



DIAGNÓSTICO DE LA DEMANDA Y PRIORIZACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

LUIS ALDAIR CASTILLO MERCADO

Universidad Magdalena

Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
D. T. C. H. Santa Marta, Colombia
2020



PASANTIA DE INVESTIGACION: DIAGNÓSTICO DE LA DEMANDA Y PRIORIZACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

Luis Aldair Castillo Mercado

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director (a):

PhD. Sonia Esperanza Aguirre Forero

Codirector (a):

MSc. Milagros Carrillo Cantillo

Línea de Investigación:

Recursos Hídricos

Grupo de Investigación:

Suelo, Ambiente y Sociedad (GISAS).

Universidad del Magdalena

Facultad de Ingeniería

programa de Ingeniería Civil

D. T.C.H. Santa Marta, Colombia

2020

Nota de aceptación:

Aprobado por el Consejo de Programa en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad del Magdalena para optar al título de Ingeniería Civil.

Jurado

Jurado

Santa Marta, ____ de ____ del ____

Dedicatoria.

En cambio, la sabiduría que desciende del cielo es ante todo pura, y además pacífica, bondadosa, dócil, llena de compasión y de buenos frutos, imparcial y sincera.

Santiago 3:17

En primer lugar, dedicarle este trabajo a Dios por su amor infinito, y que fue mi guía en todo momento, en segundo lugar, a mis padres María y Luis; a mis hermanos, Anderson y María Kamila. Y a mi abuela Dolores. Ellos son y serán la razón de mis esfuerzos, el motivo y la fortaleza. Y por último lugar, a mis familiares y amigos que siempre creyeron en mí.

AGRADECIMIENTOS

Los agradecimientos principalmente a Dios que me ha dado entendimiento y sabiduría en el transcurso de mi carrera, y que nunca me desamparó. También, darle la gracia a mi familia que es mi motor para no rendirme, a mi madre MARIA CONCEPCION MERCADO PUENTES que es mi fuente de inspiración, a mi padre LUIS ANTONIO CASTILLO GALLARDO que siempre me ha apoyado en los momentos más difíciles; también a mis hermanos que los adoro y amo, ANDERSON ANDRES CASTILLO MERCADO y MARIA KAMILA CASTILLO MERADO.

Agradecerle a la Ing. (a) MILAGROS CARRILLO que me dio la oportunidad de estar en su proyecto de investigación, y que me guio y dirigió en este proceso tan bonito; y desde luego, aprendí mucho al lado de ella; también a mis compañeros de la pasantía que sin ellos no fuera posible, ANDRES ALVARADO y DANAY PARDO.

Asimismo, agradecerles a mis profesores; principalmente al Lic. WILSON VELASQUEZ, que me enseñó que la disciplina es lo primero, y supera la excelencia; igualmente, al PhD. ALLEX ÁLVAREZ, que me inculco el granito de la investigación que estaba dentro de mí. También, al Ing. ALBEIRO DIAZ, más que un profesor, fue un maestro en todo el sentido de la palabra. Al mismo tiempo, darle la gracias también a mi compañero IVAN MOLINA, que me enseñó amar y a entender el mundo de las matemáticas.

También agradecerles a esas personas que compartieron conmigo en esta etapa de mi vida, y que tuvieron en los buenos y malos momentos, como mi gran amigo MARIO SALTAREN y JESUS PEREZ; a ARMANDO TONCEL que siempre estuvo ahí en apoyarme; a mi gran amiga y que la adoro a MARIA TAMARA y JUANA JIMENEZ; igualmente a SERGIO RODRIGUEZ que me dio la mano en todo momento, y JORGE BRIEVA que siempre me abrió las puertas de su casa y de su familia. Igualmente, agradecer a la Alma Mater de la Universidad del Magdalena que me regalo los mejores años de mi vida.

Quizás se me olvide los nombres de muchas personas que compartieron y convivieron conmigo en el transcurso de mi carrera universitaria, les doy las gracias, y siempre los llevare en mi MENTE, y en mi CORAZÓN.

Resumen

La gestión que se realiza sobre el recurso hídrico se puede dividir en cuatro grandes grupos: planificación, administración, seguimiento y monitoreo, y manejo de conflictos relacionados con el agua (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Las siguientes acciones fueron realizadas en el marco del proyecto investigativo ***“Formulación de estrategias para la gestión integral y sostenible del agua en el campus de la universidad del Magdalena: Del diagnóstico integral a la acción sistémica y participativa”***, dentro de las cuales se realizó un diagnóstico sobre la demanda de agua en el campus universitario que permitiera la identificación y priorización de estrategias encaminadas al uso sostenible del recurso, dando logro al cumplimiento de las metas de la política de sostenibilidad institucional así como aprovechar el campus como un gran laboratorio vivo de experimentación.

La sede principal de la Universidad del Magdalena se encuentra debajo de un acuífero y su principal fuente de abastecimiento es un pozo subterráneo que se encuentra concesionado para los usos de riego, doméstico, agrícola y pecuario, siendo las actividades que representan la mayor demanda de agua. Con el propósito de identificar y priorizar estrategias para el manejo sostenible del agua en el campus, asociado al buen uso y aprovechamiento, se realizó el diagnóstico sobre el estado del Recurso Hídrico principalmente en el tema de demanda y abastecimiento, haciendo un análisis de los consumos de agua entre los años 2018 y 2019, en donde este último año representa una alta demanda o extracción importante debido a que se abasteció a más del 50% de los barrios de la ciudad de Santa Marta, entre los meses de abril a julio del 2019, producto de la fuerte sequía presentada. Por tal motivo la universidad del Magdalena, en su compromiso con el bienestar de los habitantes, puso en disposición al prestador del servicio de agua ESSMAR, el pozo subterráneo ubicado en su predio.

Por otra parte, se hizo un inventario y análisis del estado de los aparatos hidrosanitarios del campus de la universidad del Magdalena, con el fin de implementar estrategias ligadas a las redes e instalaciones hidrosanitarias que permitan mejorar la eficiencia del sistema en cuanto a ahorro y calidad de agua. Asimismo, se realizaron actividades generales y/o complementarias en el proyecto y, por último, se aplicó el método multicriterio AHP de Saaty, para la priorización de las estrategias.

Palabras claves: Agua, Población, abastecimiento, Multicriterio, Estrategias.

ABSTRACT

The management that is carried out on the water resource can be divided into four main groups: planning, administration, follow-up and monitoring, and management of conflicts related to water (Colombia. Ministry of Environment, Housing and Territorial Development, 2010). The following actions were carried out within the framework of the research project “Formulation of strategies for the integral and sustainable management of water on the campus of the University of Magdalena: From comprehensive diagnosis to systemic and participatory action”, which were aimed at carrying out of a comprehensive diagnosis on water supply on the university campus to identify strategies for sustainable use of the resource on the campus of the Universidad del Magdalena, achieving the fulfillment of the goals of the institutional sustainability policy as well as taking advantage of the campus like a big experimentation laboratory.

The University campus is under an aquifer and its main source of supply is an underground well that is under concession to be exploited according to the main activities that represent the greatest amount of water, being irrigation, domestic use, agriculture and livestock. In order to search for and identify strategies for the sustainable management of water on campus, associated with good use and exploitation, a diagnosis was made on the state of the Water Resource on the campus of the Universidad del Magdalena, making an analysis of consumption of water between the years 2018 and 2019, where this last year represents a high demand or significant extraction due to the fact that the population of Santa Marta had to be supplied, providing more than 50% of the city's neighborhoods with a large supply of drinking water. For this reason, the University of Magdalena, in its commitment to the well-being of the inhabitants, made available to the water service provider ESSMAR, the underground well located on its premises.

