la cantidad colada para cada resistencia en cada nivel, como se muestra en los Cuadros 13 y 14.

**Cuadro 13. Cantidad de concreto colado con resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup> y consumo de agua adherida al concreto para cada nivel en proyecto Torre Las Loras**

Nivel	Tipo de Concreto	Volumen concreto colado (m <sup>3</sup> )	Agua diseño de mezcla (m <sup>3</sup> agua/m <sup>3</sup> concreto)	Subtotal Consumo en el Concreto (m <sup>3</sup> )
C	Premezclado	864.50	0.231	199.70
S1	Premezclado	206.50	0.231	47.70
N1	Premezclado	234.00	0.231	54.05
N2	Premezclado	243.00	0.231	56.13
N3	Premezclado	295.50	0.231	68.26
N4	Premezclado	217.00	0.231	50.13
N5	Premezclado	236.00	0.231	54.52
N6	Premezclado	119.00	0.231	27.49
N7	Premezclado	100.50	0.231	23.22
N8	Premezclado	93.50	0.231	21.60
N9	Premezclado	99.50	0.231	22.98
N10	Premezclado	94.00	0.231	21.71
N11	Premezclado	99.00	0.231	22.87
A	Premezclado	0.00	0.231	0.00

**Cuadro 14. Cantidad de concreto colado con resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> y consumo de agua adherida al concreto para cada nivel en proyecto Torre Las Loras**

Nivel	Tipo de Concreto	Volumen concreto colado (m <sup>3</sup> )	Agua diseño de mezcla (m <sup>3</sup> agua/m <sup>3</sup> concreto)	Subtotal Consumo en el Concreto (m <sup>3</sup> )
C	Premezclado	0.00	0.199	0.00
S1	Premezclado	245.00	0.199	48.76
N1	Premezclado	240.00	0.199	47.76
N2	Premezclado	223.50	0.199	44.48
N3	Premezclado	258.50	0.199	51.44
N4	Premezclado	312.00	0.199	62.09
N5	Premezclado	285.00	0.199	56.72
N6	Premezclado	170.50	0.199	33.93
N7	Premezclado	179.50	0.199	35.72
N8	Premezclado	180.50	0.199	35.92
N9	Premezclado	0.00	0.199	0.00
N10	Premezclado	96.00	0.199	19.10
N11	Premezclado	177.00	0.199	35.22
A	Premezclado	204.50	0.199	47.24

Finalmente, sumando los subtotales mostrados en los cuadros anteriores se pueden obtener los resultados para el consumo total, consumo acumulado, consumo unitario y consumo unitario acumulado en cada nivel del proyecto Torre Las Loras, los cuales se muestran en el Cuadro 15.

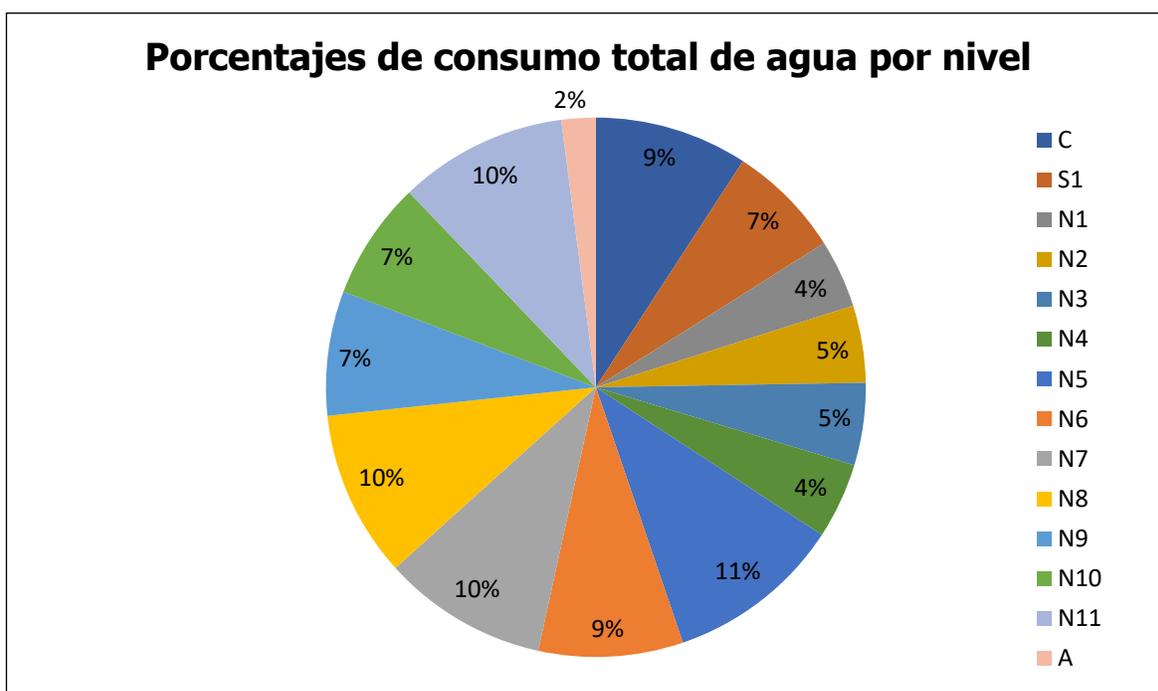
**Cuadro 15. Resultados finales para el análisis del consumo de agua por niveles para el proyecto Torre Las Loras**

Nivel	Consumo Total Agua (m <sup>3</sup> )	Consumo Acumulado (m <sup>3</sup> )	Consumo Unitario (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Consumo Unitario Acumulado (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
C	324.61	324.61	0.23	0.23
S1	250.21	574.83	0.18	0.42
N1	152.27	727.10	0.13	0.54
N2	170.80	897.90	0.14	0.68
N3	182.96	1080.86	0.18	0.86
N4	170.70	1251.56	0.17	1.03
N5	383.01	1634.57	0.30	1.32
N6	311.67	1946.23	0.21	1.54
N7	355.73	2301.97	0.26	1.80
N8	359.36	2661.32	0.42	2.22
N9	304.88	2966.21	0.35	2.57
N10	271.16	3237.36	0.31	2.89
N11	363.07	3600.43	0.42	3.31
A	79.17	3679.60	0.09	3.40

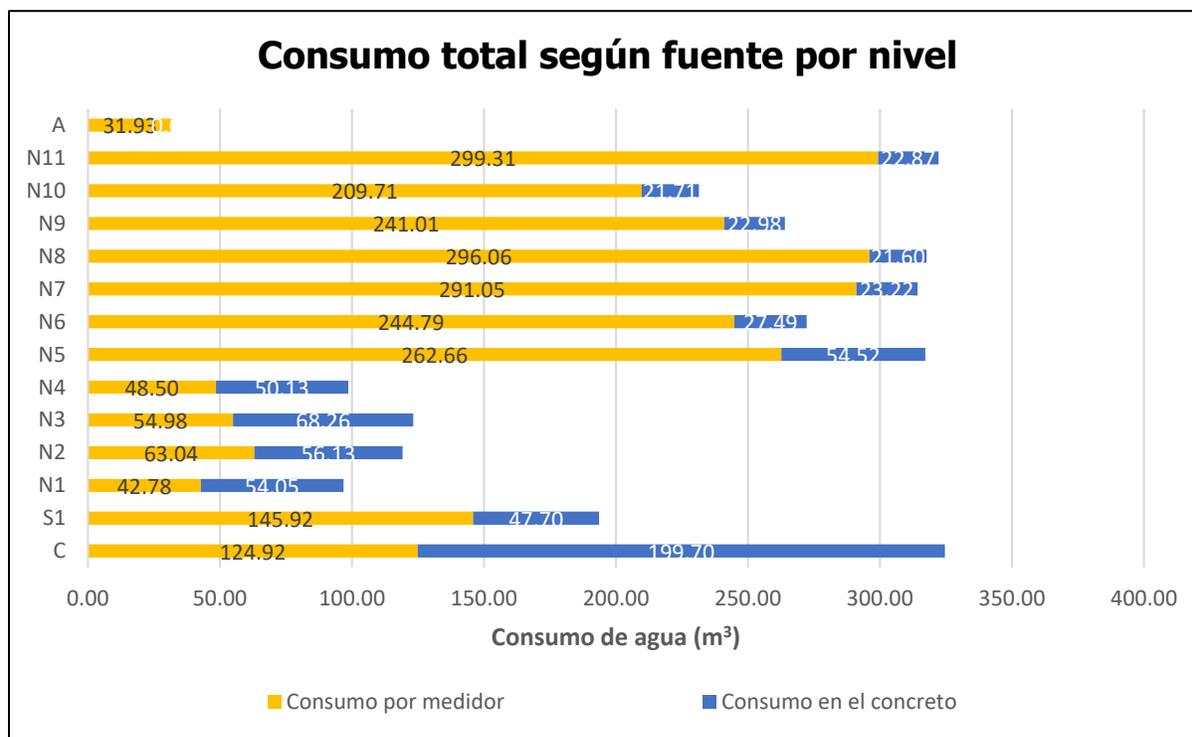
Para una mejor visualización de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología, se presentan los siguientes gráficos. En la Figura 41 se muestra un gráfico que permite visualizar los porcentajes de consumo total de agua por nivel, para determinar el nivel en el que se consumió más agua.

En la Figura 42 se muestra un gráfico que separa el consumo total según su fuente, ya sea del obtenido por el medidor como el adherido al concreto, mientras que en la Figura 43 se muestra un gráfico de barras mostrando el consumo total en metros cúbicos de agua para cada nivel y en la Figura 44 se muestra el consumo acumulado.

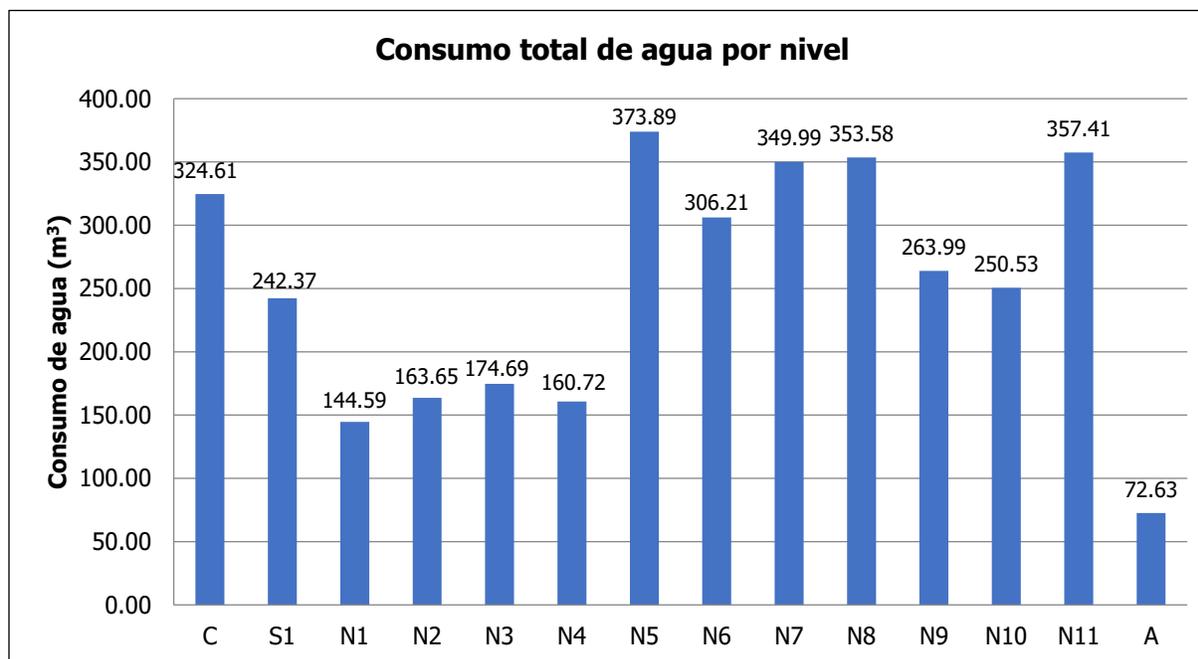
Como se observa en las figuras, se puede decir que los niveles 5, 7, 8 y 11, así como la cimentación, fueron los niveles en que más agua se consumió. En cuanto a duración y al área de cada nivel, la cimentación y el nivel 5 fueron los de mayor extensión, mientras que en los niveles 7, 8 y 11 el factor de error del sobreconsumo pudo afectar. No obstante, se puede observar que estos niveles fueron los de mayor concreto colado y, por ende, de mayor consumo de agua adherida al concreto.



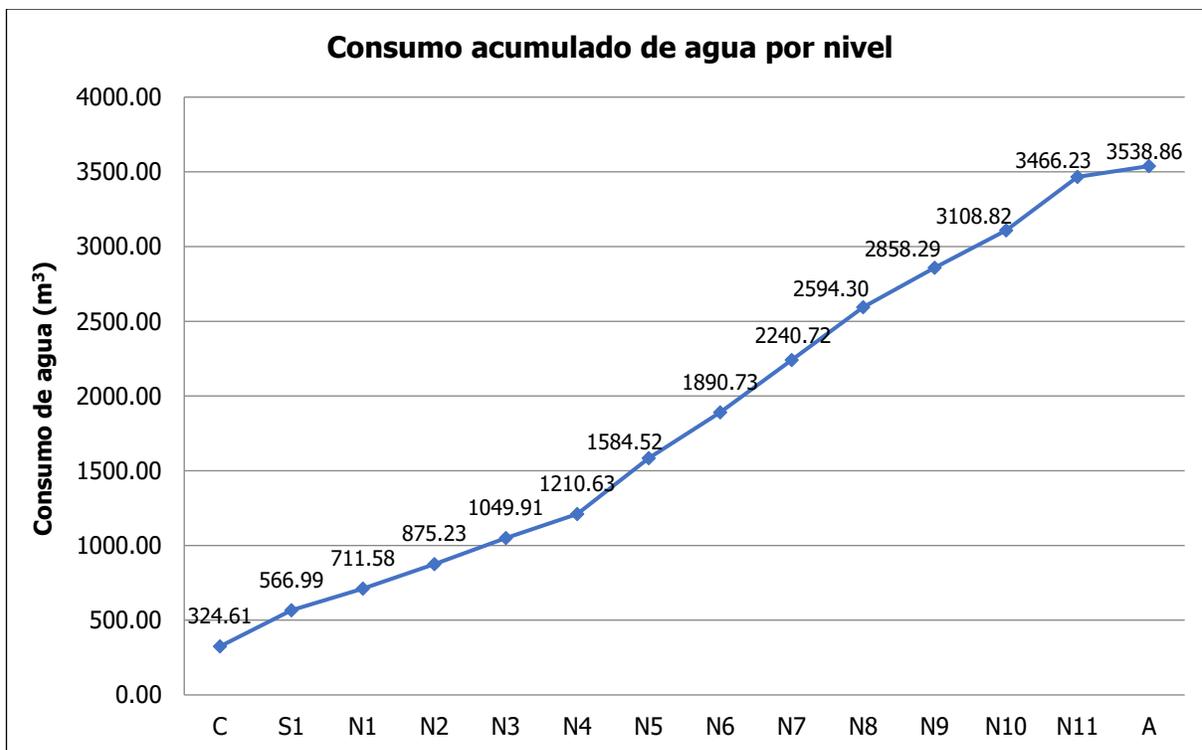
**Figura 41. Gráfico del porcentaje de consumo total de agua para cada nivel en Torre Las Loras**



**Figura 42. Gráfico de consumo total de agua según fuente para cada nivel en Torre Las Loras**

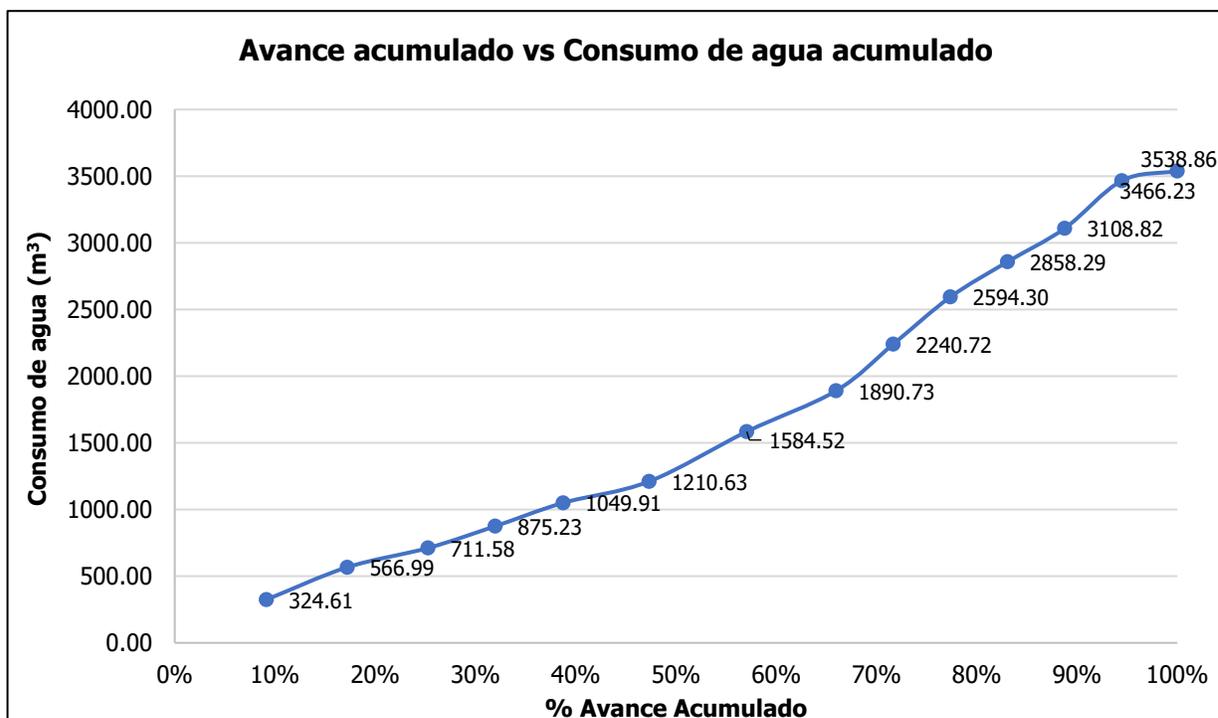


**Figura 43. Gráfico de consumo total de agua por nivel en Torre Las Loras**



**Figura 44. Gráfico de consumo acumulado de agua por nivel en Torre Las Loras**

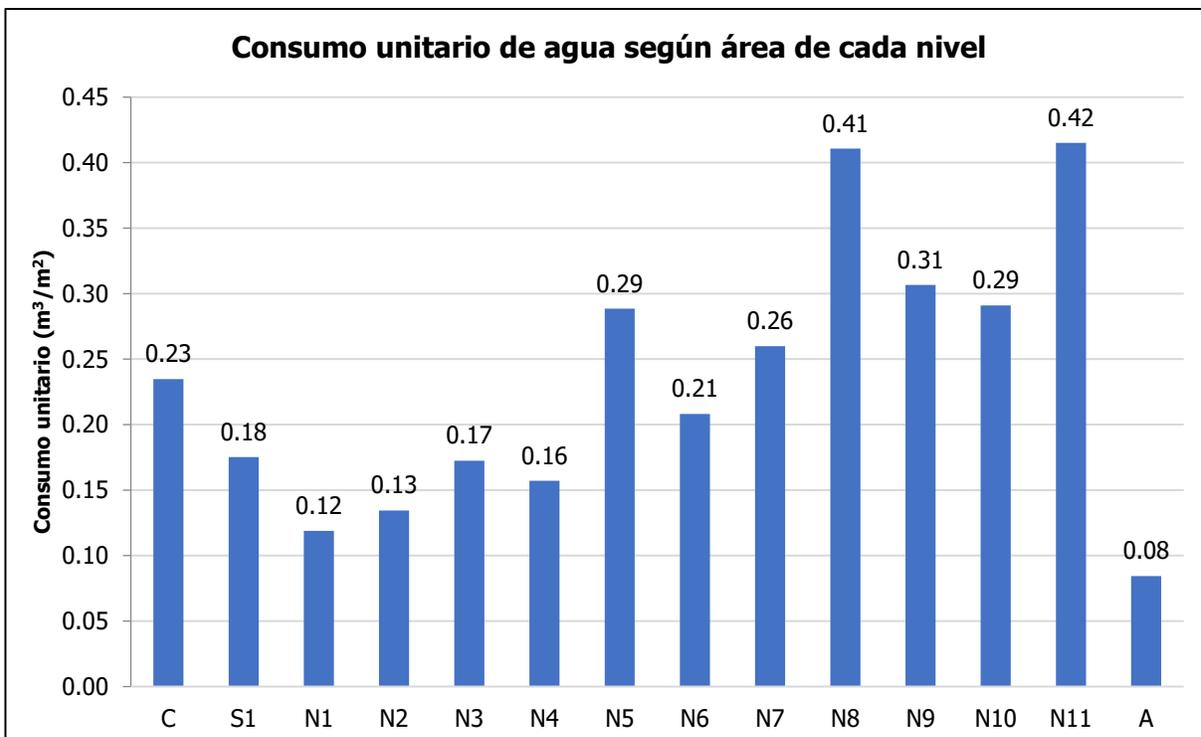
En la Figura 45 se observa un gráfico que compara el consumo total del agua con respecto al avance de obra, tomando en cuenta únicamente la etapa de obra gris. La gráfica muestra el comportamiento del consumo conforme avanza la construcción, el cual aumenta en proporciones similares. Este tipo de gráficas puede ser útil para la comparación de un proyecto con otros tipos de proyectos, tomando en consideración construcciones horizontales, de infraestructura, entre otros.