On the other hand, an inventory and state of the hydrosanitary devices of the Magdalena University campus was made, in order to know what the state of these devices is, and to be able to implement strategies linked to hydrosanitary networks and facilities with in order to improve the efficiency of the system in terms of saving and water quality. They

also carried out general and / or complementary activities in the project. And finally, a methodology was chosen to carry out a prioritization exercise of the strategies identified for the sustainable use and exploitation of water within the Magdalena University campus, where Saaty's AHP multi-criteria method was used.

Key words: Water, Population, supply, Multicriteria, Strategies.

Contenido

Resumen	VII
Lista de tablas	XIII
Lista de graficas.....	XV
Lista de figuras.....	XVI
Lista de símbolos.....	XVII
Introducción	1
Justificación	3
1. Apoyo en la realización del diagnóstico sobre el estado del Recurso Hídrico en el campus de la Universidad del Magdalena.	5
1.1. Área de Estudio.	5
1.2. Estimación de la Demanda.	7
1.2.1. Relación usos-demanda.	13
1.2.2. Monitoreo de volumen de agua en puntos de muestreo.	19
2. Inventario y estado de los aparatos hidrosanitarios del campus de la Universidad del Magdalena.....	23
1. Análisis Multicriterio Para La Evaluación De Estrategias.....	43
3.1. Análisis multicriterio.	43
3.1.1. Metodología AHP.	43
3.1.2. Fundamentos teóricos del AHP.	43
3.1.3. Esquema del modelo AHP.	44
3.2. Criterios.	47
3.3. Descripción de las estrategias.	47
3.4. Resultado de los análisis multicriterio para la evaluación de estrategias.	49
3.5. Propuesta de implementación de estrategias.....	67
3.5.1. Propuesta de “Usos de dispositivos ahorradores”.	67

3.5.2. Propuesta de “Usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales”.	71
3.5.3. Propuesta de “Aprovechamiento de agua lluvias”.	73
3.5.4. Propuestas de “Identificación y diseño de puntos de recarga natural para el acuífero presente en el campus de la Universidad del Magdalena”.	75
3.5.5. Propuesta de “Aprovechamiento de las aguas de los aires acondicionados”. ..	76
3.5.6. Propuesta de “Adecuación de filtros purificadores de agua”.	77
3.5.7. Propuesta de “Diseño de una planta de tratamiento de agua potable”.....	77
4. Actividades Generales Y/O Complementarias	79
4.1. Registro y análisis del agua del pozo del campus de la universidad del Magdalena para el apoyo de las necesidades de la comunidad de santa marta 2019. ..	79
5. Conclusiones	95
Bibliografía	103

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Registro población Universitaria del campus de la universidad del Magdalena.	10
Tabla 2. Registro de agua captada por medio de carro tanques 2019.....	12
Tabla 3. Captación de agua por usos.....	13
Tabla 4. Análisis de la relación población vs consumo sin población flotante, en el campus de la universidad del Magdalena, en los periodos 2018 y 2019.....	15
Tabla 5. Dotación neta de la población de la universidad del Magdalena sin población flotante.	16
Tabla 6. Población flotante (visitantes) del campus de la universidad del Magdalena.....	18
Tabla 7. Proyección de la población de la universidad del Magdalena.	19
Tabla 8. Consumos máximos diarios de los bloques de Ciénega Grande, Sierra Nevada y Hangares en los meses de estudio.....	21
Tabla 9. Inventario de aparatos sanitarios por bloques, del campus de la universidad del Magdalena.	24
Tabla 10. Promedio total de aparatos sanitarios del campus de la universidad del Magdalena.	34
Tabla 11. Inventario de aparatos sanitarios en mal estado por bloques, del campus de la universidad del Magdalena.	38
Tabla 12. Valoración de los juicios.	45
Tabla 13. Valores de RI para matrices de diferentes órdenes.	46
Tabla 14. Escala de comparación método AHP.	46
Tabla 15. Matriz de comparación de criterios realizado por el Ing. Andrés Hatum.	51
Tabla 16. Matrices de criterio normalizadas.....	52
Tabla 17. Vector de prioridad de criterios.....	52
Tabla 18. Radio de Consistencia.....	54
Tabla 19. Matriz de comparación del criterio de "Espacio Físico" realizado por el Ing. Andrés Hatum.	55
Tabla 20. Matriz normalizada del criterio de "Espacio Físico".	58
Tabla 21. Vector de prioridad del criterio de "Espacio Físico".	60
Tabla 22. Matriz de prioridad global.	61

Tabla 23. Resultados de Andrés Hatum del análisis multicriterio para la evaluación de estrategias.	62
Tabla 24. Resultados de Álvaro Castillo del análisis multicriterio para la evaluación de estrategias.	63
Tabla 25. Resultados de Eliana Vergara del análisis multicriterio para la evaluación de estrategias.	64
Tabla 26. Resultados de Isaac Romero del análisis multicriterio para la evaluación de estrategias.	65
Tabla 27. Resultados de David Macías del análisis multicriterio para la evaluación de estrategias.	66
Tabla 28. Valores de volumen promedio mensual y volumen promedio anual sobre los bloques de Sierra Nevada y Ciénega Grande.	74
Tabla 29. Volumen total de agua por día suministrado por la universidad del Magdalena.	81
Tabla 30. Cantidad de viajes de agua durante la operación del pozo de la universidad del Magdalena.	82
Tabla 31. Capacidad máxima de los carrotaques utilizados en la operación del pozo de la Universidad del Magdalena.....	84

Lista de graficas

	Pág.
Grafica 1. Relación de ingresos mensual de población medida por los sensores de la entrada del campus.....	9
Grafica 2. Relación de captación de agua del pozo del mes de marzo de 2018 hasta agosto de 2019.	11
Grafica 3. Comparación de captación de agua del pozo del año del 2018 y 2019:	12
Grafica 4. Relación de captación de agua por usos, del mes de febrero hasta el mes de agosto.	14
Grafica 5. Comparación de dotación neta de la universidad del Magdalena y dotación neta según el uso del agua en educación superior (RAS).	17
Grafica 6. Consumo Máximos mensual de los bloques de Ciénega Grande, Sierra Nevada y Hangares en los meses de estudio.....	21
Grafica 7. Relación de consumo de los bloques de sierra Nevada, Ciénega Grande y los Hangares del mes de marzo hasta el mes agosto de 2020.	22
Grafica 8. Porcentaje de aparatos sanitarios por género en el campus de la Universidad del Magdalena.....	33
Grafica 9. Números de aparatos sanitarios en el campus de la Universidad del Magdalena.	34
Grafica 10. Números de aparatos sanitarios por bloques en el campus de la Universidad del Magdalena.....	35
Grafica 11. Números de aparatos sanitarios en mal estado en el campus de la Universidad del Magdalena.....	40
Grafica 12. Relación de números de aparatos sanitarios en mal estado por bloques, en el campus de la Universidad del Magdalena.	40
Grafica 13. Diferencia entre aparatos sanitarios de buen estado y mal estado, por género en el campus de la Universidad del Magdalena.	41
Grafica 14. Diferencia porcentual entre inodoros con tanque e inodoro con fluxómetro, en el campus de la Universidad del Magdalena.	42
Grafica 15. Diferencia porcentual entre lavamanos con grifo y lavamanos con llave temporizada, en el campus de la Universidad del Magdalena.....	42