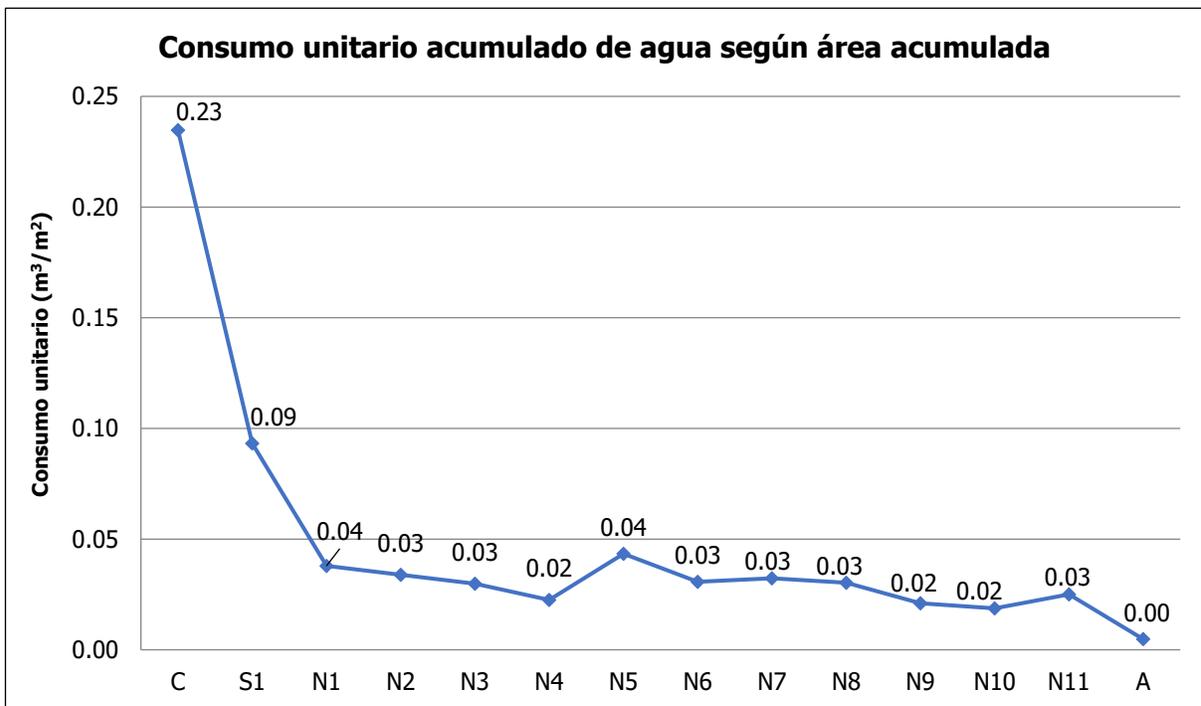
**Figura 45. Gráfico de consumo acumulado de agua con respecto al porcentaje de avance de obra gris en Torre Las Loras**

Finalmente, los consumos unitarios de agua en cada nivel también pueden ser útiles en la comparación con otros proyectos, al tomar en consideración el área de cada nivel como un factor a considerar.

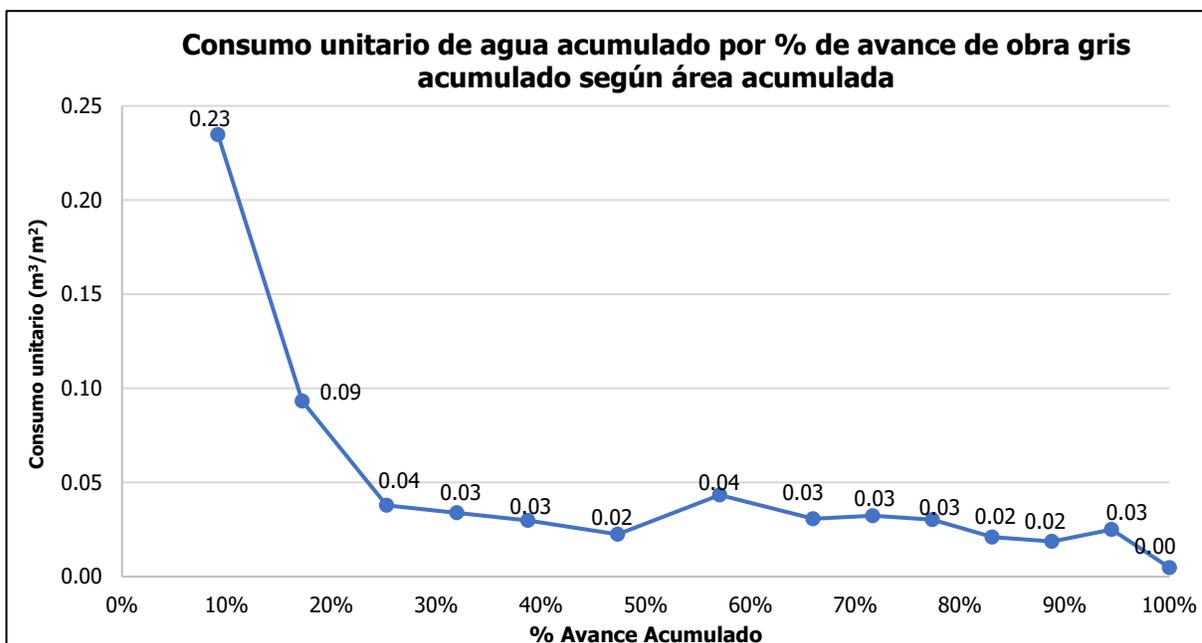
En las Figuras 46, 47 y 48 se muestra el consumo unitario total de agua, el consumo unitario acumulado para cada nivel y el consumo unitario acumulado con respecto al avance de obra gris, respectivamente, para el caso del análisis por área de cada nivel. Mientras tanto, en las Figuras 49, 50 y 51 se presentan el mismo tipo de gráficos para el caso de los consumos unitarios según la cantidad de concreto colado por nivel.



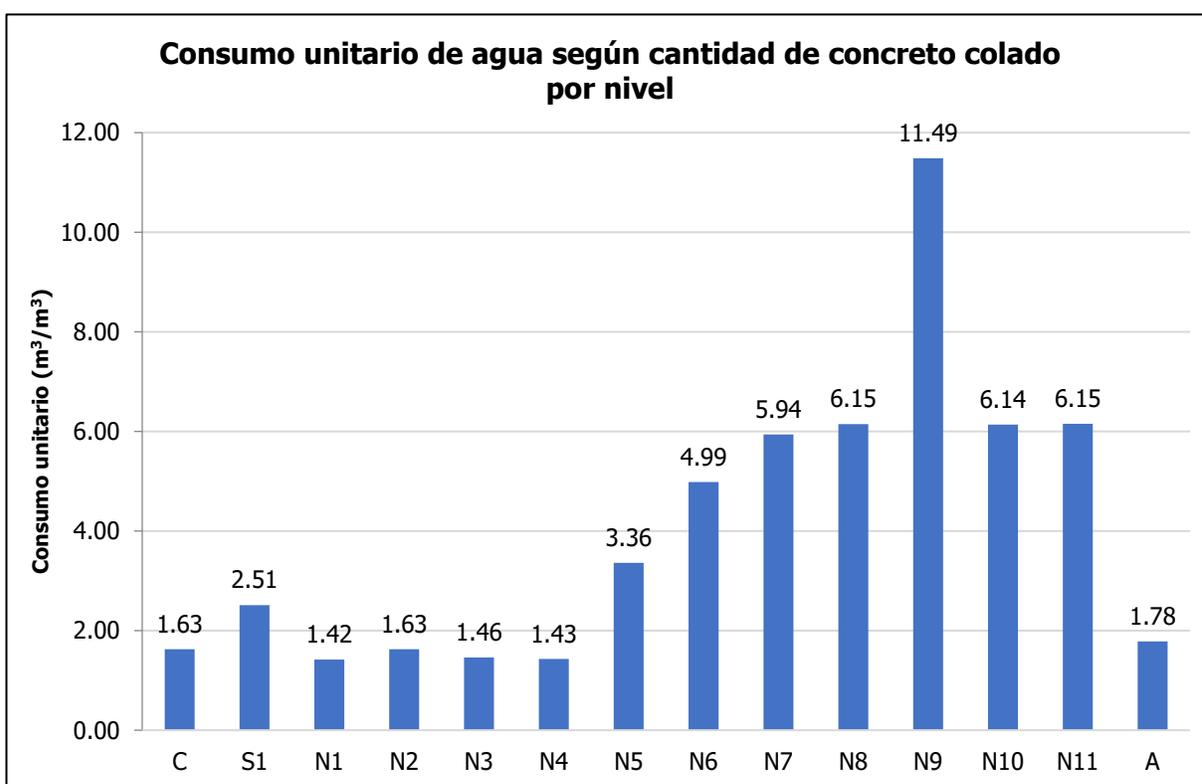
**Figura 46. Gráfico de consumo unitario de agua según área de cada nivel en Torre Las Loras**



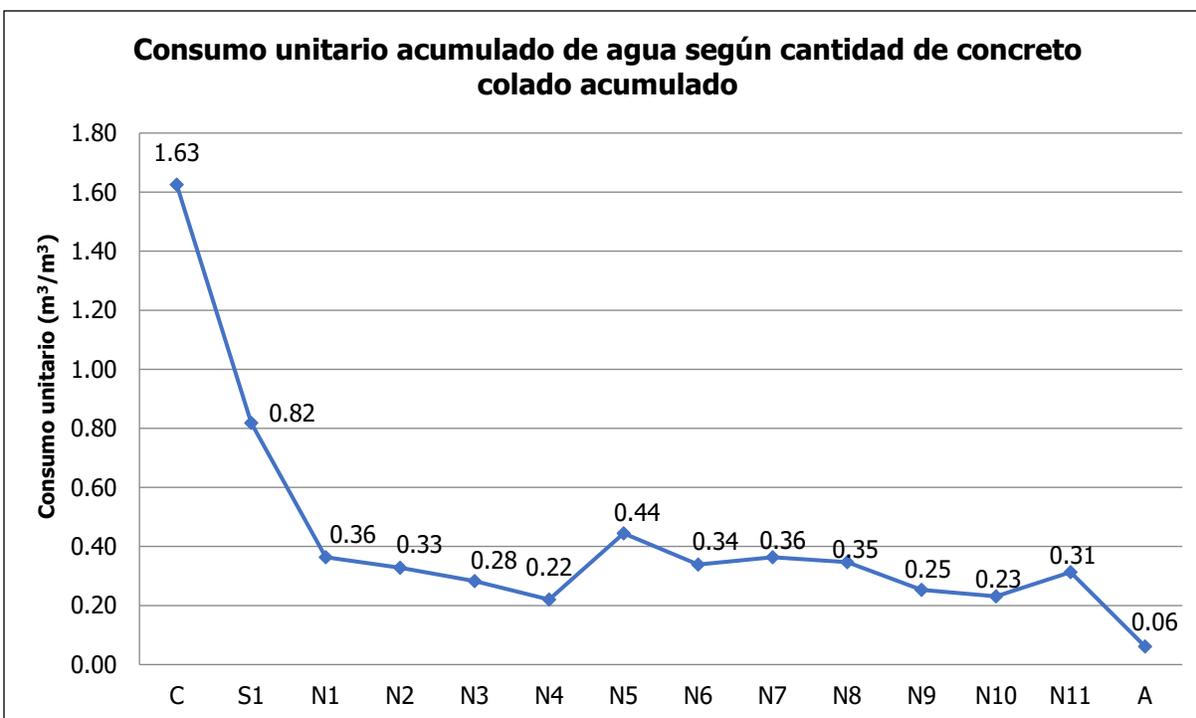
**Figura 47. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua según área acumulada en Torre Las Loras**



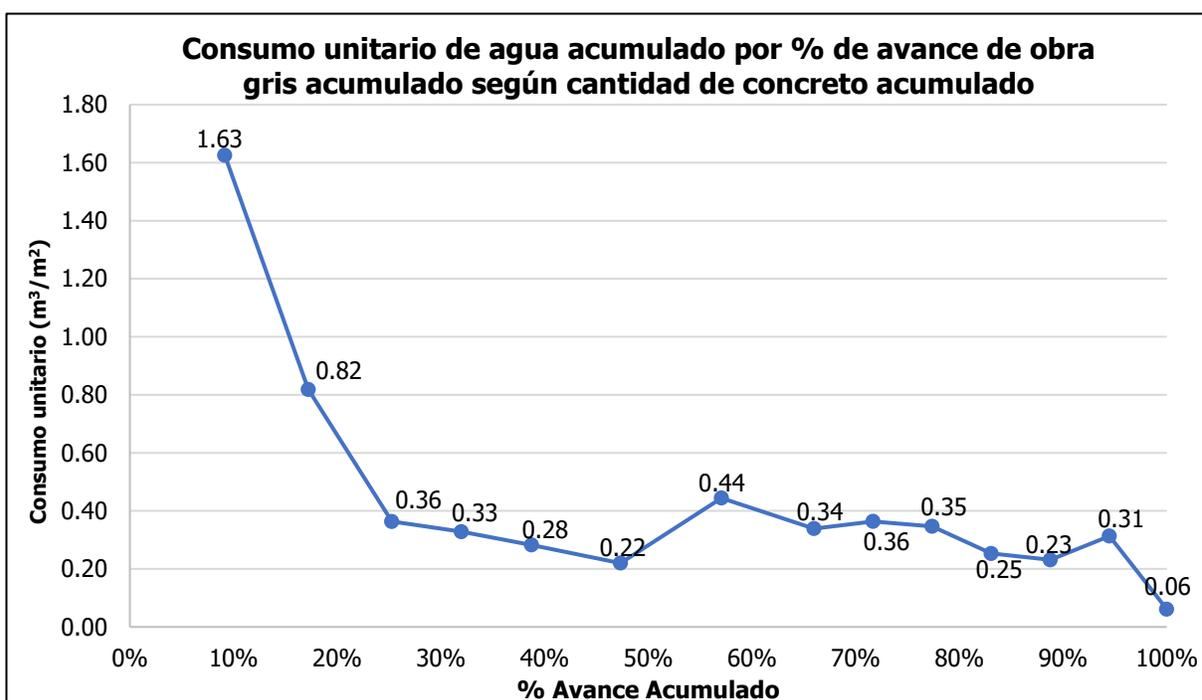
**Figura 48. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua con respecto al porcentaje de avance de obra gris según área acumulada en Torre Las Loras**



**Figura 49. Gráfico de consumo unitario de agua según cantidad de concreto colado por nivel en Torre Las Loras**



**Figura 50. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua según cantidad de concreto colado acumulado en Torre Las Loras**



**Figura 51. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua con respecto al porcentaje de avance de obra gris según cantidad de concreto acumulado en Torre Las Loras**

En el Cuadro 16 se muestra el registro de las lecturas semanales del medidor tomadas en el periodo de recolección de datos presenciales. El dato que el medidor muestra es un acumulado desde el momento de su instalación, por lo que el consumo real que se da en el periodo en que se analice es la resta entre lecturas consecutivas.

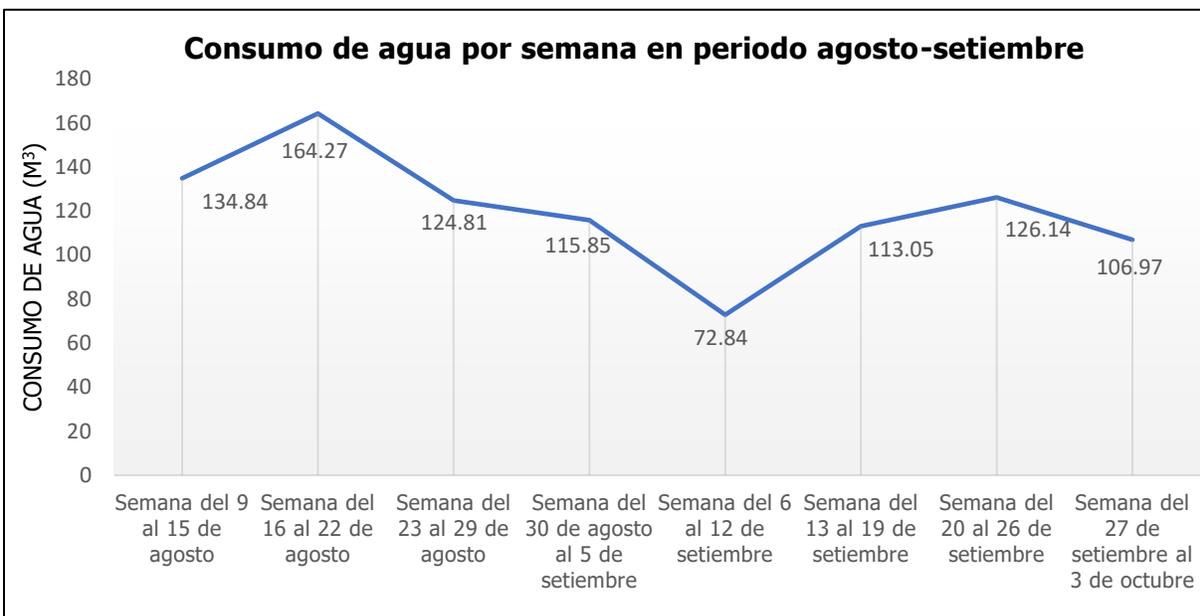
**Cuadro 16. Registro de datos semanales recolectados del medidor de agua del proyecto Torre Las Loras en el periodo agosto-setiembre del 2020**

Semana	Fecha de Visita	Lectura (m <sup>3</sup> )	Consumo (m <sup>3</sup> )
Semana del 2 al 8 de agosto	06/08/2020	1423.10	-
Semana del 9 al 15 de agosto	12/08/2020	1557.94	134.84
Semana del 16 al 22 de agosto	19/08/2020	1722.21	164.27
Semana del 23 al 29 de agosto	26/08/2020	1847.02	124.81
Semana del 30 de agosto al 5 de setiembre	01/09/2020	1962.87	115.85
Semana del 6 al 12 de setiembre	09/09/2020	2035.71	72.84
Semana del 13 al 19 de setiembre	17/09/2020	2148.76	113.05
Semana del 20 al 26 de setiembre	23/09/2020	2274.90	126.14
Semana del 27 de setiembre al 3 de octubre	30/09/2020	2381.87	106.97

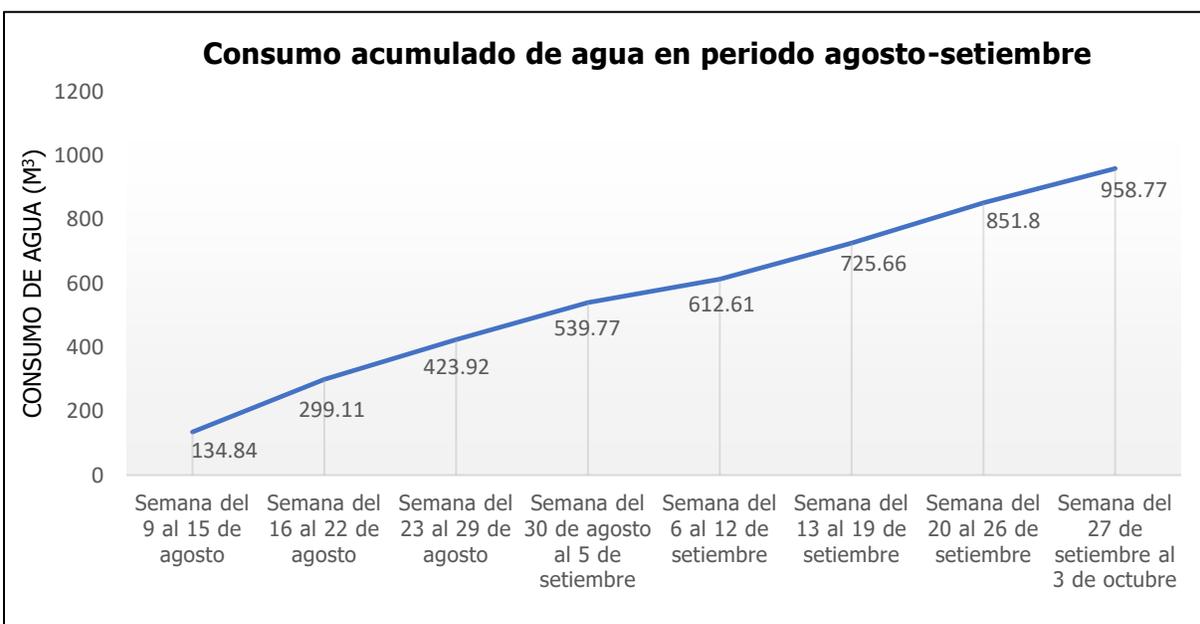
Para estos datos de consumo, se realizaron dos gráficos para visualizar el comportamiento en el periodo estudiado. En la Figura 52 se muestra el gráfico del consumo de agua según las lecturas tomadas, donde se puede observar que para las primeras 5 semanas, el consumo fue decreciendo, dado a que fueron las últimas semanas de trabajo para la etapa de obra gris.

Además, cabe resaltar que la semana en la que menos se consumió agua fue la misma semana en la que se terminó la etapa de obra gris en la azotea, la cual contaba con la menor área y la menor duración en su construcción. Al mismo tiempo, se estaban realizando actividades de acabados en paralelo en los niveles inferiores.

A partir de la sexta semana de datos recolectados, el uso se dio únicamente para actividades de obras externas complementarias y de la etapa de acabados, las cuales se encuentran fuera del alcance del presente trabajo. No obstante, en la Figura 53 se muestra el consumo acumulado de agua durante todo el periodo analizado.



**Figura 52. Gráfico del consumo de agua según las lecturas semanales recolectadas entre agosto a setiembre del 2020 para Torre Las Loras**



**Figura 53. Gráfico del consumo acumulado de agua según las lecturas semanales recolectadas entre agosto a setiembre del 2020 para Torre Las Loras**

## 4.2 Proyecto San Pedro Business Center

El proyecto San Pedro Business Center se ubica en San Pedro de Montes de Oca, continuo al Banco Nacional, como se observa en la Figura 54. El proyecto se encuentra en un área de 30 088 m<sup>2</sup> y consiste en un edificio de 11 niveles y dos sótanos, distribuido en tres zonas de uso: estacionamientos, comercio y oficinas.

La estructura se construyó a partir de muros y columnas de concreto reforzado, con losas en sistema postensado no adherido. El proyecto comenzó en enero de 2020 y su plazo estimado es de 13 meses, finalizando en febrero de 2021. Al 30 de setiembre de 2020, fecha de corte realizada para la recolección de datos del presente trabajo, la etapa de obra gris se encontraba a un 84% finalizada, ya que se habían terminado de construir los primeros 8 niveles y los dos sótanos y se encontraba el nivel 9 en el proceso de ejecución.

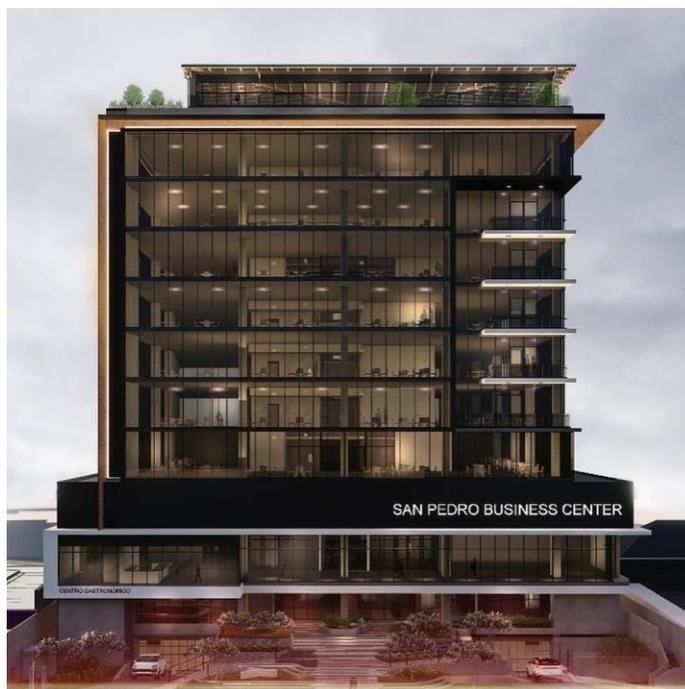


**Figura 54. Ubicación del proyecto de San Pedro Business Center**

**Fuente: San Pedro Business Center, 2020**

**Modificado por: Castillo, 2020**

En las Figuras 55 y 56 se muestra el modelo del edificio terminado, mientras que en la Figura 57 se muestra una fotografía de la estructura en el momento de su construcción, en agosto del 2020.



**Figura 55. Vista frontal del modelo de San Pedro Business Center**

**Fuente: San Pedro Business Center, 2020**



**Figura 56. Vista en isométrico del modelo de San Pedro Business Center**

**Fuente: San Pedro Business Center, 2020**



**Figura 57. Fotografía del proyecto San Pedro Business Center en su etapa de construcción**

Las medidas adoptadas en este proyecto para ahorrar o disminuir el consumo de agua durante su ejecución son las siguientes.

1. Uso de cabañas sanitarias durante los primeros meses del proyecto para ahorrar el agua que se hubiera gastado en las descargas de los inodoros.



**Figura 58. Cabañas sanitarias utilizadas en el proyecto San Pedro Business Center**

**Fuente: EVCO, 2020**

2. Uso de curador químico en vez de agua para el curado de los elementos de concreto.



**Figura 59. Aplicación de curador químico para concreto en proyecto San Pedro Business Center**

**Fuente: EVCO, 2020**

3. Uso de pistolas de rocío en mangueras para controlar la cantidad de agua empleada.



**Figura 60. Aplicación de curador químico para concreto en proyecto San Pedro Business Center**

**Fuente: EVCO, 2020**

4. Empleo de tanquetas para disminuir polvo en la fase de movimiento de tierras.



**Figura 61. Empleo de tanquetas para el control del polvo en el proyecto San Pedro Business Center**

**Fuente: EVCO, 2020**

5. Recolección de agua de lluvia (en época lluviosa), por medio de un tanque de 1000 L, al cual se le construyó un techo colector para canalizar el agua llovida. Cabe mencionar que el consumo de agua de lluvia no se contabilizó en el proyecto, pero esta fue utilizada para la limpieza de baños con inodoros u orinales.



**Figura 62. Tanque utilizado para la recolección de agua de lluvia en el proyecto San Pedro Business Center**

**Fuente: EVCO, 2020**

Como se mencionó anteriormente, se obtuvo la información completa para el 84% de la etapa de obra gris del proyecto, comprendido entre febrero y setiembre del 2020, donde se construyeron los dos sótanos y los primeros 8 niveles del edificio.

Los datos tomados entre enero y julio del 2020 fueron tomados directamente de los recibos mensuales del AyA recibidos por los encargados del proyecto, así como del registro de coladas de concreto para el análisis por niveles.

A partir del mes de agosto, se realizaron registros semanales del medidor del proyecto, el cual se muestra en la Figura 63 a manera de ejemplo.



**Figura 63. Medidor de agua del proyecto San Pedro Business Center**

En el Cuadro 17 se muestran las fechas de inicio y de final establecidas para cada nivel según lo explicado en el Capítulo 3 para la aplicación de la metodología creada. Además, se muestra el área de la huella de cada nivel y el porcentaje de avance que corresponde a cada uno.

Además, como se muestra en el Cuadro 17, en el periodo de tiempo de la recolección de datos semanales, los niveles en construcción eran del 5 al 8, entre los meses de agosto y setiembre. El consumo de agua en el concreto para estos niveles fue obtenido del registro de coladas de concreto que se actualizaba conforme avanzaba el proyecto.

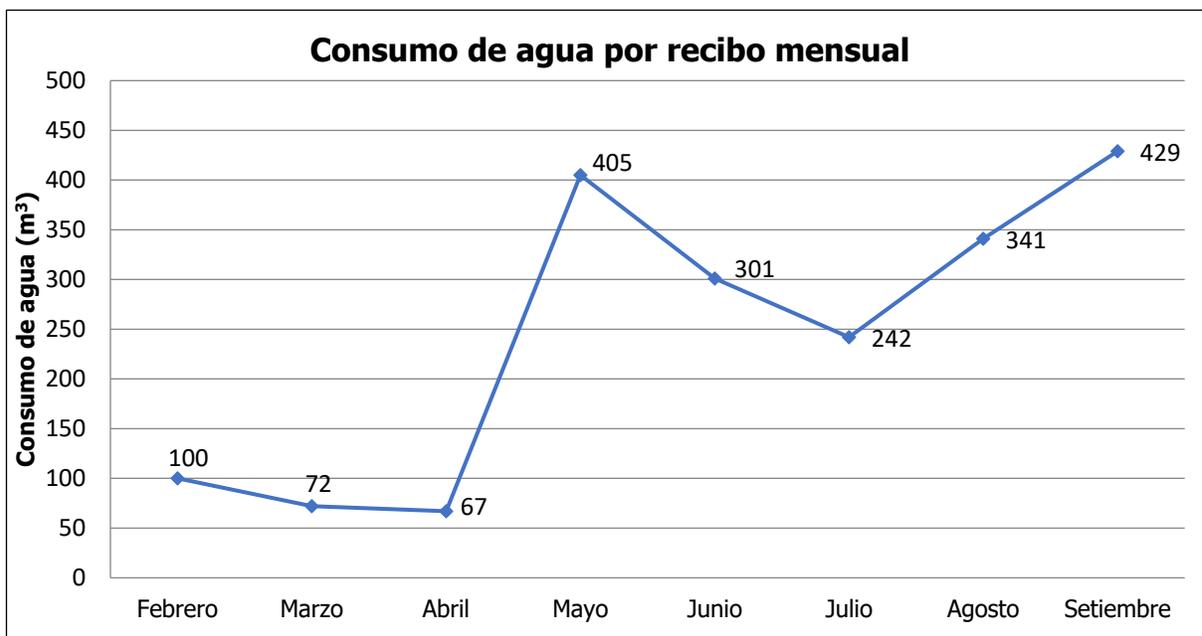
**Cuadro 17. Áreas, fechas de inicio y final y porcentaje de avance para cada nivel del proyecto San Pedro Business Center**

Nivel	Área Nivel (m <sup>2</sup> )	Fecha de Inicio de Nivel	Fecha Final de Nivel	% avance	% avance acumulado
C	2661.7	06/02/2020	12/03/2020	8%	8%
S2	2661.7	13/02/2020	24/03/2020	8%	17%
S1	2661.7	13/03/2020	18/04/2020	8%	25%
N1	2661.7	23/03/2020	08/05/2020	8%	33%
N1.5	1684.0	17/04/2020	19/05/2020	5%	38%
N2	1684.0	06/05/2020	01/06/2020	5%	44%
N2.5	911.8	21/05/2020	18/06/2020	3%	46%
N3	2661.7	02/06/2020	29/06/2020	8%	55%
N4	1897.0	22/06/2020	08/07/2020	6%	61%
N5	1897.0	04/07/2020	03/08/2020	6%	66%
N6	1897.0	28/07/2020	22/08/2020	6%	72%
N7	1897.0	07/08/2020	01/09/2020	6%	78%
N8	1897.0	24/08/2020	08/09/2020	6%	84%

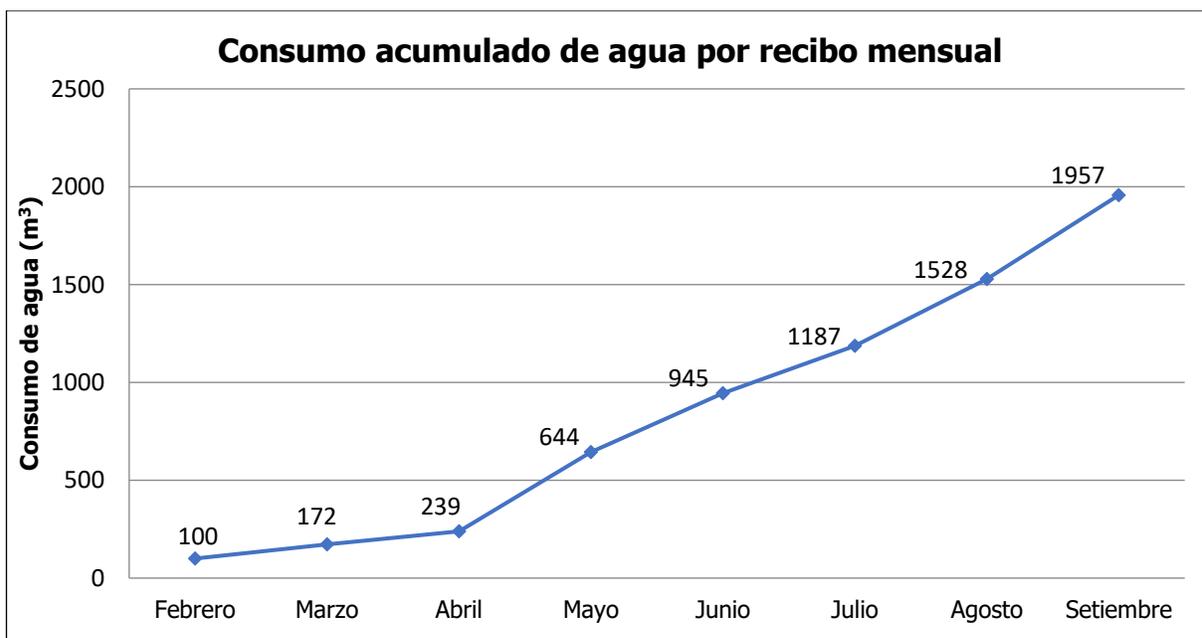
En el Cuadro 18 se muestra el resumen de los resultados para el análisis mensual para el consumo según medidor, tomando en cuenta la reconstrucción de datos realizada a partir de los recibos mensuales y las lecturas tomadas al medidor. Asimismo, en las Figuras 64 y 65 se representan de manera gráfica los datos mostrados en el cuadro.

**Cuadro 18. Resultados de consumos mensuales según medidor del proyecto San Pedro Business Center**

Año	Mes	Consumo Mensual por medidor (m <sup>3</sup> )	Consumo Mensual por medidor Acumulado (m <sup>3</sup> )
2020	2	Febrero	100
	3	Marzo	172
	4	Abril	239
	5	Mayo	644
	6	Junio	945
	7	Julio	1187
	8	Agosto	1528
	9	Setiembre	1957



**Figura 64. Gráfico del consumo de agua por recibos mensuales para San Pedro Business Center**



**Figura 65. Gráfico del consumo acumulado de agua por recibos mensuales para San Pedro Business Center**

En la Figura 64 se observa un aumento desproporcionado en el consumo de agua en el mes de mayo y luego en los meses siguientes el consumo se mantuvo en ese mismo rango. Según el personal encargado del proyecto, las actividades realizadas durante este periodo no

aumentaron durante este mes con respecto a los anteriores, por lo cual se puede inferir que ocurrió el mismo error que en el proyecto Torre Las Loras, con la sobrefacturación de la compañía encargada del suministro de agua.

Durante el mes de mayo, en un determinado momento se estaban realizando actividades de obra gris para tres niveles en paralelo, lo cual podría explicar cierto aumento en el consumo, no obstante, la diferencia es hasta cinco veces mayor que los meses anteriores, por lo cual no es posible que el consumo real del mes de mayo fuera el indicado.

En la misma figura se puede observar que durante el mes de julio el consumo disminuyó con respecto al mes anterior y posterior, debido a que, durante el mes, las construcciones tuvieron que parar obras durante una semana, donde no se consumió el recurso y la cual no se consideró dentro de los cálculos para el análisis de consumos por niveles.

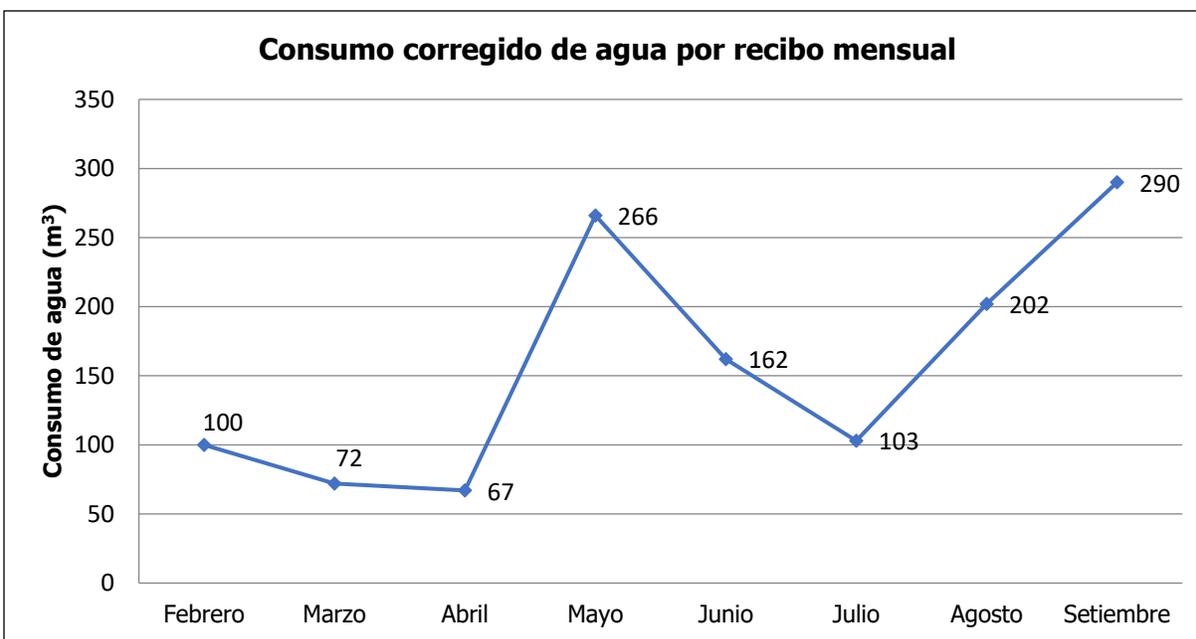
Así como ocurrió con el proyecto Torre Las Loras, no fue posible comprobar el error de sobrefacturación, sin embargo, se plantea una propuesta de corrección de los datos al restarle al sobreconsumo los meses anteriores (marzo y abril), para aproximar el valor real de consumo de los meses posteriores.

En el análisis de consumos de agua por niveles no se utilizó la corrección, sino los datos encontrados de la información suministrada para no alterar los resultados que pueden ser validados.

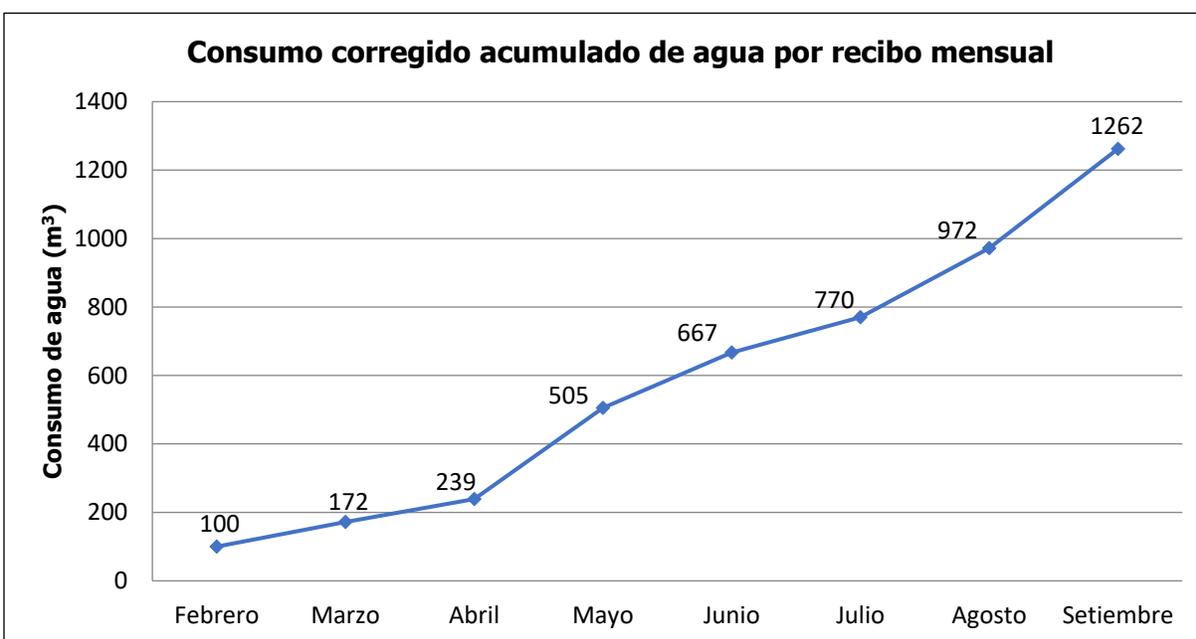
En el Cuadro 19 se muestran los datos obtenidos de la corrección resaltados en negrita, mientras que en las Figuras 66 y 67 se presentan en manera de gráficos.

**Cuadro 19. Resultados corregidos de consumos mensuales según medidor del proyecto San Pedro Business Center**

Año	Mes	Consumo Mensual por medidor (m <sup>3</sup> )	Consumo Mensual por medidor Acumulado (m <sup>3</sup> )	
2020	2	Febrero	100	100
	3	Marzo	72	172
	4	Abril	67	239
	5	Mayo	<b>266</b>	<b>505</b>
	6	Junio	<b>162</b>	<b>667</b>
	7	Julio	<b>103</b>	<b>770</b>
	8	Agosto	<b>202</b>	<b>972</b>
	9	Setiembre	<b>290</b>	<b>1262</b>



**Figura 66. Gráfico del consumo corregido de agua por recibos mensuales para San Pedro Business Center**



**Figura 67. Gráfico del consumo acumulado corregido de agua por recibos mensuales para San Pedro Business Center**

Como se mencionó anteriormente para el proyecto Torre Las Loras, para evitar este tipo de problemas al aplicar la metodología, se debe considerar colocar un medidor interno para llevar el control por aparte y luego poder compararse con los recibos mensuales de la compañía encargada del suministro de agua, así como llevar un registro de las medidas en

periodos cortos para determinar alguna inconsistencia que se produzca durante la construcción.

Para la asignación de consumos por nivel, se tomó en cuenta la planificación semanal del proyecto para establecer las actividades realizadas en cada semana y en cada nivel para la sección de datos de entrada de la herramienta de análisis de datos elaborada, la cual se muestra por completo en el Anexo 4.

En el Cuadro 20 se muestra la sección de consumo según mes y días de tiempo bruto de construcción tomados en cuenta para la construcción de cada nivel.

**Cuadro 20. Tiempo bruto de construcción y consumos por medidor mensuales para cada nivel en proyecto San Pedro Business Center**

Nivel	Consumo por medidor Mes 1 (m <sup>3</sup> )	Consumo por medidor Mes 2 (m <sup>3</sup> )	Consumo por medidor Mes 3 (m <sup>3</sup> )	Días Mes 1	Días Mes 2	Días Mes 3	Tiempo bruto de construcción
C	100	72	0	24	12	0	36
S2	100	72	0	17	24	0	41
S1	72	67	0	19	18	0	37
N1	72	67	405	8	30	8	46
N1.5	67	405	0	14	19	0	33
N2	405	301	0	26	1	0	27
N2.5	405	301	0	11	18	0	29
N3	301	0	0	29	0	0	29
N4	301	242	0	9	8	0	17
N5	242	341	0	28	3	0	31
N6	242	341	0	4	22	0	26
N7	341	429	0	24	1	0	25
N8	341	429	0	7	8	0	15

Al realizar la asignación de consumos de cada mes a cada nivel, se obtuvieron los resultados mostrados en el Cuadro 21 para determinar el subtotal del consumo según medidor para cada nivel.