Grafica 16. Volúmenes de agua por día suministrado por la universidad del Magdalena.	81
Grafica 17. Relación de viajes de agua realizados durante la operación del pozo de la universidad del Magdalena.	83
Grafica 18. Número de viajes totales por cada barrio en los días de estudio.	87
Grafica 19. Relación de viajes por día a cada barrio del 18 al 24 de abril.	88
Grafica 20. Relación de viajes por día a cada barrio del 25 al 29 de abril.	89
Grafica 21. Relación de viajes por día a cada barrio del 30 de abril y 01 de mayo.	90
Grafica 22. Relación de captación de agua del pozo del mes de octubre de 2018 hasta abril de 2019.	91

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Área de Estudio: Santa Marta Colombia, Universidad del Magdalena.	5
Figura 2. Ubicación del pozo de la Universidad del Magdalena.	7
Figura 3. Puntos de monitoreo para la medición de volúmenes de agua en el campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.	20
Figura 4. Ahorradores de agua adaptable a tarja de cocina y lavamanos.	68
Figura 5. Inodoro EcoFlush de Corona.	69
Figura 6. Sanitario Propelair de Phoenix.	70
Figura 7. Válvula de Control de Flujo.	72
Figura 8. Detector electromagnético.	72
Figura 9. Puntos para instalar los dispositivos para el control y mediciones de caudales.	73
Figura 10. Imagen satelital en que se hizo punto donde se efectuó el sondeo.	75
Figura 11. Precipitación en Santa Marta (mm).	80

Lista de símbolos

Símbolo	Significado
L	Litro.
%perdida	pérdidas máximas admisibles. Según el RAS, el porcentaje de pérdidas máximas admisibles no deberá superar el 25%.
°C	Grado centígrado.
Dbruta	Dotación bruta.
Dneta	Dotación neta.
hab	habitante.
IA	índice de aleatoriedad.
IC	índice de consistencia.
Km	kilómetro.
Km²	Kilómetro cuadrado.
L/hab*día	Litro habitante por día.
m	Metro.
m.s.n.m	Metro sobre el nivel del mar.
M³	Metro cubico.
mm	Milímetro.
n:	tiempo de proyección.
nm	Nanómetro.
Pci	población correspondiente al censo inicial con información. (Habitantes).
Pf	población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).
Puc	población correspondiente la proyección del DANE (habitantes).
r	Tasa de crecimiento anual en forma de decimal.
RC	Radio de consistencia.

Introducción

El planeta Tierra abundan diferentes formas de vida, que incluyen a más de 6.000 millones de seres humanos, no obstante, se enfrenta en este comienzo de siglo a una grave crisis de agua. Además, las señales parecen indicar que la crisis se está empeorando y que continuará haciéndolo, a no ser que se empiece una acción correctiva (WWAP, 2003). Asimismo, el agua y el empleo poseen muchos denominadores comunes, por ejemplo, el agua es fundamental para la supervivencia humana, el medio ambiente y la economía, y un trabajo digno es la principal locomotora del desarrollo y de unas condiciones de vida mejores (WWAP, 2016).

Sin embargo, el desarrollo urbano, el cambio climático, el crecimiento demográfico, la contaminación del agua y los cambios en los patrones de consumo han contribuido lastimosamente al desbalance entre la disponibilidad de fuentes hídricas de calidad y la demanda de agua (Manco Silva, Guerrero Erazo, & Ocampo Cruz, 2012).

El Banco Interamericano de Desarrollo, BID, conforme a los mandatos emanados del Octavo Incremento General de Capital del Banco (IDB-8), aprobó una estrategia general de fomento y apoyo al manejo integrado de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe. La estrategia adoptada por el BID significa un cambio de paradigma, congruente con la evolución del enfoque de intervención proyecto por proyecto, hacia un enfoque de desarrollo por subsector, luego hacia un enfoque de manejo del agua por subsector de uso y, finalmente, un enfoque orientado al manejo integrado de los recursos hídricos (Aguilar, Lopez, Flores, & Morgan, 1999).

El análisis del desarrollo sostenible y el agua en cuanto derecho en Colombia toma como eje central el agua, como uno de los componentes fundamentales para el desarrollo sostenible y para la viabilidad de los sistemas ecológicos que soportan la producción actual (Díaz Pulido, y otros, 2009). Por otro lado, en Colombia se evidencia los efectos del cambio climáticos, como el blanqueamiento de corales (ocasionado por el aumento de temperatura), derretimientos de glaciares, además, se presentan en diferentes regiones del país fuertes lluvias e incendios forestales.

No obstante, la Región Atlántica no es ajena a esto desastres naturales, dado que, en los últimos años se han presentado grandes ventarrones y sequias prolongadas, este último afectando directamente al departamento del Magdalena dando paso a la disminución crítica de los caudales de la zona, lo que coloca en riesgo el suministro eficiente de agua. Ahora bien, la Universidad del Magdalena, en su compromiso con el bienestar de la región y no siendo ajeno a esta problemática, el periodo de gobierno rectoral (2016-2020), le está apostando al desarrollo sostenible y ha implementado políticas de sostenibilidad.

El trabajo está dividido en cinco capítulos: 1. Apoyo en la realización del diagnóstico sobre el estado del Recurso Hídrico en el campus de la Universidad del Magdalena; 2. Inventario y estado de los aparatos hidrosanitarios del campus de la universidad del Magdalena; 3. Análisis Multicriterio Para La Evaluación De Estrategias; 4. Actividades Generales Y/O Complementarias; 5. Conclusiones. Durante el desarrollo de la pasantía se realizó un análisis relacionado con el estado actual del recurso hídrico del campus en materia de demanda, usos, sistema de distribución y redes hidrosanitarias, así como el análisis de una evaluación multicriterio realizada por panel de expertos para ayudar a priorizar la implementación de las estrategias basadas en la sostenibilidad del agua. Finalmente, se logran diseñar algunas de las estrategias identificadas

Justificación

“La gestión de los recursos hídricos requiere nuevas soluciones para contrarrestar los crecientes desafíos de la seguridad hídrica derivados del aumento de población y el cambio climático” (WWAP, 2018). El departamento del Magdalena ubicado en la Costa Atlántica Colombiana, bañado por el Mar Caribe y los principales ríos que nacen en la Sierra Nevada de Santa Marta, la cual, enmarcan una economía de gran importancia para el crecimiento y desarrollo del territorio. Su capital es la ciudad de Santa Marta ubicada al norte del departamento. Además, algunos expertos indican que los ríos de la Sierra Nevada producen más de 10.000 millones de metros cúbicos de agua por año, y conjuntamente, estos establecen valles aluviales con un total de 280.000 hectáreas, de éstas, 100.000 hectáreas se encuentran en la cuenca del río Cesar y otras 100.000 en el Ariguaní, 70.000 en la Zona Bananera, formada por los ríos Fundación, Aracataca, Tucurín, Sevilla y Frío, y los 10.000 restantes en la vertiente norte, entre los ríos Córdoba y Don Diego (Viloria De la Hoz, 2005).

No obstante, al tener una región rica en colinas aluviales y ríos, la ciudad de Santa Marta presenta en los últimos años una sequía prolongada, afectando gravemente los caudales de los ríos que abastecen la ciudad, generando así, una crisis en sus habitantes por falta del recurso hídrico. Por tal razón, los entes gubernamentales de la ciudad han buscado fuentes alternativas para la captación del agua, y unas de estas son las aguas subterráneas y/o acuíferos. Cabe recordar, que la ciudad de Santa Marta cuenta una reserva de agua subterránea importante, razón por lo cual, en la actualidad el Distrito se está abasteciendo de estos acuíferos y la explotación de estos se inició en el 2014 con unos 460 lps (14,5 Hm³/año) lo que equivale aproximadamente al 7,9% del agua almacenada (METROAGUA, 2013).