**Cuadro 21. Porcentajes de distribución y consumos de agua según medidor para cada nivel en proyecto San Pedro Business Center**

Nivel	% Construido Mes 1	% Construido Mes 2	% Construido Mes 3	Consumo Nivel Mes 1 (m <sup>3</sup> )	Consumo Nivel Mes 2 (m <sup>3</sup> )	Consumo Nivel Mes 3 (m <sup>3</sup> )	Subtotal Consumo por medidor (m <sup>3</sup> )
C	58.54%	19.05%	-	58.54	13.71	-	72.25
S2	41.46%	38.10%	-	41.46	27.43	-	68.89
S1	30.16%	29.03%	-	21.71	19.45	-	41.17
N1	12.70%	48.39%	12.50%	9.14	32.42	50.63	92.19
N1.5	22.58%	29.69%	-	15.13	120.23	-	135.36
N2	40.63%	1.75%	-	164.53	5.28	-	169.81
N2.5	17.19%	31.58%	-	69.61	95.05	-	164.66
N3	50.88%	-	-	153.14	-	-	153.14
N4	15.79%	20.00%	-	47.53	48.40	-	95.93
N5	70.00%	5.36%	-	169.40	18.27	-	187.67
N6	10.00%	39.29%	-	24.20	133.96	-	158.16
N7	42.86%	11.11%	-	146.14	47.67	-	193.81
N8	12.50%	88.89%	-	42.63	381.33	-	423.96

El proyecto utilizó concreto premezclado producido por CEMEX, donde se utilizaron 5 tipos distintos de concreto con resistencia a la compresión a los 28 días de 210 kg/cm<sup>2</sup>, 280 kg/cm<sup>2</sup>, 350 kg/cm<sup>2</sup> y 420 kg/cm<sup>2</sup>, los cuales utilizan proporciones diferentes de agua para su elaboración.

Los niveles inferiores utilizaron concretos de alta resistencia, mientras que los superiores utilizaron concretos de menor resistencia, por lo cual el valor de agua de diseño de mezcla variaba, como se muestra en el Cuadro 22 en conjunto con los consumos de agua en el concreto y el volumen colado de concreto para cada nivel.

Finalmente, sumando los subtotales mostrados en los cuadros anteriores se pueden obtener los resultados para el consumo total, consumo acumulado, consumo unitario y consumo unitario acumulado en cada nivel del proyecto San Pedro Business Center, los cuales se muestran en el Cuadro 23.

**Cuadro 22. Cantidad de concreto colado y consumo de agua adherida al concreto para cada nivel en proyecto San Pedro Business Center**

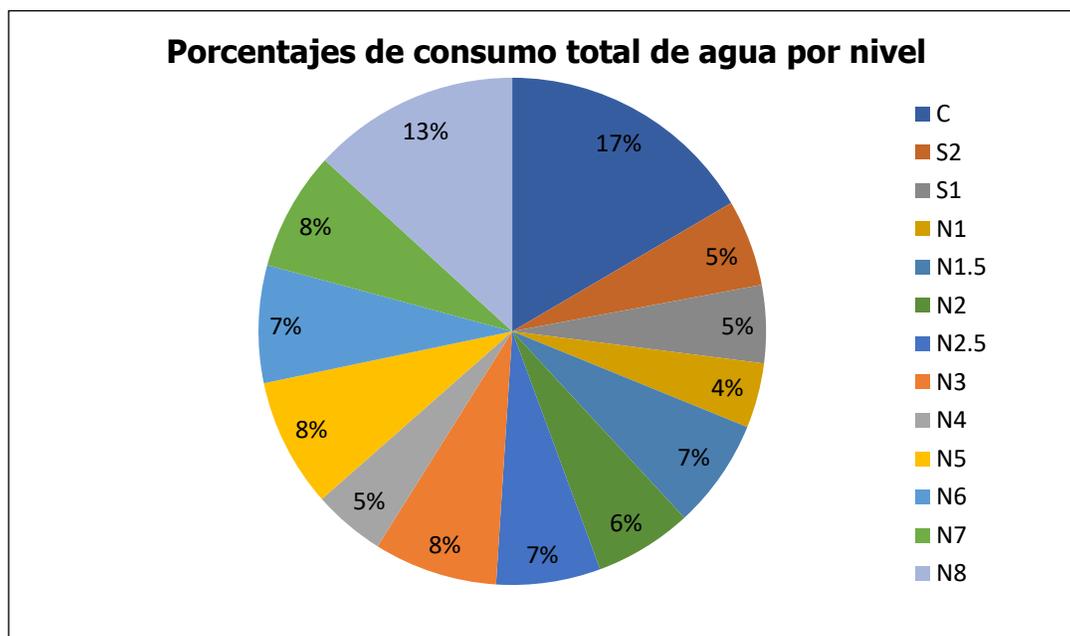
Nivel	Tipo de Concreto	Volumen concreto colado (m <sup>3</sup> )	Agua diseño de mezcla (m <sup>3</sup> agua/m <sup>3</sup> concreto)	Subtotal Consumo en el Concreto (m <sup>3</sup> )
C	Premezclado	3386.00	0.181	612.87
S2	Premezclado	860.00	0.185	159.10
S1	Premezclado	887.50	0.185	164.19
N1	Premezclado	428.00	0.185	79.18
N1.5	Premezclado	830.00	0.185	153.55
N2	Premezclado	471.50	0.187	88.17
N2.5	Premezclado	590.50	0.187	110.42
N3	Premezclado	925.50	0.187	173.07
N4	Premezclado	505.00	0.187	94.44
N5	Premezclado	815.50	0.187	152.50
N6	Premezclado	812.00	0.187	151.84
N7	Premezclado	641.00	0.187	119.87
N8	Premezclado	658.00	0.187	123.05

**Cuadro 23. Resultados finales para el análisis del consumo de agua por niveles para el proyecto San Pedro Business Center**

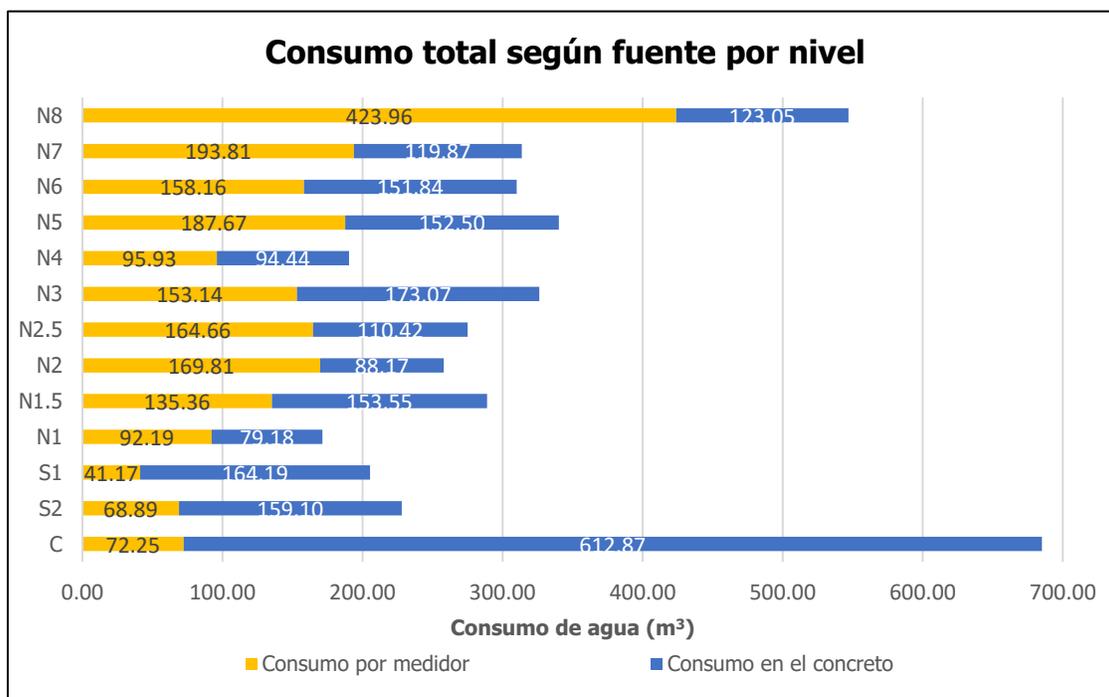
Nivel	Consumo Total Agua (m <sup>3</sup> )	Consumo Acumulado (m <sup>3</sup> )	Consumo Unitario (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Consumo Unitario Acumulado (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
C	685.12	72.25	0.03	0.03
S2	227.99	141.14	0.03	0.05
S1	205.35	182.31	0.02	0.07
N1	171.37	274.50	0.03	0.10
N1.5	288.91	409.86	0.08	0.18
N2	257.98	579.67	0.10	0.28
N2.5	275.09	744.33	0.18	0.46
N3	326.21	897.47	0.06	0.52
N4	190.36	993.40	0.05	0.57
N5	340.17	1181.07	0.10	0.67
N6	310.01	1339.23	0.08	0.76
N7	313.68	1533.04	0.10	0.86
N8	547.00	1957.00	0.22	1.08

En la Figura 68 se muestra un gráfico con los porcentajes de consumo total de agua por nivel, para determinar el nivel en el que se consumió más agua, donde se muestra que la

cimentación fue donde mayor consumo de agua se produjo, seguido del nivel 8. Asimismo, se muestra en la Figura 69 un gráfico que separa el consumo total según su fuente.

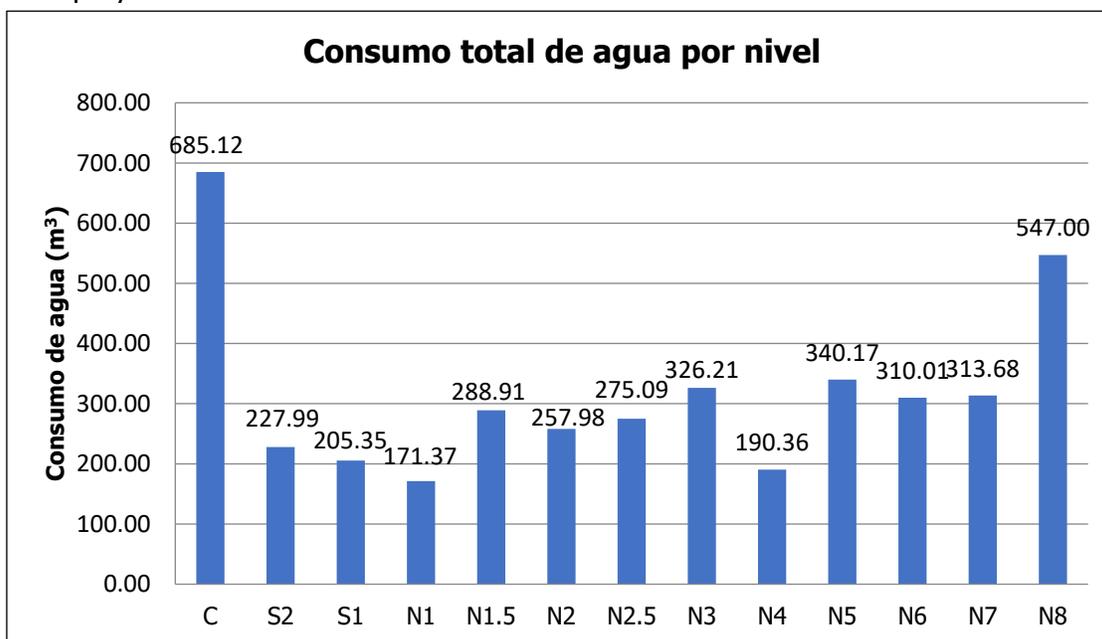


**Figura 68. Gráfico del porcentaje de consumo total de agua para cada nivel en San Pedro Business Center**

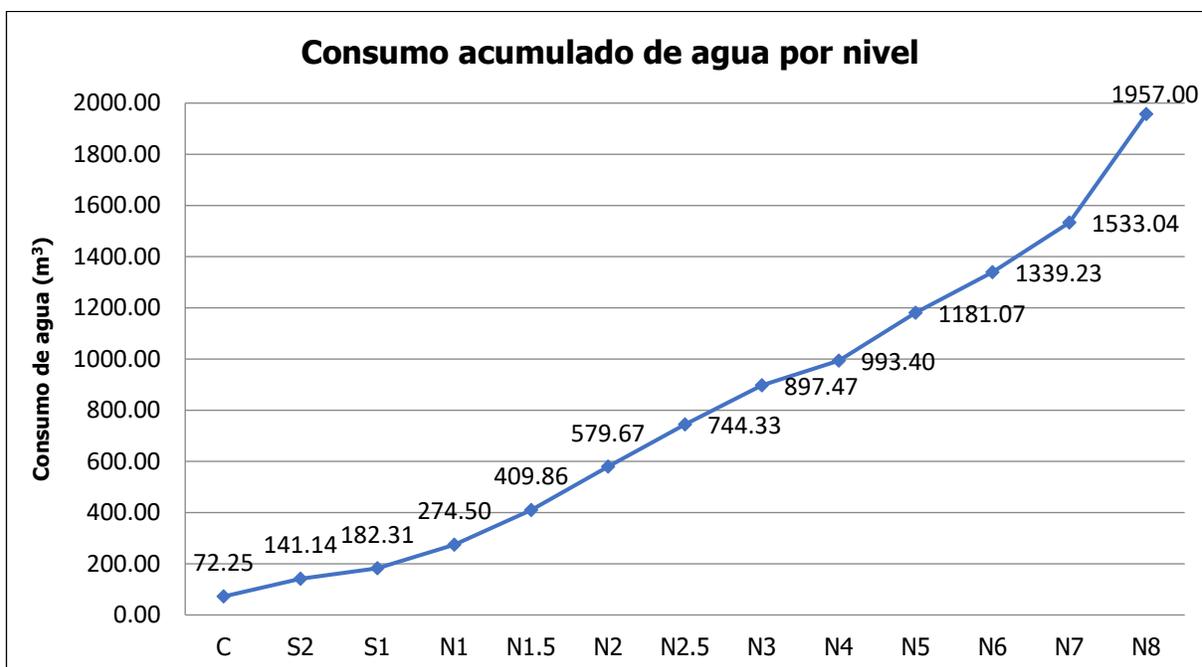


**Figura 69. Gráfico de consumo total de agua según fuente para cada nivel en San Pedro Business Center**

Así mismo, en la Figura 70 se muestra un gráfico de barras mostrando el consumo total en metros cúbicos de agua para cada nivel y en la Figura 71 se muestra el consumo acumulado para el proyecto San Pedro Business Center.



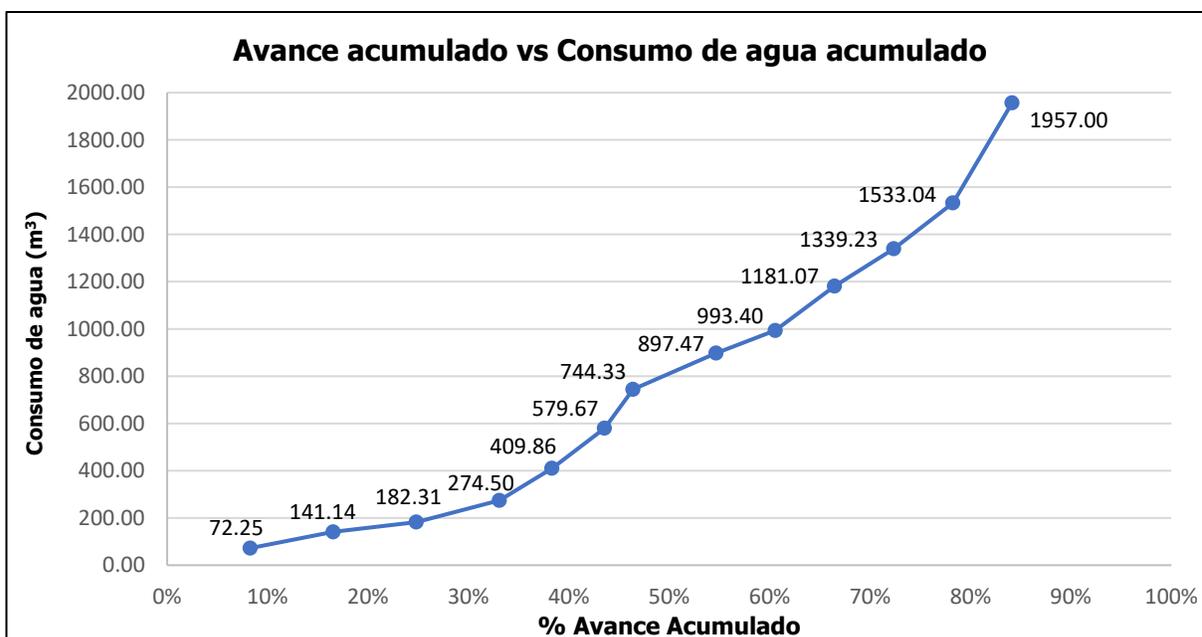
**Figura 70. Gráfico de consumo total de agua por nivel en San Pedro Business Center**



**Figura 71. Gráfico de consumo acumulado de agua por nivel en San Pedro Business Center**

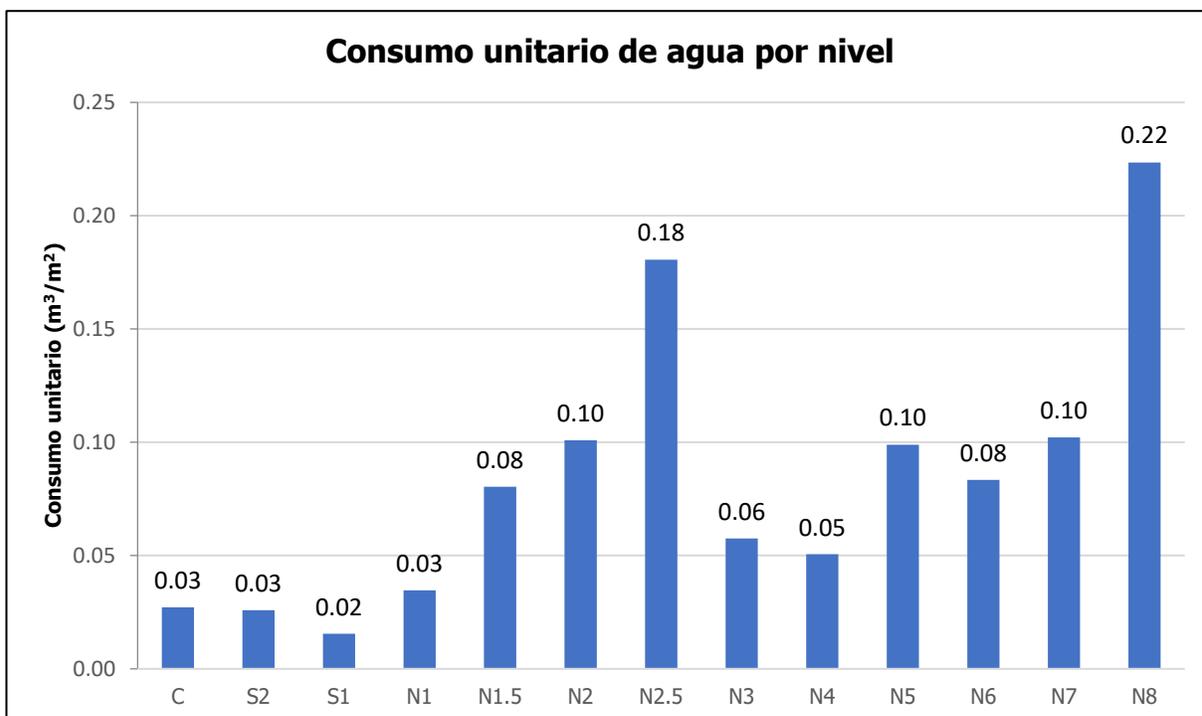
A partir de los gráficos anteriores, se puede notar que la cimentación fue dónde más volumen de concreto se coló, e incluso la cantidad de agua consumida adherida al concreto es mayor que a la consumida según el medidor. En el caso del nivel 8, el alto consumo de agua se debe al medidor, ya que su construcción se dio en el mes de setiembre, el cual fue el mes de mayor consumo.

En la Figura 72 se muestra la comparación entre el consumo total de agua para el proyecto con respecto al avance de obra, tomando en cuenta únicamente la etapa de obra gris en estudio. Este tipo de gráficos luego se puede utilizar para la comparación entre proyectos del mismo tipo o con una diferente tipología.