La Universidad del Magdalena, durante el periodo de (2016-2020), comprometida con el desarrollo sostenible de la región y país, ha venido impulsando múltiples esfuerzos por fortalecer la sostenibilidad en el campus, por lo cual se han adelantado diferentes investigaciones donde el campus universitario se convierte en un laboratorio de experimentación para generar nuevos conocimientos. Esta pasantía se realizó en el marco del proyecto “Formulación de estrategias para la gestión sostenible del recurso hídrico en el campus de la Universidad del Magdalena”.

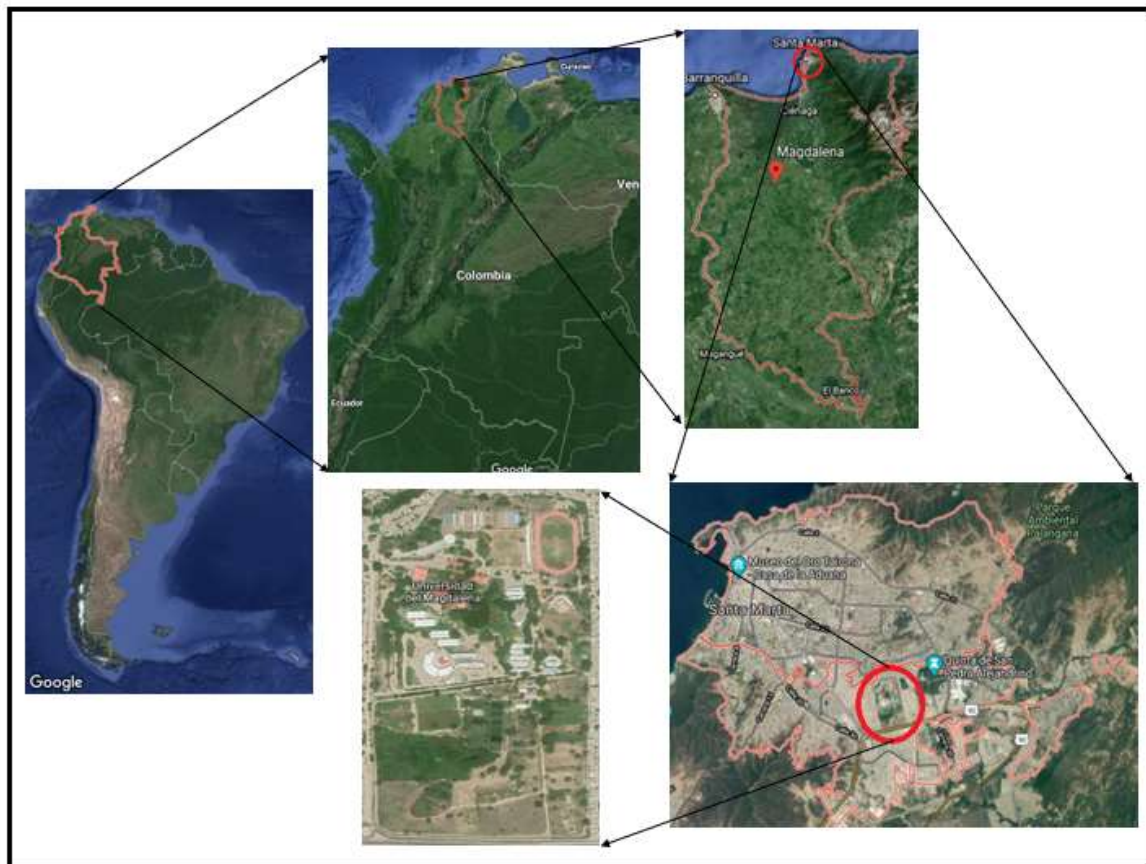
La Institución cuenta con un pozo subterráneo construido en el año 2014, con un caudal máximo de extracción de 40 ltp, que abastece en gran parte a la población universitaria. Sin embargo, en los últimos años, fenómenos como el cambio climático ha ocasionado fuertes sequías en la región y ha generado escases de agua en la ciudad de Santa Marta.

Ante esta calamidad, la institución en diferentes ocasiones ha utilizado dicho pozo para suministrar agua a la comunidad samaria, lo que conlleva a la necesidad de realizar monitoreos y estudios pertinentes para evitar una sobreexplotación del acuífero y se opten por medidas eficientes, considerando que actualmente la institución no cuenta con metodologías claras y/o seguimientos relacionados con la debida gestión del recurso. Dado lo anterior, con este trabajo, se busca aportar a la identificación y priorización de estrategias para el manejo sostenible del agua en el campus, asociado a usos responsables y aprovechamiento.

1. Apoyo en la realización del diagnóstico sobre el estado del Recurso Hídrico en el campus de la Universidad del Magdalena.

1.1. Área de Estudio.

Figura 1. Área de Estudio: Santa Marta Colombia, Universidad del Magdalena.



Fuente: Google Maps, 2020.

La ciudad de Santa Marta se encuentra ubicada entre la Sierra Nevada de Santa Marta y el Mar Caribe. Por el Norte y el Oeste con el Mar Caribe, al sur los municipios de Ciénaga y Aracataca y por el oriente los departamentos de la Guajira y Cesar, su extensión total es de 2,393.35 Km², la extensión del área urbana 55.10 Km² y la extensión de área rural

2,338.25 Km², con una altitud de la cabecera municipal de 6 m.s.n.m, con máxima elevación de 5775 m.s.n.m. en las cumbres d la Sierra Nevada. Posee un clima cálido y seco, con precipitación media anual de 362 mm, humedad relativa del 77% y rango de temperatura entre los 23 - 32 °C.

El Sistema Acuífero de Santa Marta, está compuesto popularmente por los sub-acuíferos Manzanares y Gaira, que deben su nombre a los principales ríos que atraviesan la ciudad. Este sistema tiene una superficie de aproximadamente 48 km² y un volumen de 1.532 millones de metros cúbicos. Del volumen antes mencionado un 12% (183 millones de m³) es agua (METROAGUA, 2013).

El campus principal de la Universidad del Magdalena fue el área de estudio. Se localiza en la ciudad de Santa Marta, a 11°13'32"N y 74°11'14"W, (Google Eart, 2020) capital del departamento del Magdalena, se caracteriza por ser uno de los más grandes y sostenible ambientalmente en la Región Caribe con un área aproximada de 50ha. Es una institución gubernamental del orden territorial, creada mediante ordenanza No. 005 del 27 de octubre de 1958, vinculada al Ministerio de Educación Nacional en lo atinente a política y planeación dentro del sector educativo.

Igualmente, el campus está rodeado de una infraestructura importante, como los edificios de 'Sierra Nevada', 'Ciénaga Grande', 'Mar Caribe', 'Docente Ricardo Villalobos Rico', 'Investigaciones', 'Centro de Bienestar Universitario', 'Centro de Innovación y Emprendimiento (CIE)'; los bloques de 'II - Bienestar Universitario', 'III - Salas de Internet', 'IV – Recursos educativos', 'V – Auditorio Julio Otero', 'VI – Laboratorios'. 'VII – Biblioteca', 'VIII', 'Administrativo Roque Morelli Zárate' y los Hangares de la Facultad de Ingeniería y Ciencia de la salud. Además, afloran áreas con amplia vegetación, conformado por 26.478, m² de grama, 32.033 m² de zonas verdes deportivas y 190.211 m² de material nativo. Al mismo tiempo, sobresale una Granja Experimental y un Bosque Seco Tropical de 3,3 he.

Su sistema de abastecimiento principal se encuentra en el mismo campus donde es captada por medio de un pozo (ver figura 2), que fue construido en el año 2015, cuenta con una profundidad de 75 metros y una capacidad de 40 litros por segundos, con el fin

de, garantizar el suministro de agua en la institución, debido a, la gran población con la que se cuenta, por la cual, es cercana a las 20.000 personas y es transportada por medio de tubería para hacer utilizada para sus usos. Gracias a esto se pueden desarrollar las actividades diarias y suplir las necesidades por parte de la población universitaria.

Figura 2. Ubicación del pozo de la Universidad del Magdalena.



Fuente: Google Earth, 2020.

1.2. Estimación de la Demanda.

“La disponibilidad de agua dulce en todo el mundo es crítica y cada día es más compleja, debido a factores como la contaminación del recurso hídrico, la manipulación económica y la fuente de poder que representa para quien la posee” (Agudelo C., 2005).

“La Tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida, que incluyen a más de 6.000 millones de seres humanos, se enfrenta en este comienzo del siglo veintiuno con una grave crisis del agua” (WWAP, 2003, pág. 4).

En Colombia, más del 80% de las cabeceras municipales del país se abastecen de pequeñas fuentes de agua (arroyos y quebradas) con bajas condiciones de regulación y alta vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático y el fenómeno de El Niño (Perpiñán Guerra & Marbello Pérez, 2014). Razón por la cual, se debe de buscar mecanismo para mejorar la gestión del agua, con el fin de, mitigar los riesgos sociales, ambientales y económicos, y garantizar el recurso hídrico en las ciudades y centros poblados del país.

De esta forma, el distrito de Santa Marta no es la excepción, ya que, en los últimos años ha presentado una fuerte crisis de agua, dado que, el acueducto local no abastece a la ciudad completamente, y, por otra parte, en sus zonas rurales el agua es cada vez más escasa, la ciudad se abastece de los ríos de Manzanares, Gaira y el Piedras, sin embargo, la malísima cultura ambiental de los ciudadanos y la falta de políticas gubernamentales tienen a los ríos en una pésima emergencia ambiental, así como los fenómenos climáticos como “El Niño”, y el clima cálido seco que presenta la ciudad, presentando un bajo promedio anual de lluvias en comparación con otras ciudades del país (501 mm por año), según reporte del IDEAM (2017). Asimismo, las estadísticas son alarmantes, dado que, de los 213.092 predios existentes en la ciudad, solo 42.080 tienen cobertura de la red de acueducto. Es decir, el 19,7 por ciento de los 507.455 habitantes que en 2018 tenía la ciudad (Revista Semana, 2020).

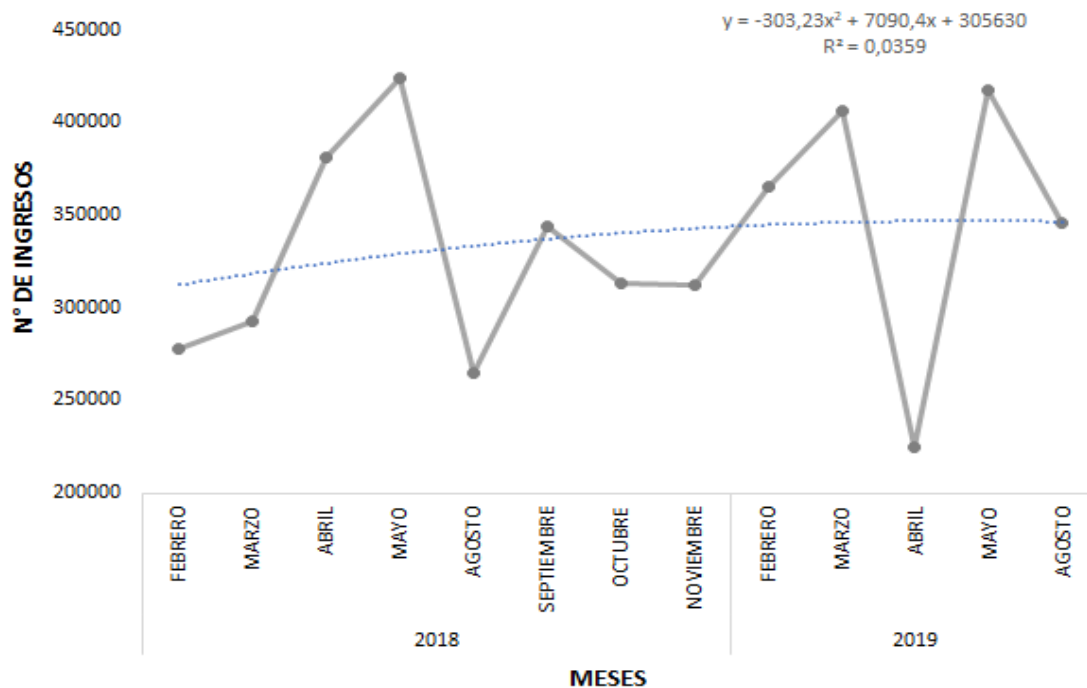
Esta crisis afecta a por lo menos a 180 barrios de un total de 370 que tiene el distrito, la mayor parte corresponde al círculo norte de la ciudad que es abastecida por la Planta de Mamatoco y en menor igualdad los de la zona sur, que se proveen de la planta de El Roble, la planta de Mamatoco que es surtido por los ríos Manzanares y Piedras ha disminuido este año de 603 a 299 litros por segundo, mientras El Roble que es surtido del río Gaira ha disminuido de 326 a 235 litros por segundo (Iguarán,

2019). No obstante, otro punto es, que la ciudad presenta una infraestructura obsoleta, considerando que, el 24 % de las viviendas no tienen alcantarillado y el 81 % está sin acueducto. (EL TIEMPO, 2020).

“En este momento la ciudad necesita 2.500 litros por segundo para cubrir las necesidades de sus habitantes y solo cuenta, en promedio, con 1.500 de las plantas de tratamiento de Mamatoco y El Roble” (Revista Semana, 2020).

Otro aspecto importante es, que por el crecimiento exponencial de la población universitaria es importante conocer la demanda de agua para tomar medidas consistentes y evitar posible sobreexplotación del acuífero, teniendo en cuenta la crisis de escases que se vive actualmente en la ciudad de Santa Marta. Por consiguiente, se realizó el análisis del estado actual del recurso hídrico, considerando los aspectos de la demanda del campus universitario.

Grafica 1. *Relación de ingresos mensual de población medida por los sensores de la entrada del campus.*



Fuente: Autor.

En el grafico 1, se muestra la tendencia del número de ingresos de personas, registrado en los censos de los torniquetes de la entrada de la universidad, con un promedio de 336.160 personas/mes. En el grafico se puede ver que los picos más alto son los meses de mayo (ambos años, este fenómeno ocurre, debido a que, se presenta la semana cultural de la universidad) y marzo (año 2019). Además, el ingreso de personas no fue representativo para los meses de enero, junio, julio y diciembre, considerando que, en estos períodos la universidad tiene un receso en sus actividades académica y los aparatos que registran los ingresos son apagados. Sin embargo, la vicerrectoría administrativa facilitó el número exacto de la población universitaria en los cuatro últimos semestres ver tabla 1.