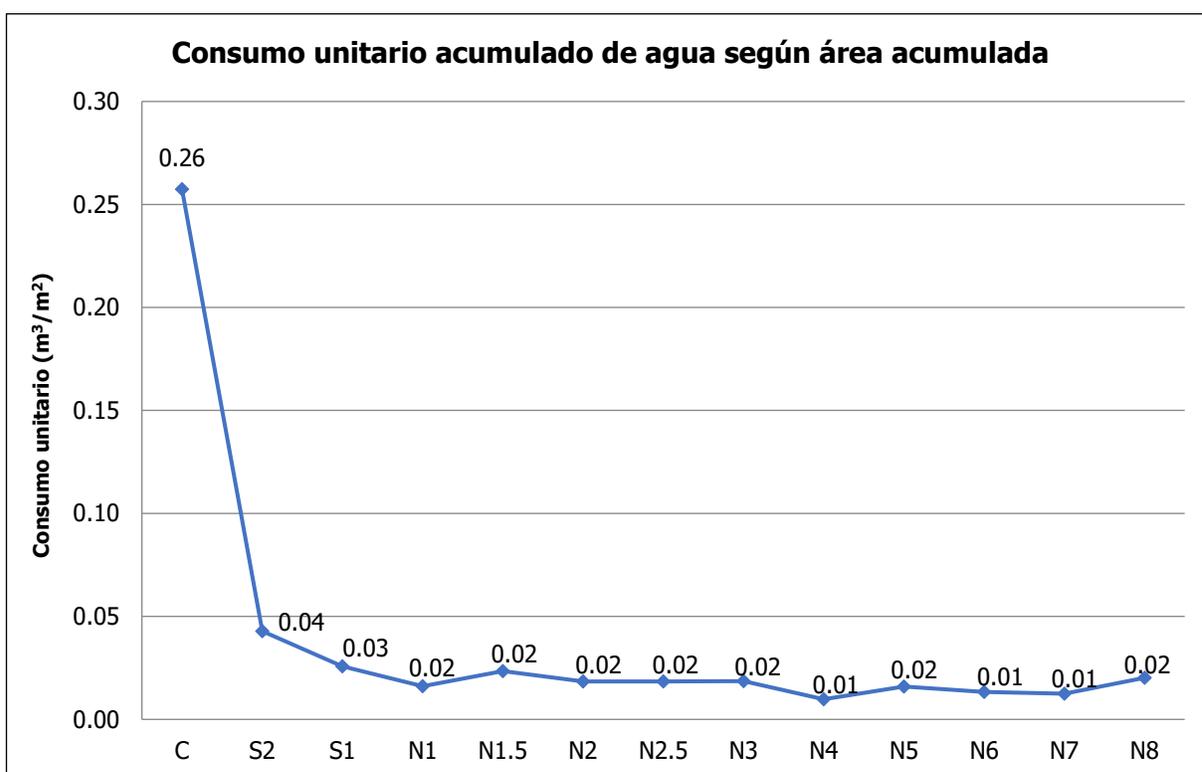


**Figura 72. Gráfico de consumo acumulado de agua con respecto al porcentaje de avance de obra gris en San Pedro Business Center**

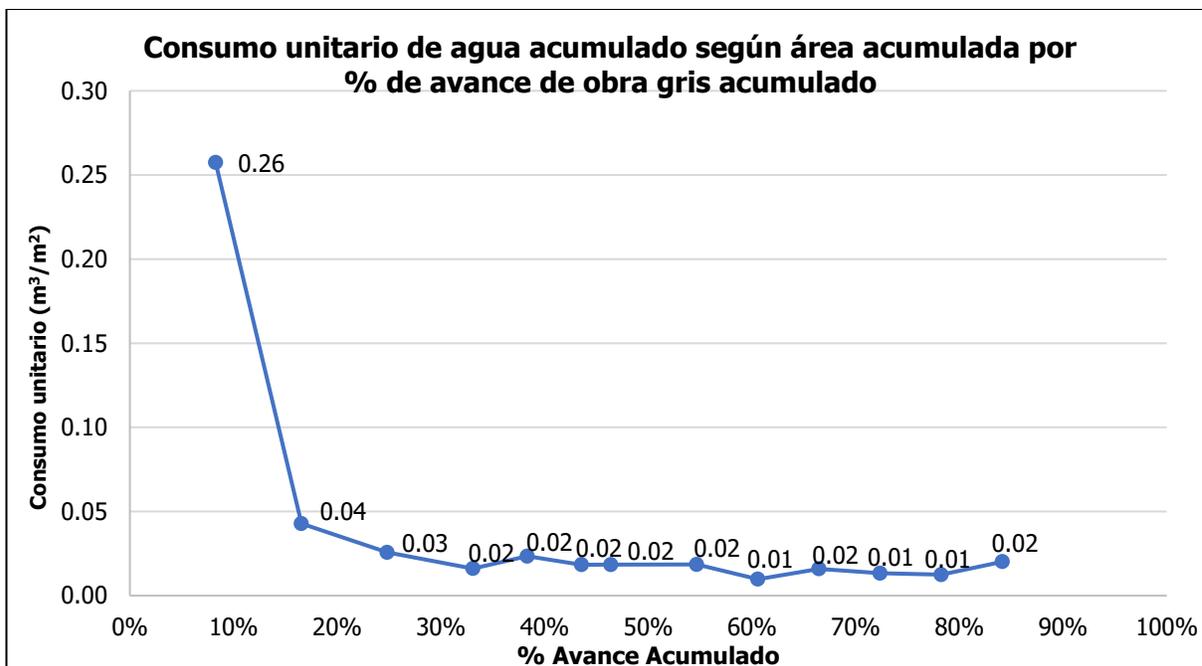
Finalmente, en las Figuras 73, 74 y 75 se muestran el consumo unitario total de agua, el consumo unitario acumulado para cada nivel y el consumo unitario acumulado con respecto al avance de obra gris, respectivamente según el área de cada nivel, mientras que en las Figuras 76, 77 y 78 se muestran los mismos tipos de gráficos para los consumos unitarios según la cantidad de concreto colado por nivel.



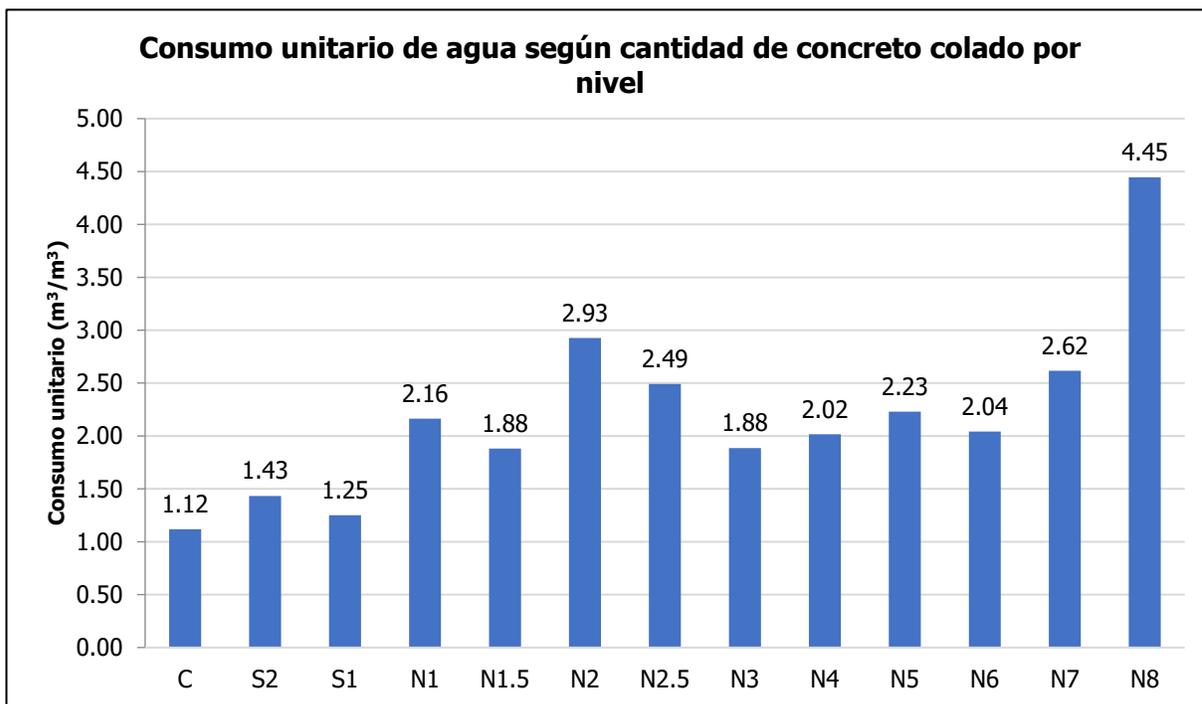
**Figura 73. Gráfico de consumo unitario de agua según área de cada nivel en San Pedro Business Center**



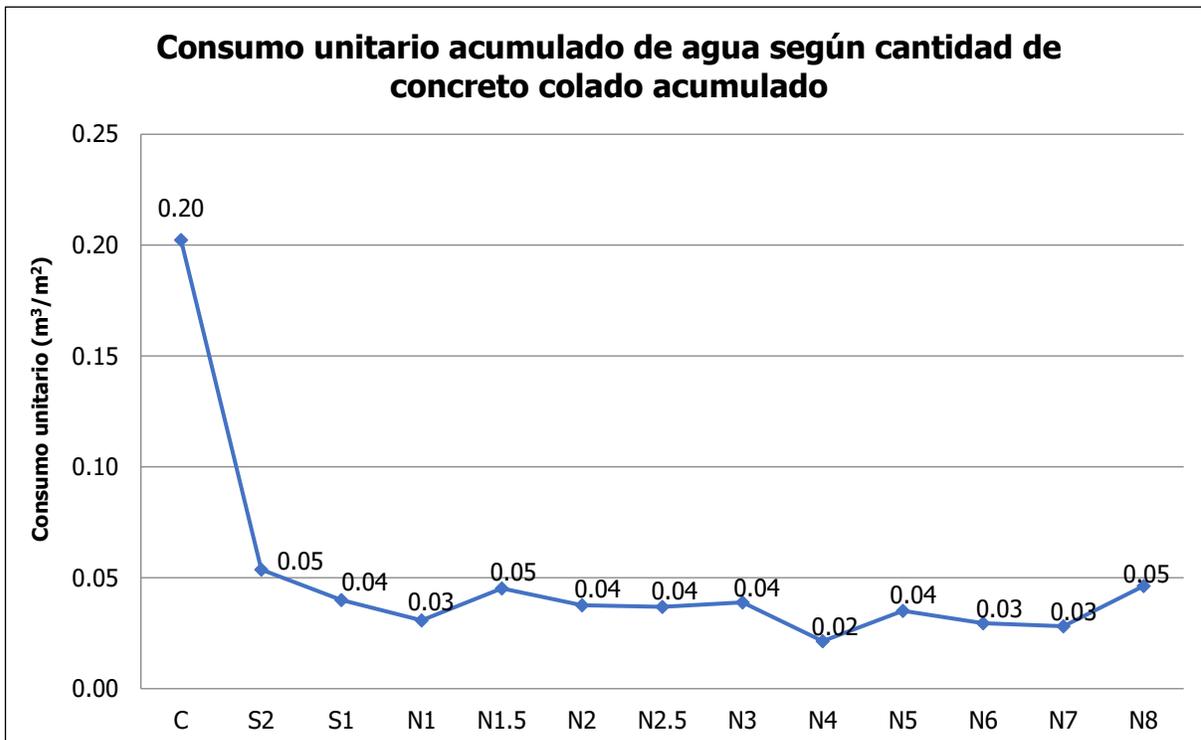
**Figura 74. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua según área acumulada en San Pedro Business Center**



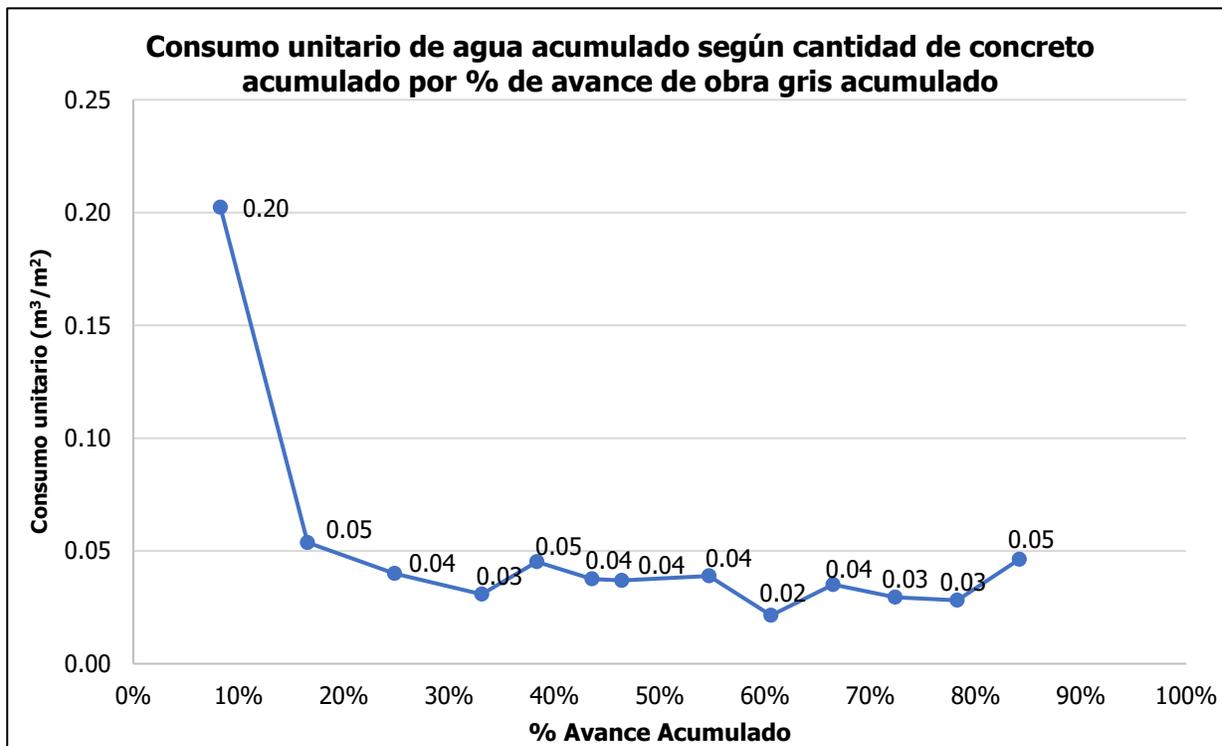
**Figura 75. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua con respecto al porcentaje de avance de obra gris según área acumulada en San Pedro Business Center**



**Figura 76. Gráfico de consumo unitario de agua según cantidad de concreto colado por nivel en San Pedro Business Center**



**Figura 77. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua según cantidad de concreto colado acumulado en San Pedro Business Center**



**Figura 78. Gráfico de consumo unitario acumulado de agua con respecto al porcentaje de avance de obra gris según cantidad de concreto acumulado en San Pedro Business Center**

En el Cuadro 24 se presenta el registro de las lecturas semanales del medidor del proyecto San Pedro Business Center tomadas entre agosto y setiembre del 2020.

**Cuadro 24. Registro de datos semanales recolectados del medidor de agua del proyecto San Pedro Business Center en el periodo agosto-setiembre del 2020**

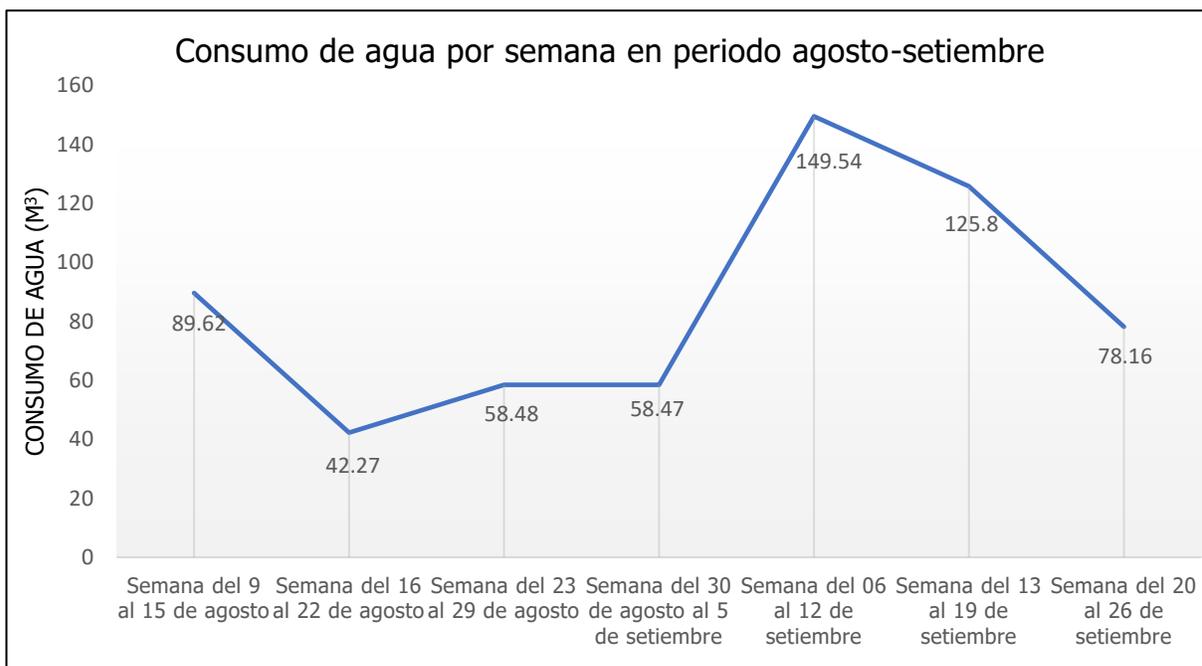
Semana	Fecha de Visita	Lectura (m <sup>3</sup> )	Consumo (m <sup>3</sup> )
Semana del 2 al 8 de agosto	05/08/2020	1122.80	-
Semana del 9 al 15 de agosto	12/08/2020	1212.42	89.62
Semana del 16 al 22 de agosto	19/08/2020	1254.69	42.27
Semana del 23 al 29 de agosto	26/08/2020	1313.17	58.48
Semana del 30 de agosto al 5 de setiembre	01/09/2020	1371.64	58.47
Semana del 6 al 12 de setiembre	09/09/2020	1521.18	149.54
Semana del 13 al 19 de setiembre	17/09/2020	1646.98	125.8
Semana del 20 al 26 de setiembre	23/09/2020	1725.14	78.16

Para estos datos de consumo, se realizaron dos gráficos para visualizar el comportamiento en el periodo estudiado, mostrados en la Figura 79 y 80, donde se muestran el consumo por semana y el consumo acumulado de agua en el proyecto.

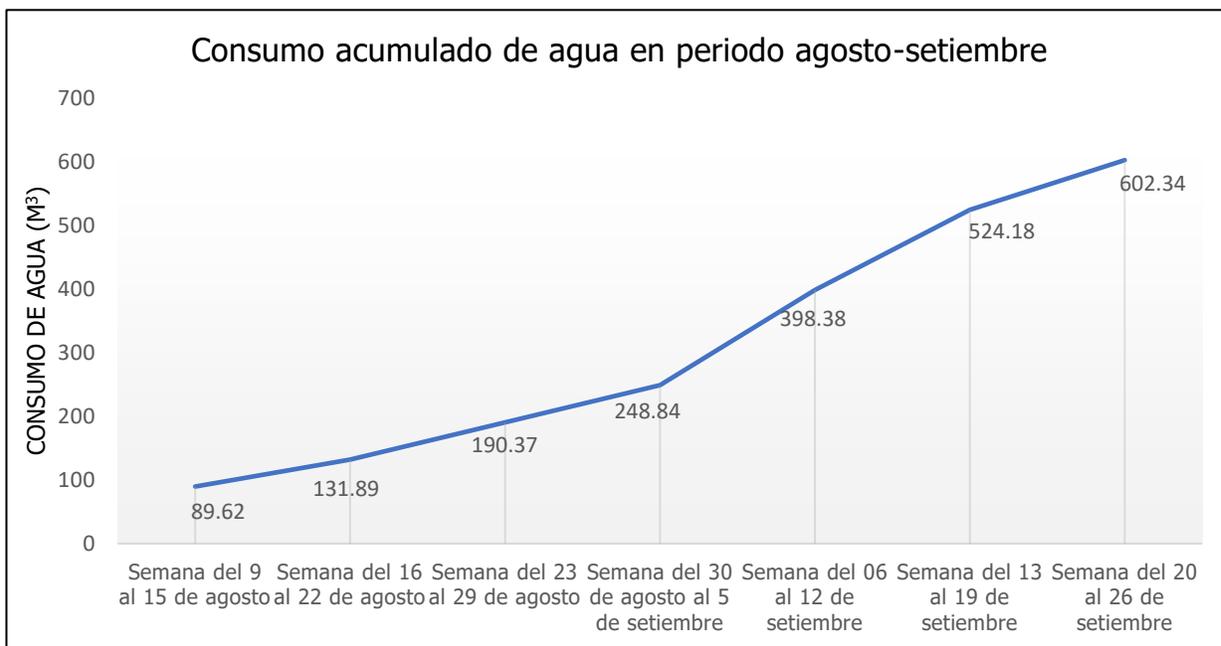
En estos gráficos se puede observar que el consumo en la primera semana de setiembre se dio un incremento considerable en la lectura terminando en un consumo hasta 3 veces mayor que el anterior.

Tomando en cuenta las actividades que se estaban realizando en ese periodo de tiempo, en ese determinado momento estaban dos niveles en construcción al mismo tiempo (nivel 7 y nivel 8), no obstante, no se justifica el aumento tan grande, ya que no se realizaron actividades extra que consumieran más agua.

No obstante, fue importante identificar lo anterior porque permitió analizar la posibilidad de encontrar en el proyecto un sobreconsumo que no se estuviera tomando en cuenta. Durante la semana siguiente se le dio trazabilidad al consumo de agua en las distintas actividades asociadas y el consumo disminuyó con respecto a la semana previa, habiendo realizado las mismas actividades, por lo que es posible que el consumo extra se haya debido a un mal gasto del recurso durante la construcción.



**Figura 79. Gráfico del consumo de agua según las lecturas semanales recolectadas entre agosto a setiembre del 2020 para San Pedro Business Center**



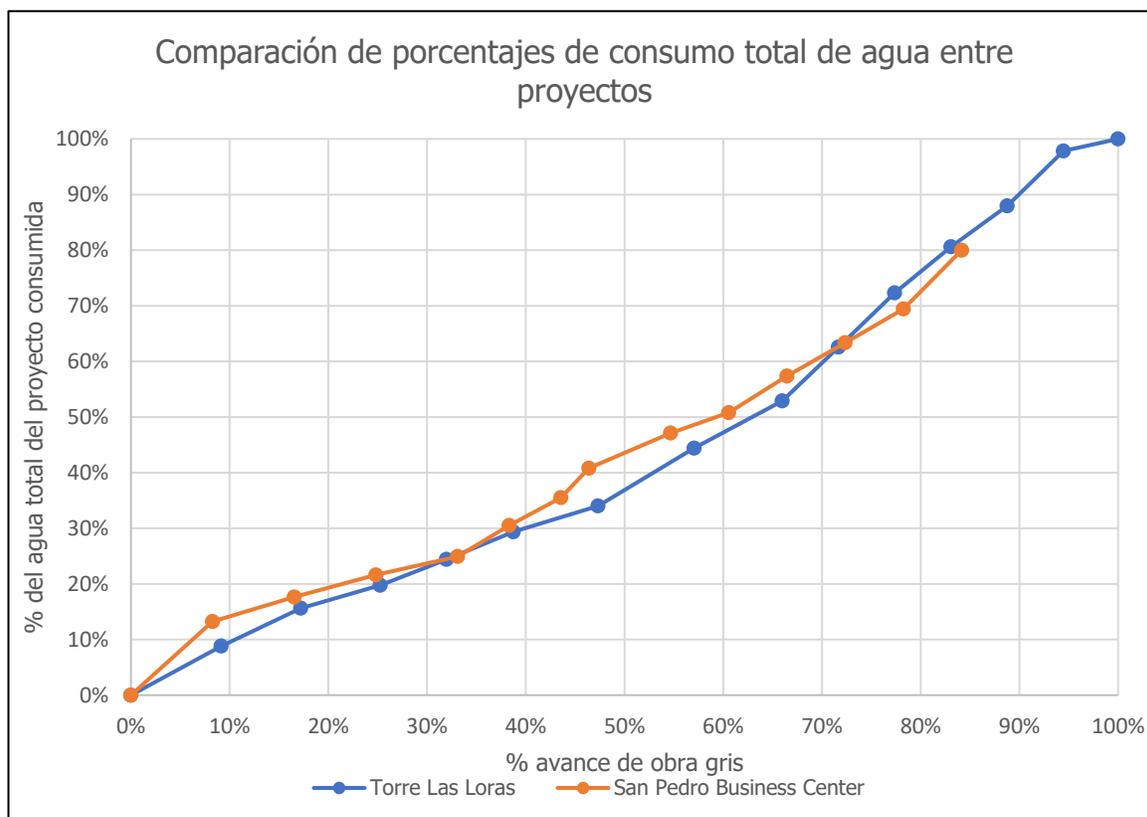
**Figura 80. Gráfico del consumo acumulado de agua según las lecturas semanales recolectadas entre agosto a setiembre del 2020 para San Pedro Business Center**

### 4.3 Comparación entre proyectos

Uno de los objetivos principales de la metodología elaborada es generar estadísticas de los consumos de los recursos en los proyectos de construcción durante su ejecución para producir estándares y promedios de comparación con otros proyectos de distinta tipología. Además, también se pretende generar indicadores de sostenibilidad que puedan indicar el estado de los proyectos según su avance.