Tabla 1. Registro población Universitaria del campus de la universidad del Magdalena.

MATRICULADOS 2018-I		MATRICULADOS 2018-II	
Modalidad	Matriculados	Modalidad	Matriculados
Presencial	16.545	Presencial	16.696
Posgrados	376	Posgrados	519
Total	16.921	Total	17.215

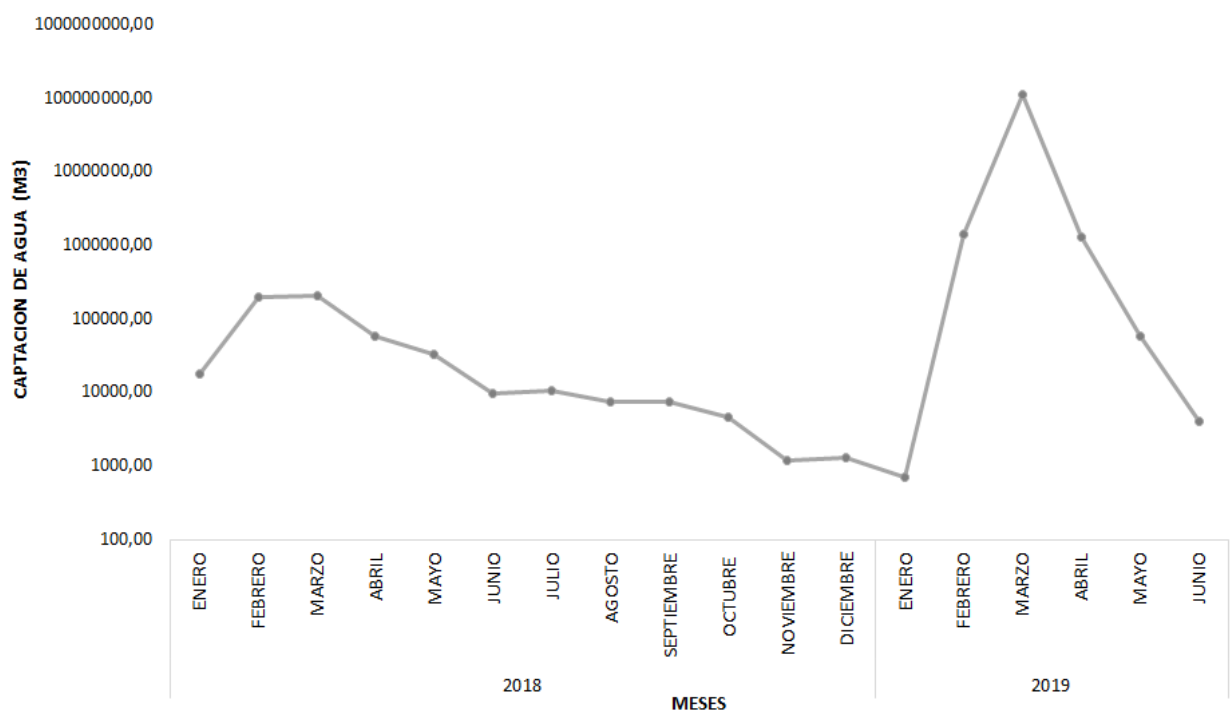
MATRICULADOS 2019-I		MATRICULADOS 2019-II	
Metodología	Matriculados	Metodología	Matriculados
Presencial	16.115	Presencial	15.948
Posgrados	714	Posgrados	708
Total	16.829	Total	16.656

DOCENTES				
PERIODO	2018-I	2018-II	2019-I	2019-II
Planta	220	218	219	218
Ocasional	36	39	50	54
Cátedra	894	950	956	966
Total	1150	1207	1225	1238

ADMINISTRATIVOS		
PERIODO	2018	2019
Funcionarios de planta	292	298
Contratistas CENTRAL	498	401
Total	790	699

Fuente: Vicerrectoría administrativa.

Grafica 2. Relación de captación de agua del pozo del mes de marzo de 2018 hasta agosto de 2019.



Fuente: Autor.

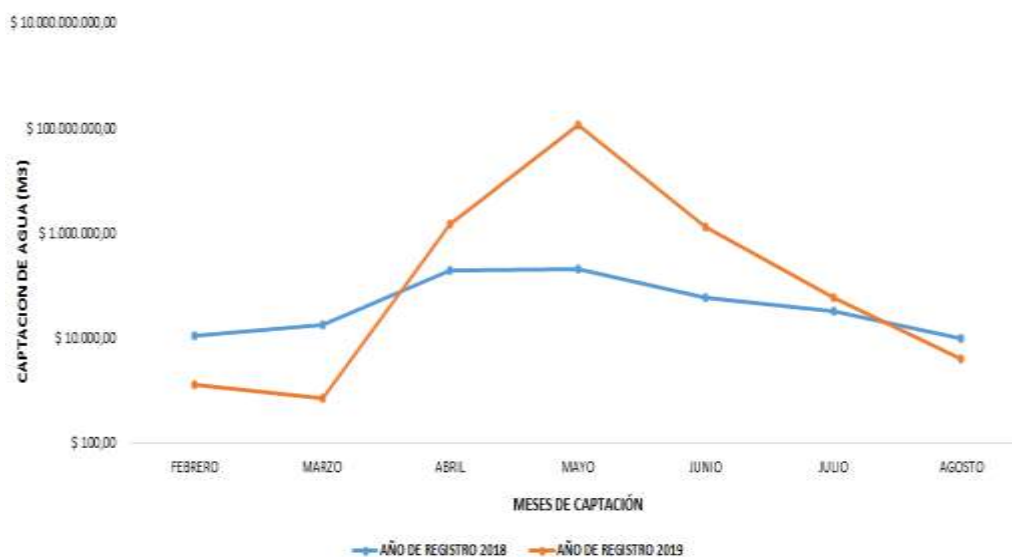
En el grafico 2. Se observa que durante el año 2018 y parte del 2019 se presentó un descenso en la captación de agua, del pozo de la universidad del 60,29% desde el mes de mayo de 2018 hasta el mes de marzo de 2019 con un consumo en promedio de 30.575 m³. Sin embargo, desde el mes de abril de 2019 hubo un aumento del consumo de agua de 193.863 m³. Sin embargo, el punto más alto de consumo de agua fue el mes de mayo con 113.620.653 m³, pues, la universidad del Magdalena no siendo ajeno a la problemática de falta de agua en la ciudad, decidió colocar a disposición el pozo subterráneo ubicado en su predio, desde el 18 de abril hasta el 19 de agosto para el abastecimiento de agua de algunos barrios.

Tabla 2. Registro de agua captada por medio de carro tanques 2019.

AÑO DE REGISTRO	MESES	CAPTACION (M ³)
2019	Abril	8.528
	Mayo	405.976
	Junio	21.732
	Julio	24.192
	Agosto	12.168

Fuente: Servicios generales – Universidad del Magdalena.

En la tabla 2 se registra la cantidad de agua que se captó en el acuífero del campus para entregarle a la comunidad samaria por medio de carro tanques, durante el mes de abril hasta el mes de agosto. En resumen, en mayo fue el mes que más agua se entregó, con un promedio de captación de 94.519 m³ de agua.

Grafica 3. Comparación de captación de agua del pozo del año del 2018 y 2019:

Fuente: Autor.