Para lograr una comparación válida entre cualquier tipo de proyecto, se deben comparar los resultados obtenidos de la metodología con el avance del proyecto, ya que no se toma en cuenta la duración del proyecto, sino el cumplimiento del mismo. En este caso, se realizaron cuatro distintos tipos de gráficos que sirven para analizar el comportamiento entre proyectos, tomando como ejemplo las dos construcciones en estudio del presente trabajo.

La Figura 81 muestra un gráfico en el que se pueden comparar los porcentajes de consumo total de agua consumida en la elaboración del proyecto, tomando en consideración únicamente el avance de la etapa de obra gris.

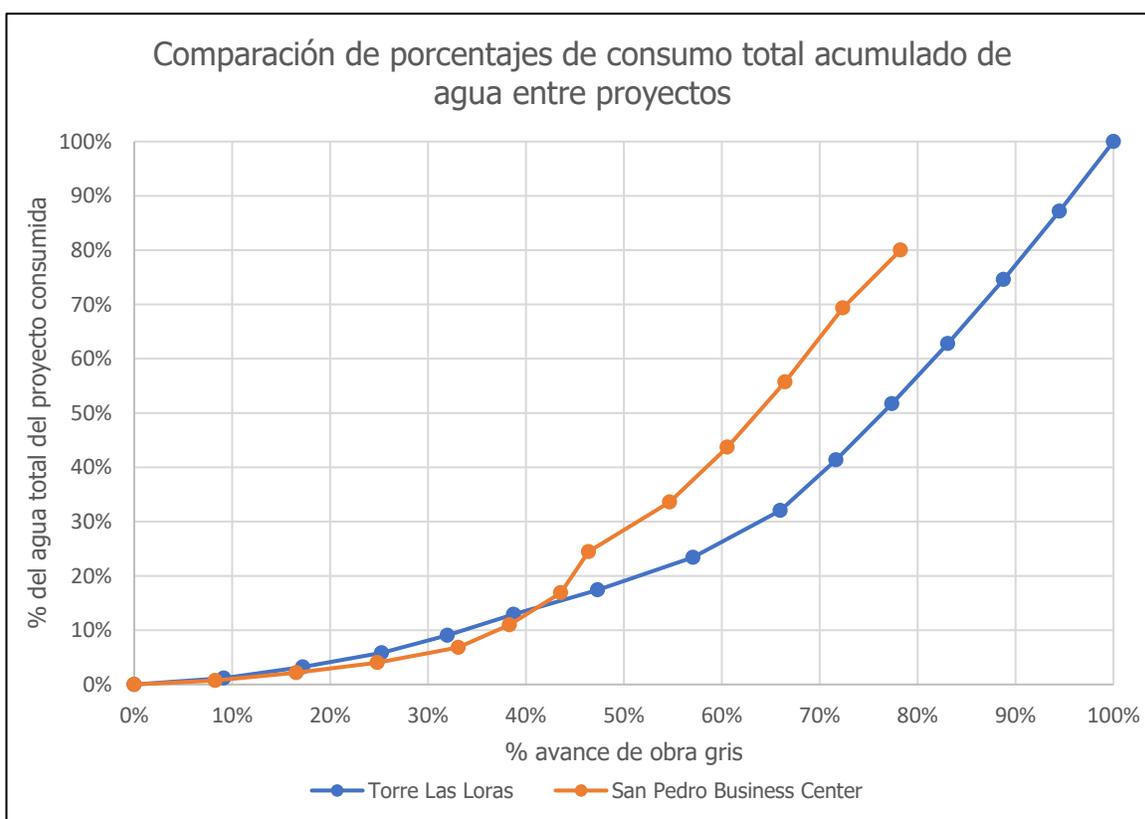


**Figura 81. Gráfico comparativo de porcentajes de consumo total de agua entre Torre Las Loras y San Pedro Business Center**

En este gráfico se puede observar que el consumo de agua durante la obra gris del proyecto Torre Las Loras se concentró en su mayoría en la última fase, específicamente en la construcción del nivel 5 a la azotea, comprendiendo un 55% del agua total consumida aproximadamente.

En el caso de San Pedro Business Center, se nota que la cimentación, los sótanos y los niveles 1 y 2 que servirán de estacionamientos, comprenden aproximadamente el 50% del agua total consumida, tomando en cuenta que el proyecto contaba con un 84% de la obra gris terminada a la fecha de corte realizada para el presente trabajo.

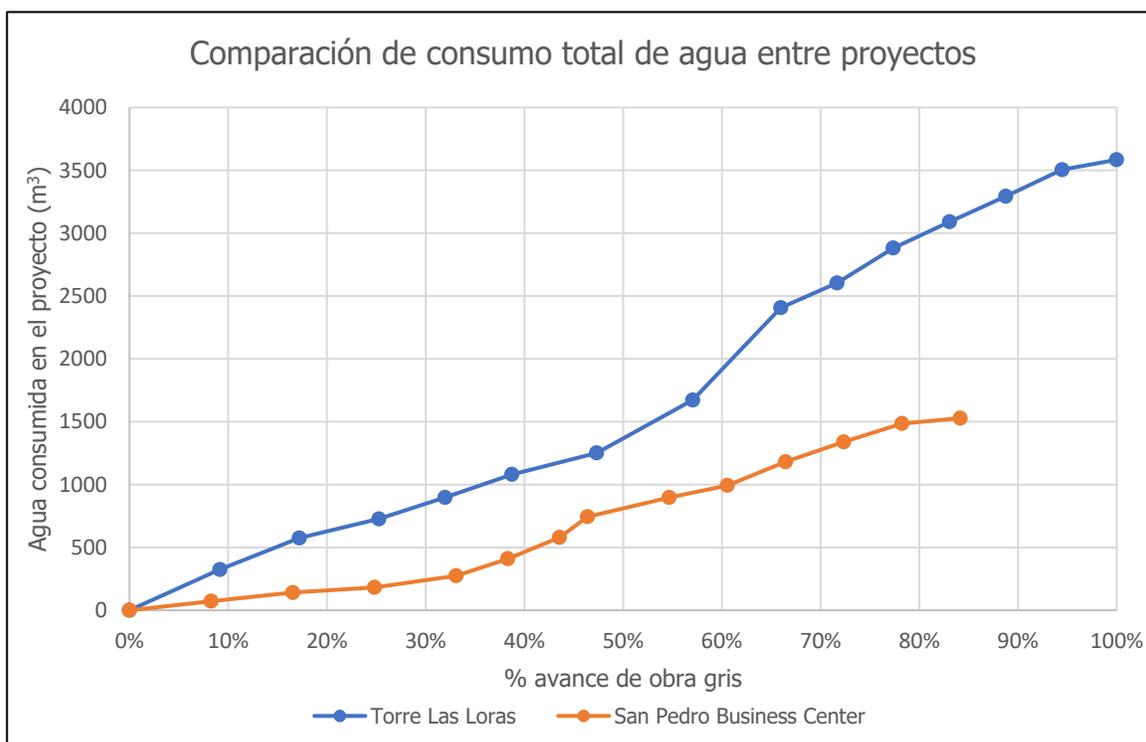
Asimismo, se puede realizar un gráfico similar, tomando en cuenta los porcentajes para el consumo total acumulado de agua, tal y como se muestra en la Figura 82.



**Figura 82. Gráfico comparativo de porcentajes de consumo total acumulado de agua entre Torre Las Loras y San Pedro Business Center**

La Figura 83 muestra la comparación de consumo de agua en metros cúbicos entre ambos proyectos, donde se puede observar que el proyecto Torre Las Loras en su proceso de construcción duplicó el consumo de agua de San Pedro Business Center, a pesar de que este aún no había terminado su etapa de obra gris.

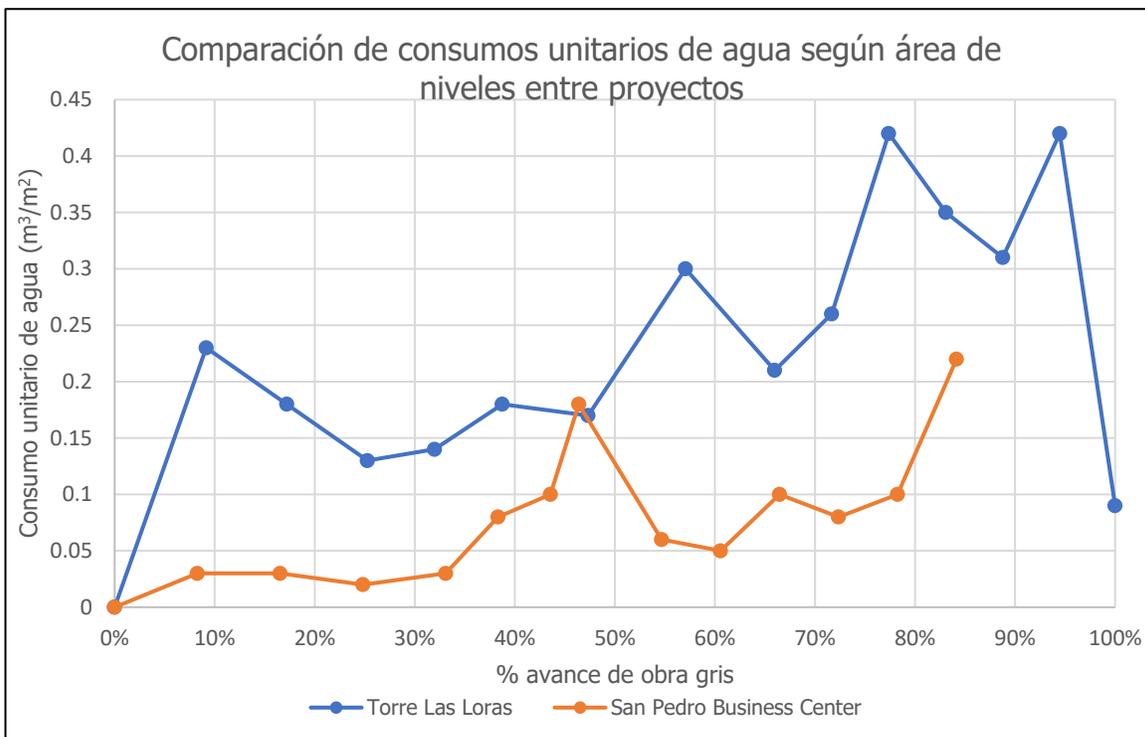
Este tipo de gráfico permite establecer promedios o estándares para distintos tipos de proyecto, que haga que los futuros proyectos puedan llevar la trazabilidad del consumo de los recursos con respecto a un proyecto con características similares.



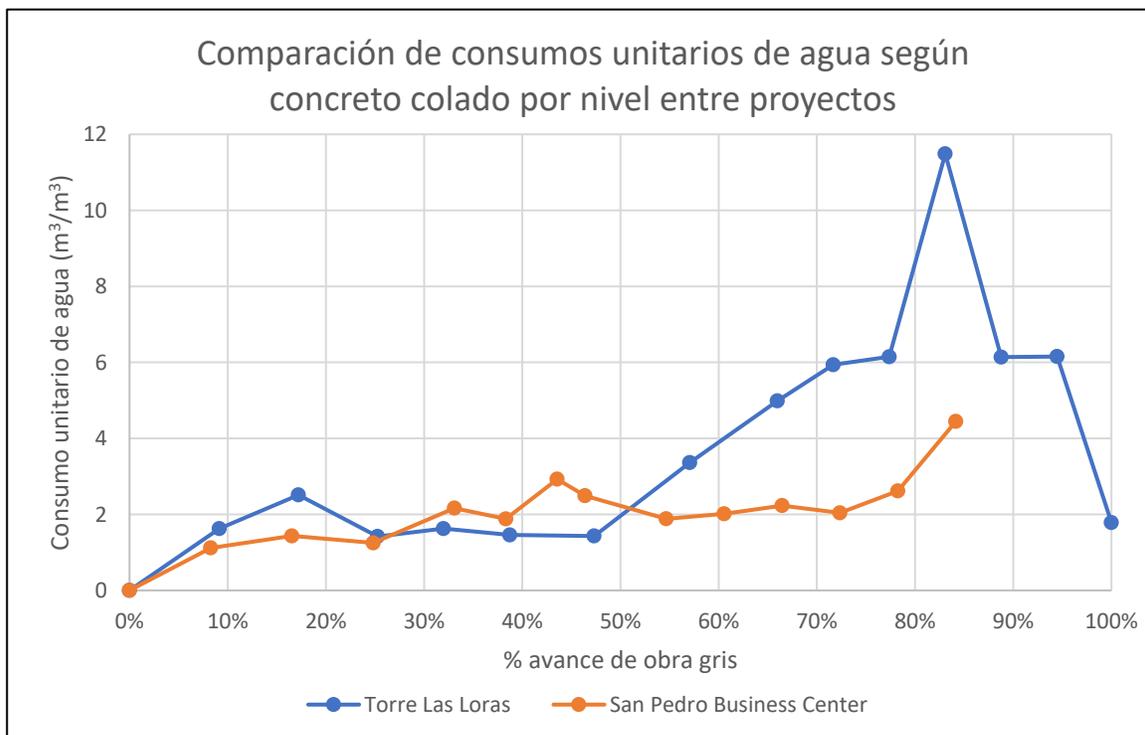
**Figura 83. Gráfico comparativo de consumo total de agua entre Torre Las Loras y San Pedro Business Center**

Finalmente, en las Figuras 84 y 85 se muestran los gráficos para la comparación de los indicadores de sostenibilidad de agua establecidos en la metodología: metros cúbicos de agua por metros cuadrados de área construida, así como metros cúbicos de agua por metros cúbicos de concreto colado.

En estos casos, el gráfico sirve para analizar cada nivel según su área y su volumen de concreto colado y poder establecer con anticipación cuánto consumo de agua se requeriría para construir un determinado nivel con características dadas, para así optimizar el consumo y hacer un uso racional del recurso.



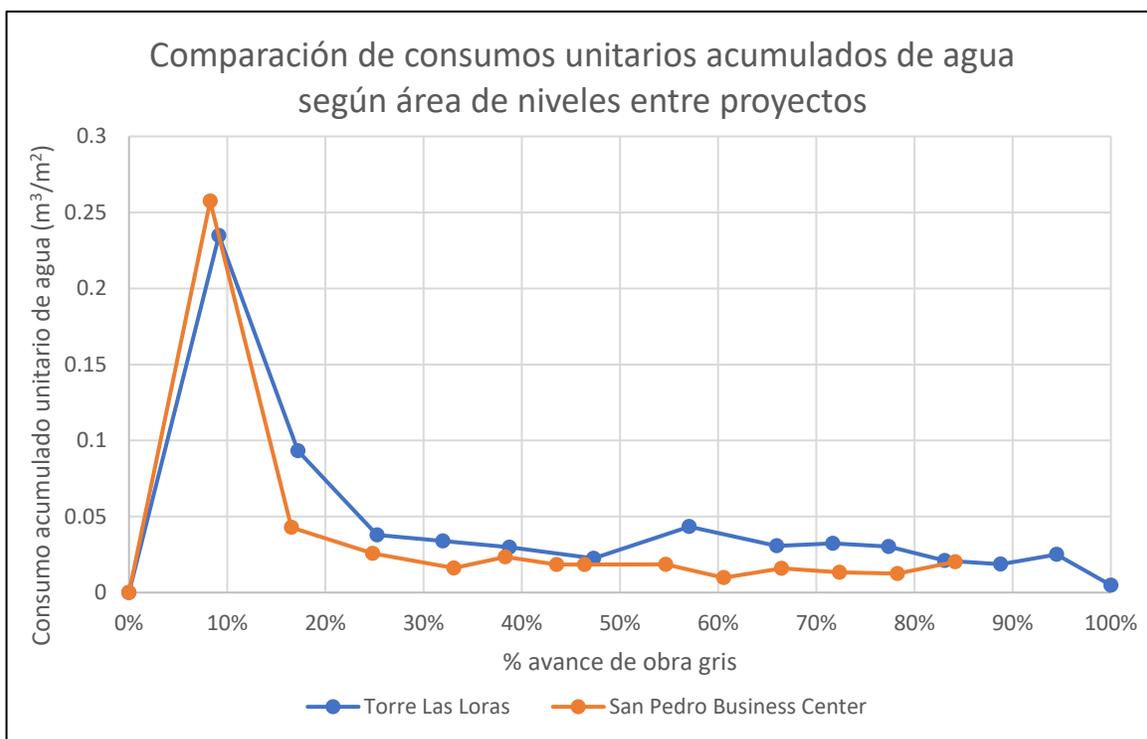
**Figura 84. Gráfico comparativo de los consumos unitarios de agua según área de niveles entre Torre Las Loras y San Pedro Business Center**



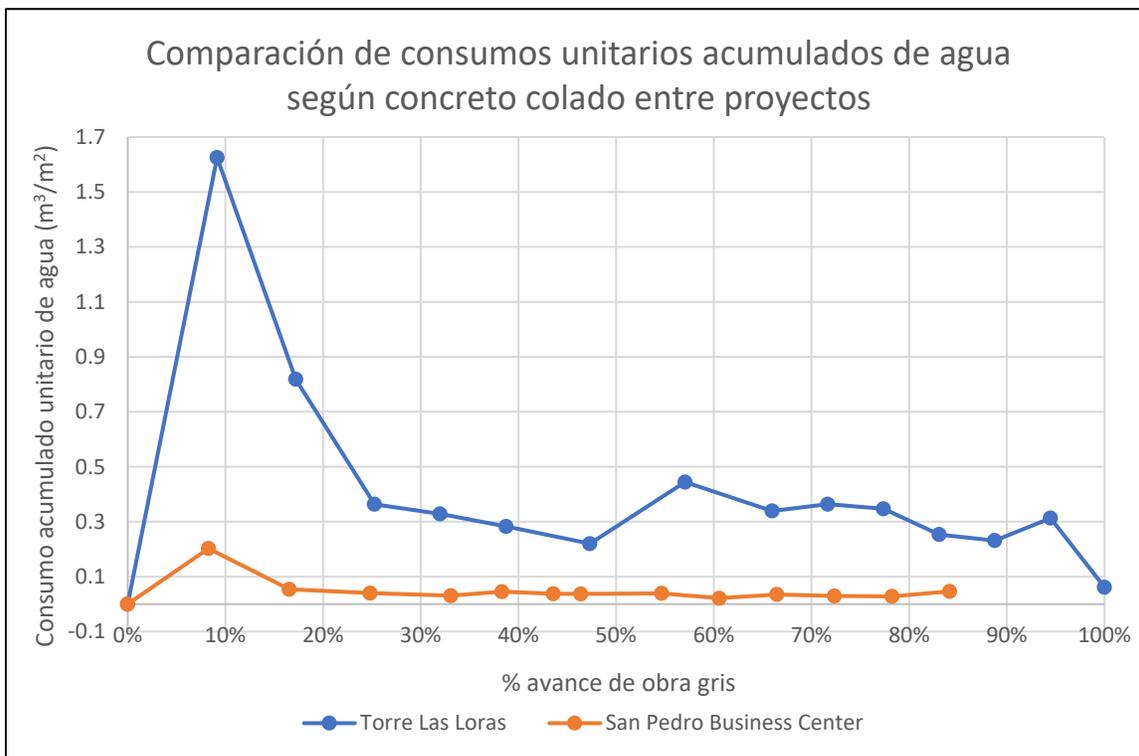
**Figura 85. Gráfico comparativo de los consumos unitarios de agua según cantidad de concreto por nivel entre Torre Las Loras y San Pedro Business Center**

Para el primer caso, la mayoría de niveles del proyecto Torre Las Loras cuentan con un área menor que el proyecto San Pedro Business Center, por lo que la curva de Torre Las Loras muestra valores más altos en los consumos unitarios.

Lo mismo ocurre en el segundo caso, donde el volumen de concreto de San Pedro Business Center es mayor en cada uno de sus niveles, obteniendo consumos unitarios menores. Asimismo, se muestra el gráfico de los consumos unitarios acumulados con respecto al porcentaje de avance en las Figuras 86 y 87.



**Figura 86. Gráfico comparativo de los consumos unitarios acumulados de agua según área de niveles entre Torre Las Loras y San Pedro Business Center**



**Figura 87. Gráfico comparativo de los consumos unitarios acumulados de agua según cantidad de concreto por nivel entre Torre Las Loras y San Pedro Business Center**

## Capítulo 5. Validación de metodología elaborada

La metodología creada se sometió a un proceso de validación a través de un grupo de profesionales interesados en la temática de la construcción sostenible y la optimización de los recursos de la construcción. La validación se realizó de manera conjunta con el Trabajo Final de Graduación denominado “Metodología para la gestión de recursos de consumo energético durante el proceso constructivo”, elaborado por Mariana Solís Acuña, por lo que los resultados de la validación mostrados en este capítulo serán de manera general para ambos trabajos.