En el grafico 3 muestra la comparación de la captación de agua que se realizó en el pozo, durante el mes de febrero del 2018 hasta agosto del 2019. En la gráfica anterior

también se observa que ha comienzo de año del 2019, el gasto de agua era mucho menor al del 2018. Sin embargo, en el transcurso del mes de abril de 2019 el consumo de agua aumento drásticamente como se puede ver en la gráfica, siendo el mes de mayo con el mayor registro de captación de agua con 113.620.653 m³. Asimismo, el mes de julio del mismo año hubo un descenso importante en la captación de agua, igualándolo con el mismo mes del año anterior se alcanza a notar en la que la captación fue mucho menor.

1.2.1. Relación usos-demanda.

Con relación al consumo de agua, se resalta que los usos principales son para actividades de riego, doméstico y pecuario (ver tabla 3). El porcentaje se estableció en la resolución para concesión de agua, entregada por el Departamento Administrativo Distrital Para La Sostenibilidad Ambiental (DADSA), quien es la encargada de la evaluación, control y seguimiento ambiental del uso del agua del pozo que se encuentra en el campus.

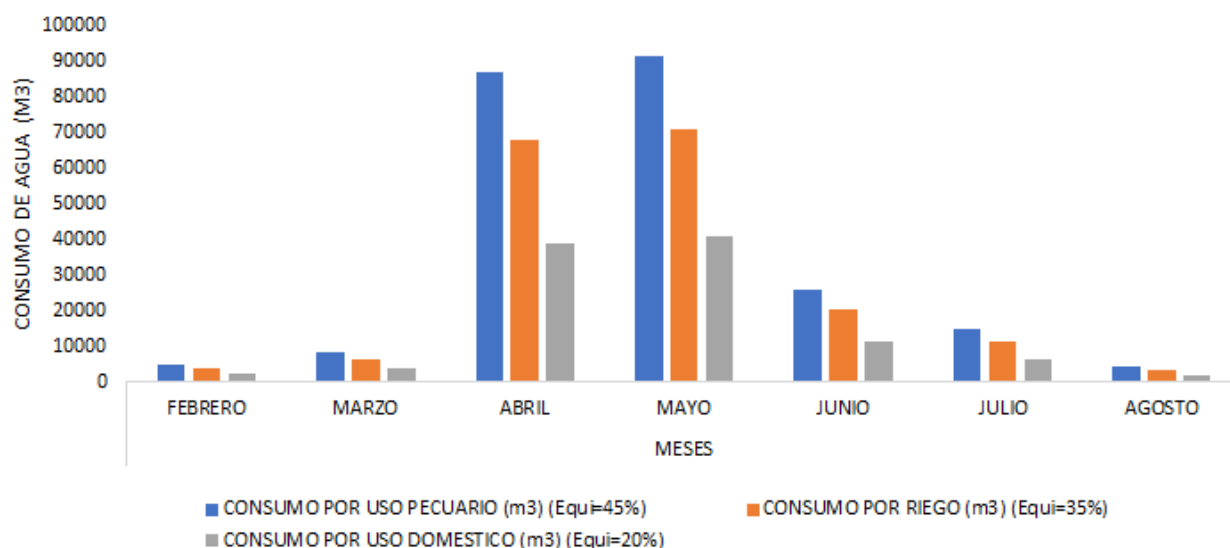
Se establece entonces, unos porcentajes para cada uso representativo. El uso pecuario representa el 45%, le sigue el riego con el 35% y por último el doméstico con el 20%. No obstante, no se lleva un control del agua que se demanda en los laboratorios que es otro uso importante. Asimismo, en el grafico 4 se analiza la comparación de los meses de consumo de agua por tipo de usos desde el mes de febrero hasta agosto siendo los meses de estudio. En la tabla 3 se aprecia la distribución de agua por usos.

Tabla 3. Captación de agua por usos.

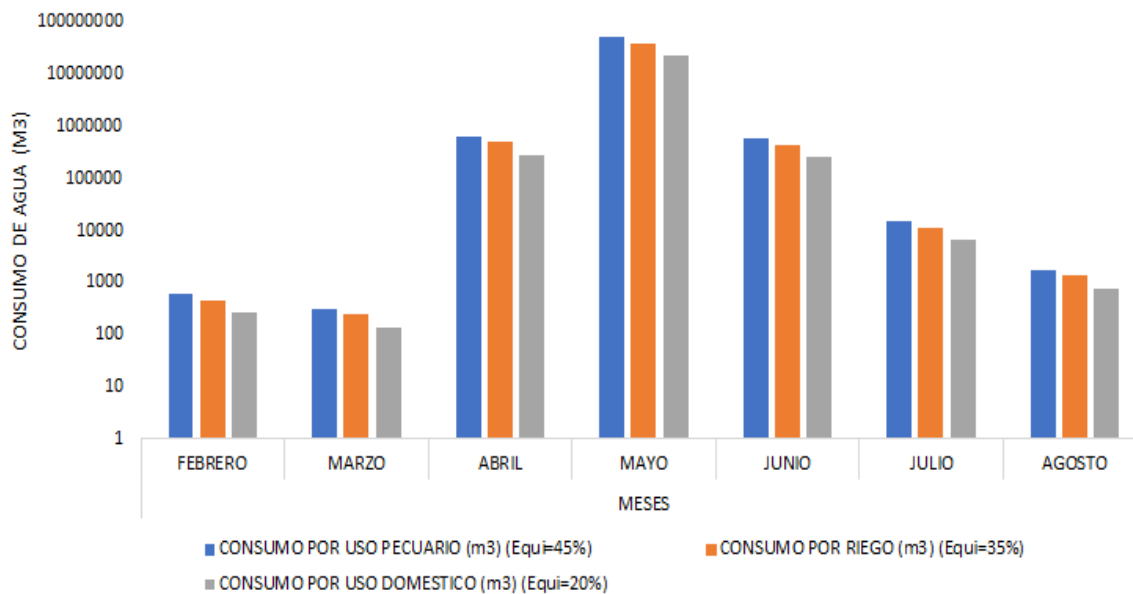
Usos	Porcentaje (%)
Pecuario	45
Riego	35
Domestico	20

Fuente: Dirección administrativa - GESTIÓN AMBIENTAL
Universidad del Magdalena.

Grafica 4. Relación de captación de agua por usos, del mes de febrero hasta el mes de agosto.



a) 2018.



b) 2019.

Fuente: Autor.

Por consiguiente, teniendo la información de la población (demanda) y el porcentaje del uso del agua (domestico), se podrá obtener la demanda hídrica por personas o la

dotación bruta que corresponde a la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un usuario considerando las pérdidas que ocurran en el sistema de distribución. En la tabla 4 se puede ver la dotación bruta del campus sin la población flotante (visitantes).

Tabla 4. *Análisis de la relación población vs consumo sin población flotante, en el campus de la universidad del Magdalena, en los periodos 2018 y 2019.*

Año	Meses	Consumo por uso doméstico (m ³) (equi=20%)	Consumo por personas (m ³)	Consumo por personas mensual (L)	Consumo por personas por día (L)
2018	Febrero	2.135,78	0,113	113	3,77
	Marzo	3.617,07	0,196	196	6,53
	Abril	38.772,66	2,101	2101	70,02
	Mayo	40.696,94	2,205	2205	73,49
	Junio	11.503,46	0,623	623	20,77
	Julio	6.532,08	0,351	351	11,70
	Agosto	1.901,60	0,102	102	3,41
	Febrero	261,796	0,014	14	0,47
2019	Marzo	141,47	0,008	8	0,25
	Abril	283.951,60	15,276	15276	509,20
	Mayo	22.642.935,40	9774,801	9774801	325826,69
	Junio	257.880,40	27,975	27975	932,49
	Julio	6.652,60	0,360	360	12,01
	Agosto	791,52	0,043	43	1,43

Fuente: Autor.