El día 28 de octubre del 2020 se realizó una presentación virtual a través de la plataforma digital Zoom con la explicación de la metodología, sus objetivos e importancia a futuro, su funcionamiento y aplicación, así como varios de los principales resultados encontrados en los proyectos estudiados.

A la sesión virtual de validación asistieron 17 personas, entre los cuales se encontraban ingenieros civiles y arquitectos con experiencia en construcción o en la sostenibilidad en la construcción, así como estudiantes avanzados de Ingeniería Civil interesados en el tema.

Luego de realizar la presentación explicativa con los resultados de la aplicación de la metodología, se procedió a aplicar a los miembros del comité de validación, el cual se elaboró mediante Google Forms. El formulario de validación se encuentra completo en el Anexo 5.

Con el formulario elaborado se pretendía conocer la opinión de los miembros de la sesión de validación acerca de la metodología para la gestión, control y análisis del consumo de recursos energéticos e hídricos en la construcción de edificios durante la etapa de obra gris.

El formulario estaba constituido de 13 afirmaciones con opción de respuesta única, donde debían indicar qué tan de acuerdo se encontraban con la afirmación respectiva con una escala del 1 al 5, donde 1 se refería a “totalmente en desacuerdo” y 5 indicaba “totalmente de acuerdo”. Además, se incluían 2 preguntas de respuesta larga al final del formulario para recibir recomendaciones y comentarios generales para mejorar a futuro la metodología elaborada y poder aplicarse en más proyectos de construcción.

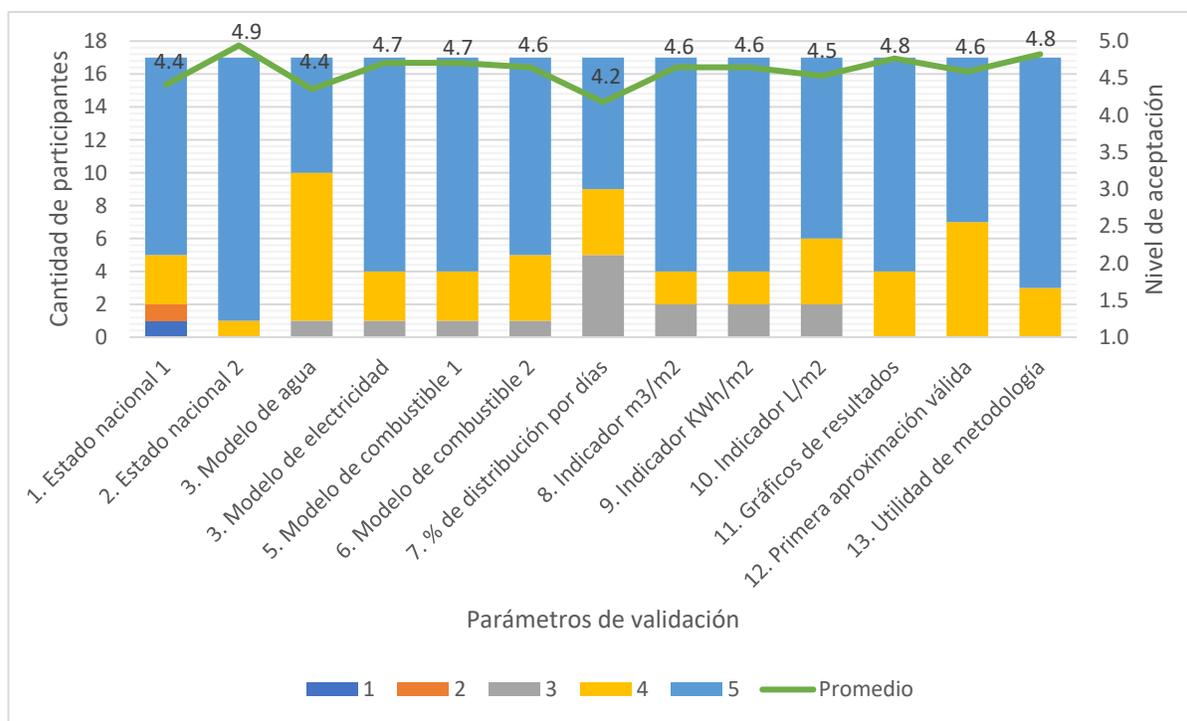
En el Cuadro 25 se presentan las preguntas elaboradas para el formulario de validación con el promedio de los resultados obtenidos a partir de las 17 respuestas de los miembros componentes de la sesión de la validación, mientras que en la Figura 88 se muestran estos resultados de manera gráfica.

**Cuadro 25. Preguntas realizadas en el formulario de validación de la metodología y promedio obtenido según respuestas**

Pregunta del formulario de validación	Promedio obtenido
1. A nivel nacional, usted considera que existe un vacío en el desarrollo de estadísticas de consumos de recursos (agua y energía) que permitan medir el desempeño relacionado a la sostenibilidad de las construcciones de edificaciones.	4.41
2. A nivel nacional, usted considera necesario que exista un método para estimar y registrar los datos de consumos de recursos (agua y energía) en una edificación durante su construcción.	4.94
3. Con base en la presentación que le fue hecha, usted considera que el modelo para calcular el consumo de agua en un proyecto, el cual toma en cuenta los datos adquiridos directamente de los medidores de agua y además adiciona el agua adherida al concreto colado (según el diseño de mezcla); es una primera aproximación válida y genera estadísticas útiles para la sostenibilidad de las construcciones.	4.35
4. Con base en la presentación que le fue hecha, usted considera que el modelo para calcular el consumo de electricidad en un proyecto, el cual toma en cuenta los datos adquiridos directamente de los medidores eléctricos; es una primera aproximación válida y genera estadísticas útiles para la sostenibilidad de las construcciones.	4.71
5. Con base en la presentación que le fue hecha, usted considera que el modelo para calcular el consumo de combustible en un proyecto, el cual toma en cuenta el consumo de la maquinaria utilizada en campo y el consumo del transporte de materiales hacia el proyecto; es una primera aproximación válida y genera estadísticas útiles para la sostenibilidad de las construcciones.	4.71
6. Con base en la presentación que le fue hecha, usted considera que la metodología de estimación y registro de consumo de combustible por fletes de materiales, desde el origen del proveedor hasta el destino del proyecto, es válida, considerando que la información es obtenida a partir de las órdenes de compra de la construcción y una estimación del kilometraje asociado a transportar esa orden de compra al proyecto.	4.65
7. En esta investigación se definió que el tiempo para fabricar un entrepiso INICIA una vez que se empiezan a colar las columnas y muros que lo soportarán y CONCLUYE cuando se da la colada del mismo. De esta forma, los consumos de agua, electricidad y combustible asociados a la construcción del entrepiso, se asignan tomando los consumos de los días de cada mes, que fueron necesarios para la construcción del entrepiso. Con base en la presentación que le fue hecha, ¿usted considera que esta es una metodología válida?	4.18
8. Usted considera que es valioso para los proyectos contar con estadísticas del consumo de agua, expresadas en la forma de: "metro cúbico de agua por metro cuadrado de entrepiso colado" (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) para todos los niveles de un edificio.	4.65
9. Usted considera que es valioso para los proyectos contar con estadísticas del consumo de electricidad, expresadas en la forma de: "kilowatt por hora de electricidad por metro cuadrado de entrepiso colado" (KWh/m <sup>2</sup> ) para todos los niveles de un edificio.	4.65
10. Usted considera que es valioso para los proyectos contar con estadísticas del consumo de combustible, expresadas en la forma de: "litros de combustible por metro cuadrado de entrepiso colado" (L/m <sup>2</sup> ) para todos los niveles de un edificio.	4.53

**Cuadro 25. Preguntas realizadas en el formulario de validación de la metodología y promedio obtenido según respuestas (continuación)**

Pregunta del formulario de validación	Promedio obtenido
11. Usted considera que el tipo de gráficos presentados es una buena manera de mostrar las estadísticas de consumo de los recursos, los cuales miden la sostenibilidad de la edificación a partir de la aplicación de la metodología elaborada.	4.76
12. Dado que existen metodologías que miden la huella hídrica y energética de los materiales de la construcción "desde la cuna hasta la tumba", pero que incorporar su cálculo a todos los materiales de un proyecto no es sencillo ni viable para la mayoría de las construcciones, usted considera que la metodología propuesta en esta investigación constituye una primera aproximación razonable y válida para la generación y registro de estadísticas de sostenibilidad a lo largo del desempeño en el proyecto.	4.59
13. La metodología presentada brinda resultados valiosos, los cuales sirven para comparar estadísticas estándar de sostenibilidad de proyectos de construcción con las de proyectos pasados, ejecutados por la misma empresa o de la industria, con el fin de poder tomar decisiones de consumo durante la etapa de construcción.	4.82



**Figura 88. Resultados de la aplicación del formulario de validación**

Las preguntas formuladas se distribuyeron en dos para analizar la situación actual a nivel nacional en cuanto a la construcción sostenible y la generación de estadísticas de consumo, dos preguntas referentes al modelo planteado para analizar el recurso del agua, tres preguntas con respecto al modelo para energía, cuatro preguntas para el modelo de combustible y cuatro preguntas para la metodología en general, con el fin de conocer la opinión

con respecto a los supuestos realizados, la visualización de los resultados en forma de gráficos y si realmente se puede considerar como una primera aproximación útil para ser aplicable en futuros proyectos de construcción en el país.

Tomando en cuenta el valor promedio de los resultados para todas las preguntas, la metodología recibió una calificación de validación de 4.6 puntos sobre 5, equivalente a un 92% de satisfacción, lo cual permite concluir que los modelos elaborados pueden brindar resultados importantes para el desarrollo de la construcción sostenible a nivel nacional.

Finalmente, entre las recomendaciones y comentarios finales realizados por el comité de validación, se encuentran las siguientes:

- Considerar el uso de un medidor interno (no sólo el del proveedor del servicio) para realizar las lecturas de control.
- Considerar el efecto de las actividades paralelas distintas a la obra gris, esto debido a que en un determinado momento se pueden estar realizando trabajos de diversas etapas al mismo tiempo, por lo cual se debe separar el consumo de los recursos según la magnitud de las actividades realizadas.
- Incluir otras fuentes de consumo de cada recurso. En el caso de agua, se podría incluir en otros estudios el agua consumida por tanquetas adquiridas o el agua de lluvia recolectada que se consume en el proyecto para diversas actividades.
- Contemplar la etapa de acabados y de movimiento de tierras dentro del estudio para analizar la totalidad del proyecto y verificar si es aplicable en cada etapa.
- Implementar la metodología en otro tipo de proyectos, principalmente horizontales como urbanizaciones o residenciales, y determinar si los indicadores planteados para la comparación de proyectos pueden utilizarse según los metros cuadrados construidos.
- Considerar dentro de la metodología una sección de observaciones generales para especificar diferencias en las metodologías constructivas, distribuciones en planta, altura, entre otras, con el objetivo de tener un contraste para explicar los resultados de cada tipo de proyecto.

## Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1. Conclusiones

- Las certificaciones de sostenibilidad para construcciones a nivel internacional y nacional toman en cuenta la aplicación de las técnicas sostenibles durante la construcción de un proyecto, no obstante, únicamente EDGE considera de manera cuantitativa el ahorro en el consumo de los recursos.
- En Costa Rica no existe un registro de datos estadísticos de consumos de los recursos, así como indicadores de sostenibilidad debidamente establecidos para medir el nivel de sostenibilidad en una construcción.
- La etapa inicial de la metodología para la definición de fuentes de consumo según las actividades realizadas en la fase de obra gris ayudó a establecer la manera de recolectar los datos de una forma más eficiente y rápida y de analizarlos de acuerdo a cada una de las fuentes. De lo anterior, se concluye que la definición de las fuentes debe considerarse como un paso fundamental al analizar otras etapas en la construcción, así como diferentes sistemas constructivos o materiales utilizados en los proyectos.
- Asimismo, se determinó que los factores de mayor importancia al considerar el consumo de agua en la fase de obra gris para obras construidas con concreto son el volumen total de concreto colado y la duración de la etapa, tomada en cuenta a partir del tiempo bruto de construcción establecido como el tiempo en días en que se realiza al menos una actividad para construir un nivel en específico.
- La elaboración de herramientas para cada etapa de la metodología resultó importante y útil para un mejor control y registro de la información. Además, a partir de la aplicación de la metodología durante la investigación, se concluye que las herramientas son viables y fáciles de utilizar, y que puedan brindar resultados relevantes del consumo de los recursos en la construcción.
- Del análisis de datos en la herramienta creada, se pueden obtener de manera simple, los consumos totales por mes, por avance de obra, por nivel y según el área de huella o la cantidad de concreto colado en cada nivel. También es posible obtener gráficos que permitan visualizar de mejor manera los resultados y que permitan la comparación de resultados entre proyectos y la generación de estándares, índices y estadísticas a través de futuras investigaciones que utilicen esta metodología, que puedan consolidar

una base de datos útil para el registro de consumos de los recursos en las construcciones.

- La recolección de datos presenciales de los proyectos en estudio se realizó en una ventana de tiempo de dos meses por medio de visitas semanales, la cual permitió una trazabilidad más específica para los proyectos y es la manera más óptima de recolectar información para determinar el consumo semanal en cada proyecto tomando en consideración las actividades de consumo de agua en la construcción.
- En cuanto al análisis de datos realizado mediante la reconstrucción de datos de meses previos, sirvió para obtener resultados globales del proyecto en periodos largos de tiempo, no obstante, no fue útil para verificar las causas de cambios bruscos en los consumos mensuales, ya que no se contaba con información suficiente de las actividades específicas realizadas durante esos periodos.
- Se logró comparar los resultados de los consumos totales, acumulados y unitarios para ambos proyectos tomando en consideración el porcentaje de avance de obra gris finalizado, los cuales pueden brindar información relevante para el registro y comparación de futuros proyectos de construcción a nivel nacional, así como para anticipar el consumo que se pueda obtener según el área o la cantidad de concreto colado en un nivel determinado y planificar acciones preventivas y correctivas para realizar un uso racional del recurso durante la construcción.
- Asimismo, para contar con un análisis completo y detallado del completo, se realizó el análisis mensual de los consumos, tomando en cuenta la sumatoria de los datos recolectados, así como para la comparación de los recibos mensuales de la compañía distribuidora de agua potable.
- A pesar de realizar la aplicación de la metodología únicamente durante la fase de obra gris de los proyectos, las demás etapas de un proceso constructivo pueden ser tomadas en cuenta como objetos de estudio y realizar los mismos procesos y procedimientos creados para el control y análisis del consumo de los recursos.
- Se validó la metodología creada con la ayuda de un comité de validación conformado por profesionales expertos en el ámbito de la construcción sostenible y estudiantes avanzados de la carrera de Ingeniería Civil, del cual se obtuvo comentarios positivos y la aprobación de los resultados que se pueden obtener como una primera aproximación del consumo de los recursos durante el proceso constructivo.

## 6.2. Recomendaciones

- 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 compararse con los datos brindados por la compañía distribuidora del recurso para evitar errores de sobrefacturación o sobreconsumos.
- Analizar factores adicionales para obtener nuevos indicadores de sostenibilidad que puedan ser útiles para la generación de estándares a nivel nacional para cada tipo de proyecto según su modalidad y su tipología constructiva, por ejemplo, tomando en cuenta el área total de construcción incluyendo obras externas y áreas de bodegas, talleres y oficinas provisionales, cantidad de personal en obra, método constructivo o ubicación.
- Asignar la fecha de inicio y final de construcción de cada nivel a partir de la programación semanal que se lleve del proyecto, tomando en consideración el momento exacto en que se inicia la construcción del nivel con la colocación de la armadura y de la formaleta, así como el colado final del entrepiso y el tiempo de curado para cada fecha respectivamente.
- Definir un procedimiento para el control del consumo de agua proveniente de tanquetas adicionales o de agua de lluvia recolectada para contemplar la información obtenida en el análisis de consumos.
- Adecuar la metodología para su aplicación en proyectos de cualquier tipología, ya sean verticales u horizontales, de manera que puedan establecerse indicadores de sostenibilidad que permitan comparar ambos tipos de proyecto, así como en obras construidas con diferentes sistemas constructivos y otros materiales como mampostería o acero para analizar el comportamiento de cada construcción.
- Aplicar la metodología elaborada en otras fases del proceso constructivo tales como movimiento de tierras o la etapa de acabados finales, tomando en cuenta que se deben definir las fuentes principales de consumo del recurso específico según las actividades que se realizan en cada etapa.
- Una vez analizado todo el ciclo constructivo de un proyecto, se debe considerar la redistribución de los consumos mensuales para los niveles tomando en cuenta el efecto de las actividades que se realicen en forma paralela y la magnitud del consumo de agua para cada una de ellas.

- Contemplar la aplicación de la metodología como parte del proceso de certificación del Programa Bandera Azul Ecológica para establecer estadísticas e índices de consumo de los recursos de diversos proyectos.
- Sistematizar la información generada de la aplicación de la metodología para los demás recursos en el estudio de la sostenibilidad de una construcción, de tal manera que se estandaricen los procedimientos y establecer una entidad responsable del manejo y la gestión de la información y resultados obtenidos.

## Referencias Bibliográficas

- Abarca, L. & Leandro, A. (2016). *Situación actual de la gestión de los materiales de construcción en Costa Rica*. Tecnología en Marcha. Vol. 29-4. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- 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 del desarrollo sostenible*. Ecosistemas. Año X, Nº3.
- Alpizar, M. (2018). *Construcción Sostenible: Internacionalización de Servicios*. Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER). San José, Costa Rica.
- Baño, A. & Vigil, A. (2005). *Guía de Construcción Sostenible*. Ministerio de Medio Ambiente: España.
- Bell, S. & Morse, S. (2008). *Sustainability Indicators: Measuring the Inmeasurable?* Forest Stewardship Council, 2ª ed. Londres, Reino Unido.
- Bermejo, R. (2014). *Del Desarrollo Sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis*. Hegoa, Vol. 1. Bilbao, España.
- BREEAM (2020). *How BREEAM Certification Works*. Recuperado de: <https://www.breeam.com/discover/how-breeam-certification-works/>
- Cabellos, D. (2018). *Herramientas y Criterios de Evaluación de la Calidad en la Edificación*. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Cámara Costarricense de la Construcción (CCCC) (2018). *Informe Económico del Sector de la Construcción*. Dirección de Investigación y Desarrollo Técnico. San José, Costa Rica.
- Cámara Costarricense de la Construcción (CCCC) (2016). *Guía Construcción Sostenible*. San José, Costa Rica.
- Castro, J. (2019). *Cuantificación y Caracterización de Residuos de Construcción para Viviendas Unifamiliares del Gran Área Metropolitana*. Trabajo Final de Graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

- Comission for Environmental Cooperation (CEC) (2008). *Green Building in North America: Opportunities and Challenges*. Montreal, Canadá.
- Dubravcic, A. (2017). *Cuantificación del Consumo de Agua en el Proceso Constructivo de Viviendas Unifamiliares Tipo. Estrategias de Minimización*. 3er Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-Eficientes, pp. 1084-1107, Sevilla, España.
- Eliseo Vargas Constructora (EVCO). *Fotografías Proyecto San José Business Center*. San José, Costa Rica.
- Eliseo Vargas Constructora (EVCO). *Fotografías Proyecto Torre Las Loras*. San José, Costa Rica.
- Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE) (2020). *Proyectos Destacados Costa Rica*. Recuperado de: [https://www.edgebuildings.com/project-studies/?lang=es&\\_sft\\_project\\_countries=costa-rica-es](https://www.edgebuildings.com/project-studies/?lang=es&_sft_project_countries=costa-rica-es)
- Estévez, R. (2013). *BREEAM, un certificado veterano para la sostenibilidad de edificaciones*. ECO Inteligencia. Recuperado de: <https://www.ecointeligencia.com/2013/06/breeam-certificado-sostenibilidad-edificaciones/>
- Gaviria, P. (2013). *Diseño de un sistema de indicadores de sostenibilidad como herramienta en la toma de decisiones para la gestión de proyectos de infraestructura en Colombia*. Trabajo de Grado para optar al Título de Maestría en Ingeniería con énfasis en la Gestión de la Construcción – Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
- Global Water Partnership Centroamérica (2013). *Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal*. Tegucigalpa, Honduras.
- Green Building Certification Inc. (GBCI) (2020). *Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE)*. Recuperado de: <https://gbc-edge.s3.amazonaws.com/edge-online/s3fs-public/resources/edge-spanish-brochure.pdf>
- Hernández, R.; Fernández, C. & Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill, 5ª ed. México D.F., México.
- Impersa (2020). Ficha técnica curador IMPERCURE. Recuperado de: [www.impersacr.com/pdfs/impercure.pdf](http://www.impersacr.com/pdfs/impercure.pdf)

- Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC) (2016). *CASBEE®: Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*. Japanese Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Tokyo, Japón.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) (2017). *INTE 06-12-01:2014/Enm 1:2017 Construcción. RESET. Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico*. Segunda Edición. Recuperado de: <http://www.arquitecturatropical.org/docs/RESET2017.pdf>
- International WELL Building Institute & International Living Future Institute (WELL & ILFI) (2017). *Approaches for projects seeking a dual rating*. Recuperado de: <https://standard.wellcertified.com/sites/default/files/WELL-LBC-Crosswalk-Final-1.pdf>
- International Living Future Institute (ILFI) (2019). *Living Building Challenge<sup>SM</sup> 4.0. A Visionary Path to a Regenerative Future*. Seattle, Estados Unidos.
- ISMD Ingeniería Sostenible (ISMD) (2017). *Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones: Anexo 1*. Colombia. Recuperado de: <http://ismd.com.co/wp-content/uploads/2017/03/Anexo-No-1-Gu%C3%ADa-de-contrucci%C3%B3n-sostenible-para-el-ahorro-de-agua-y-energ%C3%ADa-en-las-edificaciones.pdf>
- Kibert, C. et. al. (1994). *CIB-TG16 First International Conference on Sustainable Construction*. Florida, Estados Unidos.
- Macozoma D. (2002). *International Report on Construction Site Waste Management and Minimization*. International Council for Research and Innovation in Building and Construction.
- Méndez, J. A. (2009). *Elaboración de una guía de procedimientos constructivos sostenibles en edificaciones nacionales, con áreas mayores a 1000 m<sup>2</sup>*. Trabajo Final de Graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio – Colombia (MVCT) (2015). *Guía de Construcción Sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones*. Colombia.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo – Chile (MINVU) (2018). *Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile, Tomo III: Agua*. Segunda Edición. Santiago, Chile.

- Montoya, E. (2014). *Prácticas sostenibles en la construcción de edificaciones*. Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil – Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Murillo, G. (2015). *Estrategias para certificar la operación y mantenimiento del edificio administrativo de la Municipalidad de Heredia mediante el sistema de evaluación LEED O+M: EB versión 4*. Proyecto de Graduación – Ingeniería Ambiental – Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Programa Bandera Azul Ecológica (PBAE) (2019). *Manual de Procedimientos Categoría XV Construcción Sostenible*. Costa Rica.
- Ramírez, A. (2002). *La construcción sostenible*. Física y Sociedad, N° 13, págs. 30-33. España.
- Ramírez Caro, J. (2014). *Cómo diseñar una investigación académica*. 2ª ed. Heredia, Costa Rica.
- Rodríguez, S. (1 de diciembre del 2020). AyA defiende manejo de sobrefacturación: "Situación está regresando a la normalidad". AmeliaRueda.com. Recuperado de: [www.ameliarueda.com/nota/aya-defiende-sobrefacturacion-regresando-normalidad-noticias-costa-rica](http://www.ameliarueda.com/nota/aya-defiende-sobrefacturacion-regresando-normalidad-noticias-costa-rica)
- San Pedro Business Center (2020). *Proyecto Torre Las Loras*. Recuperado de: <https://sanpedrobc.com>
- Torre Las Loras (2020). *Proyecto Torre Las Loras*. Recuperado de: <https://torrelasloras.com/proyecto/>
- Valdez, V. (2014). *Aplicaciones del agua en Ingeniería Civil. Tecnología de los materiales de construcción*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú.
- U.S. Green Building Council (USGBC) (2014). *Guía de conceptos básicos de Edificios verdes y LEED*. Segunda Edición. Recuperado de [http://www.usgbc.org/files/Core%20Concepts%20Guide\\_ES.pdf](http://www.usgbc.org/files/Core%20Concepts%20Guide_ES.pdf)
- World Commission on Environment and Development (WCED) (1987). *Our Common Future (Brundtland Report)*. Naciones Unidas.

## Anexos

### Anexo 1. Formulario 001 - Confirmación de Requisitos de la Construcción

001 – Confirmación de Requisitos de la Construcción									
1. Datos Generales									
Fecha de Visita: / /			Responsable de visita:						
Nombre del Proyecto:						Código del Proyecto:			
Nombre de Constructora:									
Nombre de Desarrolladora:									
Provincia:					Cantón:				
Distrito:					Poblado:				
2. Contactos del Proyecto									
Nombre:					Cargo:				
Correo:					Teléfono:				
Nombre:					Cargo:				
Correo:					Teléfono:				
3. Descripción y Características del Proyecto									
Sector:	Público		Privado		Otro		Especifique:		
Descripción General del Proyecto:									
Tipo de Proyecto:	Habitacional		Comercial		Industrial		Infraestructura		
	Obras Complementarias				Institucional		Otros		
Área de Construcción (m <sup>2</sup> ):			Cantidad de edificios:			Cantidad de niveles:			
Fecha de Inicio de Obra Gris:					Fecha Final de Obra Gris (aproximada):				
/ /					/ /				
4. Confirmación de Requisitos									
a. Requisitos Generales									
1. ¿El proyecto lleva un control de las fechas de colado de concreto?									
Sí	No	Observaciones:							
2. ¿El proyecto lleva un cronograma actualizado del trabajo semanal?									
Sí	No	Observaciones:							
3. ¿El proyecto cuenta con una lista de actividades detalladas del proceso de obra gris según el trabajo semanal realizado?									
Sí	No	Observaciones:							
b. Requisitos Agua									
4. ¿El proyecto cuenta con medidor de consumo de agua?									
Sí	No	NA	Observaciones:						
5. ¿El proyecto cuenta con los recibos mensuales de consumo de agua?									
Sí	No	NA	Observaciones:						

**Figura 89. "Formulario 001 – Confirmación de Requisitos de la Construcción" elaborado para la metodología de control de consumo de agua en la construcción**

6. ¿El proyecto cuenta con el diseño de mezcla del concreto utilizado en sitio?						
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>	Observaciones:
7. ¿ El proyecto cuenta con registros de cosecha de lluvia?						
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>	Observaciones:
8. ¿El proyecto cuenta con registros de tanquetas de agua?						
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>	Observaciones:
c. Requisitos Energía						
9. ¿El proyecto cuenta con medidor de consumo de electricidad?						
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>	Observaciones:
10. ¿El proyecto cuenta con los recibos mensuales de consumo de electricidad?						
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>	Observaciones:
11. ¿El proyecto tiene una lista del equipo menor utilizado en campo y la cantidad de días utilizada por semana?						
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>	Observaciones:
d. Requisitos Combustible						
12. ¿El proyecto tiene una lista de la maquinaria utilizada en campo y la cantidad de días utilizada por semana?						
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>	Observaciones:
13. ¿El proyecto tiene una lista de proveedores que hacen fletes?						
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>	Observaciones:
14. ¿El proyecto lleva un control (con fechas) de cantidad de fletes y su lugar de procedencia?						
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>	Observaciones:
15. ¿El proyecto cuenta con los recibos contables de facturación de combustible?						
Sí	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	NA	<input type="checkbox"/>	Observaciones:

Recordar tomar o pedir fotografías del sitio y de las actividades desarrolladas durante la obra gris durante la visita o reunión

**Figura 89. "Formulario 001 – Confirmación de Requisitos de la Construcción" elaborado para la metodología de control de consumo de agua en la construcción (continuación)**

## Anexo 2. Formulario 002 – Instrumento de Recolección de Datos

002 – Instrumento de Recolección de Datos Semanales			
<b>1. Datos Generales</b>			
Fecha de Visita: / /	Responsable de visita:		
Nombre del Proyecto:	Código del Proyecto:		
Nombre de Constructora:			
Nombre de Desarrolladora:			
Provincia:	Cantón:		
Distrito:	Poblado:		
<b>2. Contactos del Proyecto</b>			
Nombre:	Cargo:		
Correo:	Teléfono:		
Nombre:	Cargo:		
Correo:	Teléfono:		
<b>3. Datos Obtenidos</b>			
<b>a. Datos Generales</b>			
1. Plan de Trabajo Semanal	Observaciones:		
<b>b. Datos de Agua</b>			
2. Medición semanal de medidor(es) (L)			
3. Consumo semanal de tanquetas de agua (L)			
4. Consumo semanal de cosecha de agua (L)			
5. Volumen de concreto colado en la semana por nivel			
Nivel	Resistencia concreto (kg/cm <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	
<b>c. Datos de Energía</b>			
6. Medición semanal de medidor(es) (kW/h)			
<b>d. Datos de Combustible</b>			
7. Horas al día (promedio) de uso de maquinaria en campo (horas)			
Maquinaria	Horas al día	Horas a la semana	
8. Fichas técnicas de maquinaria en campo			
Sí	No	NA	Observaciones:
<b>e. Datos de Residuos</b>			
9. Registro de pesaje de residuos			
Material	Peso (kg)		

**Figura 90. "Formulario 002 – Instrumento de Recolección de Datos" elaborado para la metodología de control de consumo de agua en la construcción**

### Anexo 3. Datos de entrada para el análisis de datos del proyecto Torre Las Loras según la metodología aplicada

**Cuadro 26. Datos e información de entrada en la herramienta de análisis de datos del proyecto Torre Las Loras**

Mes		Fecha de inicio de semana	Fecha final de semana	Gasto Mensual por medidor (m <sup>3</sup> )	Actividades	Gasto Mensual Acumulado por medidor (m <sup>3</sup> )
1	Enero	02/01/2020	04/01/2020	55	Movimiento de tierras; C (obra gris)	55
		06/01/2020	11/01/2020		Movimiento de tierras; C (obra gris)	
		13/01/2020	18/01/2020		Movimiento de tierras; C, S1 (obra gris)	
		20/01/2020	25/01/2020		C, S1 (obra gris)	
		27/01/2020	31/01/2020		C, S1 (obra gris)	
2	Febrero	01/02/2020	08/02/2020	162	C, S1 (obra gris)	217
		10/02/2020	15/02/2020		C, S1 (obra gris)	
		17/02/2020	22/02/2020		C, S1 (obra gris)	
		24/02/2020	29/02/2020		C, S1, N1 (obra gris)	
3	Marzo	02/03/2020	07/03/2020	92	C, S1, N1 (obra gris)	309
		09/03/2020	14/03/2020		C, S1, N1 (obra gris)	
		16/03/2020	21/03/2020		S1, N1 (obra gris)	
		23/03/2020	28/03/2020		S1, N1, N2 (obra gris)	
		30/03/2020	31/03/2020		S1, N2 (obra gris)	
4	Abril	01/04/2020	04/04/2020	92	S1, N2 (obra gris)	401
		06/04/2020	11/04/2020		N2 (obra gris)	
		13/04/2020	18/04/2020		N2 (obra gris)	
		20/04/2020	25/04/2020		N2, N3 (obra gris)	
		27/04/2020	30/04/2020		N3 (obra gris)	
5	Mayo	02/05/2020	09/05/2020	97	N3 (obra gris)	498
		11/05/2020	16/05/2020		N3, N4 (obra gris)	
		18/05/2020	23/05/2020		N4 (obra gris)	
		25/05/2020	30/05/2020		N4, N5 (obra gris)	
6	Junio	01/06/2020	06/06/2020	554	N5 (obra gris)	1052
		08/06/2020	13/06/2020		N5, N6 (obra gris)	
		15/06/2020	20/06/2020		N5, N6 (obra gris)	
		22/06/2020	27/06/2020		N5, N6, N7 (obra gris)	
		29/06/2020	30/06/2020		N6, N7 (obra gris)	

**Cuadro 26. Datos e información de entrada en la herramienta de análisis de datos del proyecto Torre Las Loras (continuación)**

Mes		Fecha de inicio de semana	Fecha de final de semana	Gasto Mensual por medidor (m <sup>3</sup> )	Actividades	Gasto Mensual Acumulado por medidor (m <sup>3</sup> )
7	Julio	01/07/2020	04/07/2020	554	N7 (obra gris)	1606
		06/07/2020	11/07/2020		N7, N8 (obra gris)	
		13/07/2020	18/07/2020		SEMANA DE PARO COVID-19	
		20/07/2020	25/07/2020		N8 (obra gris); S1, N1 (acabados)	
		27/07/2020	31/07/2020		N8, N9 (obra gris); S1, N1 (acabados)	
8	Agosto	01/08/2020	08/08/2020	591	N8, N9 (obra gris); S1, N1 (acabados)	2197
		10/08/2020	15/08/2020		N9, N10 (obra gris); S1, N1 (acabados); Obras Externas Complementarias	
		17/08/2020	22/08/2020		N10, N11 (obra gris); N2, N3, N4 (acabados); Obras Externas Complementarias	
		24/08/2020	31/08/2020		N11 (obra gris); N2, N3, N4 (acabados); Obras Externas Complementarias	
9	Setiembre	01/09/2020	05/09/2020	479	N11 (obra gris); N2, N3, N4 (acabados); Obras Externas Complementarias	2676
		07/09/2020	12/09/2020		N11, A (obra gris); N2, N3, N4 (acabados); Obras Externas Complementarias	
		14/09/2020	19/09/2020		N5, N6 (acabados); Obras Externas Complementarias	
		21/09/2020	26/09/2020		N5, N6 (acabados); Obras Externas Complementarias	
		28/09/2020	30/09/2020		N5, N6 (acabados); Obras Externas Complementarias	

## Anexo 4. Datos de entrada para el análisis de datos del proyecto San Pedro Business Center según la metodología aplicada

**Cuadro 27. Datos e información de entrada en la herramienta de análisis de datos del proyecto San Pedro Business Center**

Mes		Fecha de inicio de semana	Fecha final de semana	Gasto Mensual por medidor (m <sup>3</sup> )	Actividades	Gasto Mensual Acumulado por medidor (m <sup>3</sup> )
1	Enero	02/01/2020	04/01/2020	0	Movimiento de Tierras	0
		06/01/2020	11/01/2020		Movimiento de Tierras	
		13/01/2020	18/01/2020		Movimiento de Tierras	
		20/01/2020	25/01/2020		Movimiento de Tierras	
		27/01/2020	31/01/2020		Movimiento de Tierras	
2	Febrero	01/02/2020	08/02/2020	100	C (obra gris)	100
		10/02/2020	15/02/2020		C, S2 (obra gris)	
		17/02/2020	22/02/2020		C, S2 (obra gris)	
		24/02/2020	29/02/2020		C, S2 (obra gris)	
3	Marzo	02/03/2020	07/03/2020	72	C, S2 (obra gris)	172
		09/03/2020	14/03/2020		C, S2, S1 (obra gris)	
		16/03/2020	21/03/2020		S2, S1 (obra gris)	
		23/03/2020	28/03/2020		S2, S1, N1 (obra gris)	
		30/03/2020	31/03/2020		S1, N1 (obra gris)	
4	Abril	01/04/2020	04/04/2020	67	S1, N1 (obra gris)	239
		06/04/2020	11/04/2020		S1, N1 (obra gris)	
		13/04/2020	18/04/2020		S1, N1, N1.5 (obra gris)	
		20/04/2020	25/04/2020		N1, N1.5 (obra gris)	
		27/04/2020	30/04/2020		N1, N1.5 (obra gris)	
5	Mayo	02/05/2020	09/05/2020	405	N1, N1.5, N2 (obra gris)	644
		11/05/2020	16/05/2020		N1.5, N2 (obra gris)	
		18/05/2020	23/05/2020		N1.5, N2, N2.5 (obra gris)	
		25/05/2020	30/05/2020		N2, N2.5 (obra gris)	
6	Junio	01/06/2020	06/06/2020	301	N2, N2.5, N3 (obra gris)	945
		08/06/2020	13/06/2020		N2.5, N3 (obra gris); S2, S1, N1, N1.5 (acabados)	
		15/06/2020	20/06/2020		N2.5, N3 (obra gris); S2, S1, N1, N1.5 (acabados)	
		22/06/2020	27/06/2020		N3, N4 (obra gris); S2, S1, N1, N1.5 (acabados)	
		29/06/2020	30/06/2020		N3, N4 (obra gris); S2, S1, N1, N1.5 (acabados)	

**Cuadro 27. Datos e información de entrada en la herramienta de análisis de datos del proyecto San Pedro Business Center (continuación)**

Mes		Fecha de inicio de semana	Fecha de final de semana	Gasto Mensual por medidor (m <sup>3</sup> )	Actividades	Gasto Mensual Acumulado por medidor (m <sup>3</sup> )
7	Julio	01/07/2020	04/07/2020	242	N4, N5 (obra gris); S2, S1, N1, N1.5 (acabados)	1187
		06/07/2020	11/07/2020		N4, N5 (obra gris); S2, S1, N1, N1.5, N2, N2.5 (acabados)	
		13/07/2020	18/07/2020		SEMANA DE PARO COVID-19	
		20/07/2020	25/07/2020		N5 (obra gris); N2, N2.5 (acabados)	
		27/07/2020	31/07/2020		N5, N6 (obra gris); N1, N1.5, N2, N2.5, N3 (acabados)	
8	Agosto	01/08/2020	08/08/2020	341	N5, N6, N7 (obra gris); N1, N1.5, N2, N2.5, N4 (acabados)	1598
		10/08/2020	15/08/2020		N6, N7 (obra gris); N1, N1.5, N2, N2.5, N3, N4, N5 (acabados)	
		17/08/2020	22/08/2020		N6, N7 (obra gris); N1, N1.5, N2, N2.5, N3, N4, N5 (acabados)	
		24/08/2020	31/08/2020		N7, N8 (obra gris); N1, N1.5, N2, N2.5, N3, N4, N5 (acabados)	
9	Setiembre	01/09/2020	05/09/2020	429	N7, N8 (obra gris); N1, N2, N3, N4, N5 (acabados)	1957
		07/09/2020	12/09/2020		N8, N9 (obra gris); N1, N2, N3, N4, N5, N6 (acabados)	
		14/09/2020	19/09/2020		N9 (obra gris); N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7 (acabados)	
		21/09/2020	26/09/2020		N9 (obra gris); N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7 (acabados)	
		28/09/2020	30/09/2020		N9 (obra gris); N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8 (acabados)	

## Anexo 5. Herramienta de evaluación aplicado para la validación de la metodología elaborada

### Validación de metodología para el control y análisis de los recursos durante la fase de obra gris de un proyecto

Con el siguiente cuestionario se pretende conocer su opinión acerca de la metodología para la gestión, control y análisis del consumo de recursos energéticos e hídricos en la construcción de edificios durante la etapa de obra gris.

En las afirmaciones presentadas, debe indicar qué tan de acuerdo se encuentra, donde 1 es totalmente en desacuerdo y 5 es totalmente de acuerdo. Además, podrá brindar recomendaciones generales, si lo considera necesario, en el espacio disponible al final del formulario.

**\*Obligatorio**

1. A nivel nacional, usted considera que existe un vacío en el desarrollo de estadísticas de consumos de recursos (agua y energía) que permitan medir el desempeño relacionado a la sostenibilidad de las construcciones de edificaciones. \*

1

2

3

4

5

2. A nivel nacional, usted considera necesario que exista un método para estimar y registrar los datos de consumos de recursos (agua y energía) en una edificación durante su construcción. \*

1

2

3

4

5

Figura 91. Herramienta de evaluación aplicada para la validación de la metodología

3. Con base en la presentación que le fue hecha, usted considera que el modelo para calcular el consumo de agua en un proyecto, el cual toma en cuenta los datos adquiridos directamente de los medidores de agua y además adiciona el agua adherida al concreto colado (según el diseño de mezcla); es una primera aproximación válida y genera estadísticas útiles para la sostenibilidad de las construcciones. \*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

4. Con base en la presentación que le fue hecha, usted considera que el modelo para calcular el consumo de electricidad en un proyecto, el cual toma en cuenta los datos adquiridos directamente de los medidores eléctricos; es una primera aproximación válida y genera estadísticas útiles para la sostenibilidad de las construcciones. \*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

5. Con base en la presentación que le fue hecha, usted considera que el modelo para calcular el consumo de combustible en un proyecto, el cual toma en cuenta el consumo de la maquinaria utilizada en campo y el consumo del transporte de materiales hacia el proyecto; es una primera aproximación válida y genera estadísticas útiles para la sostenibilidad de las construcciones. \*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

**Figura 91. Herramienta de evaluación aplicada para la validación de la metodología (continuación)**

6. Con base en la presentación que le fue hecha, usted considera que la metodología de estimación y registro de consumo de combustible por fletes de materiales, desde el origen del proveedor hasta el destino del proyecto, es válida, considerando que la información es obtenida a partir de las órdenes de compra de la construcción y una estimación del kilometraje asociado a transportar esa orden de compra al proyecto. \*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

7. En esta investigación se definió que el tiempo para fabricar un entrepiso INICIA una vez que se empiezan a colar las columnas y muros que lo soportarán y CONCLUYE cuando se da la colada del mismo. De esta forma, los consumos de agua, electricidad y combustible asociados a la construcción del entrepiso, se asignan tomando los consumos de los días de cada mes, que fueron necesarios para la construcción del entrepiso. Con base en la presentación que le fue hecha, ¿usted considera que esta es una metodología válida? \*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

8. Usted considera que es valioso para los proyectos contar con estadísticas del consumo de agua, expresadas en la forma de: "metro cúbico de agua por metro cuadrado de entrepiso colado" ( $m^3/m^2$ ) para todos los niveles de un edificio. \*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

**Figura 91. Herramienta de evaluación aplicada para la validación de la metodología (continuación)**

9. Usted considera que es valioso para los proyectos contar con estadísticas del consumo de electricidad, expresadas en la forma de: "kilowatt por hora de electricidad por metro cuadrado de entrepiso colado" (KWh/m<sup>2</sup>) para todos los niveles de un edificio. \*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

10. Usted considera que es valioso para los proyectos contar con estadísticas del consumo de combustible, expresadas en la forma de: "litros de combustible por metro cuadrado de entrepiso colado" (L/m<sup>2</sup>) para todos los niveles de un edificio. \*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

11. Usted considera que el tipo de gráficos presentados es una buena manera de mostrar las estadísticas de consumo de los recursos, los cuales miden la sostenibilidad de la edificación a partir de la aplicación de la metodología elaborada. \*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

**Figura 91. Herramienta de evaluación aplicada para la validación de la metodología (continuación)**

12. Dado que existen metodologías que miden la huella hídrica y energética de los materiales de la construcción "desde la cuna hasta la tumba", pero que incorporar su cálculo a todos los materiales de un proyecto no es sencillo ni viable para la mayoría de las construcciones, usted considera que la metodología propuesta en esta investigación constituye una primera aproximación razonable y válida para la generación y registro de estadísticas de sostenibilidad a lo largo del desempeño en el proyecto. \*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

13. La metodología presentada brinda resultados valiosos, los cuales sirven para comparar estadísticas estándar de sostenibilidad de proyectos de construcción con las de proyectos pasados, ejecutados por la misma empresa o de la industria, con el fin de poder tomar decisiones de consumo durante la etapa de construcción. \*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

14. ¿Qué recomendaciones considera pertinentes para mejorar el funcionamiento de la metodología presentada? \*

Tu respuesta

---

15. Si tiene algún comentario adicional con respecto a la metodología presentada, puede indicarlo en el espacio disponible: \*

Tu respuesta

---

**Figura 91. Herramienta de evaluación aplicada para la validación de la metodología (continuación)**