En el campus de la universidad del Magdalena, entre estudiante de pregrado y posgrado; docentes de planta y catedráticos; y personal administrativo de planta y contratista el promedio de consumo de agua en el claustro durante el 2018 fue de 27 Litro/persona*día, y el promedio de consumo por persona a cohorte agosto de 2019 es de 46.75 Litro/persona*día.

Se debe de obtener la dotación neta, la cual, corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un suscriptor o de un habitante, sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de distribución. Y los resultados arrojados anteriormente en la tabla 4 corresponde a la dotación bruta, por lo cual, no se

sabe cuál es la dotación real de cada persona en el campus, y para obtenerla se debe considerar la siguiente ecuación (1):

$$D_{bruta} = \frac{D_{neta}}{1 - \%perdidas}$$

Donde:

Dbruta: dotación bruta (L/hab*día).

Dneta: dotación neta (L/hab*día).

%perdida: pérdidas máximas admisibles. Según el RAS, el porcentaje de pérdidas máximas admisibles no deberá superar el 25%.

Teniendo la ecuación (1) despejamos Dneta y obtendremos la ecuación (2):

$$D_{neta} = D_{bruta}(1 - \%perdidas)$$

En la tabla 5 se ven los resultados de la ecuación (2).

Tabla 5. Dotación neta de la población de la universidad del Magdalena sin población flotante.

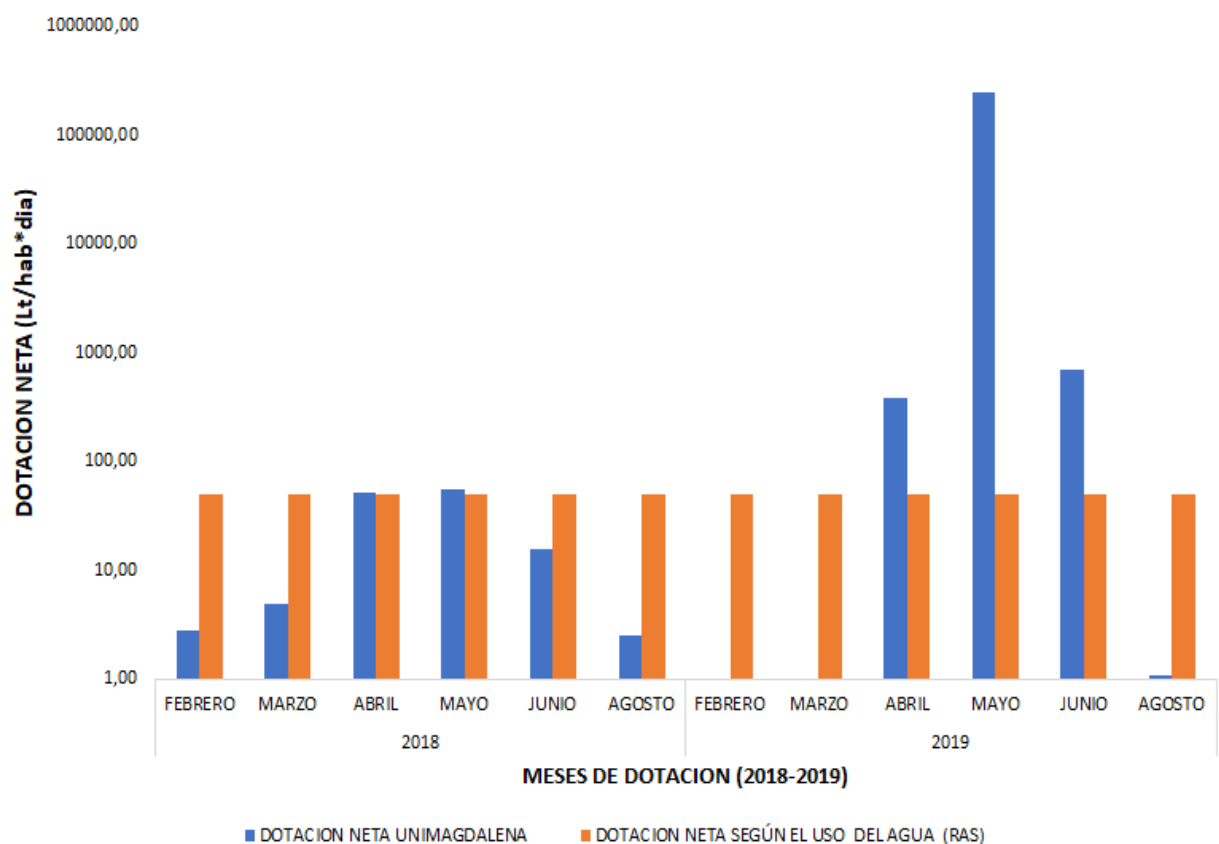
AÑO	MESES	Dotación Bruta (L/hab*día)	Dotación Neta (L/hab*día)
2018	Febrero	3,77	2,83
	Marzo	6,53	4,90
	Abril	70,02	52,51
	Mayo	73,49	55,12
	Junio	20,77	15,58
	Julio	11,70	8,78
	Agosto	3,41	2,55
	Febrero	0,47	0,35
2019	Marzo	0,25	0,19
	Abril	509,20	381,90
	Mayo	325.826,69	244.370,01
	Junio	932,49	699,37
	Julio	12,01	9,00
	Agosto	1,43	1,07

Fuente: Autor.

Como se observa en la tabla 5 el promedio de dotación neta en la universidad del Magdalena durante el 2018 fue de 20,33 L/hab*día y el promedio de consumo por persona a cohorte agosto de 2019 es de 35.066 L/hab*día. Finalmente, los valores

arrojados en la tabla anterior comparándolo con el manual del RAS que es de 25 L/alumno/jornada en educación media y superior. Se toma este valor y se multiplica por dos, ya que, el RAS da este valor por jornada y cabe recordar que la Universidad del Magdalena da jornada continua, y los resultados obtenidos son; que la mitad está por encima de los valores estimados de consumo, en relación con el manual del RAS (ver gráfico 5).

Grafica 5. Comparación de dotación neta de la universidad del Magdalena y dotación neta según el uso del agua en educación superior (RAS).



Fuente: Autor.

Teniendo, en cuenta la población flotante que representa el campus universitario (ver tabla 6).

Tabla 6. Población flotante (visitantes) del campus de la universidad del Magdalena.

MESES	CANTIDAD DE	
	INGRESO	
	2018	2019
Febrero	56	1726
Marzo	126	1638
Abril	199	1231
Mayo	195	3390
Junio	63	562
Julio	71	109
Agosto	153	1750
Septiembre	108	2875
Octubre	93	
Noviembre	94	
Diciembre	28	
Total	1186	10409

Fuente: Servicios Tecnológicos – Universidad del Magdalena.

Igualmente, se proyecta la población de la universidad del Magdalena al 2022, 2027 y 2032; utilizando el método geográfico, permitido en el RAS donde es la siguiente ecuación (3):

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^n$$

Donde:

Pf: población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc: población correspondiente la proyección del DANE (habitantes).

Pci: población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

n: tiempo de proyección.

r: Tasa de crecimiento anual en forma de decimal.

La tasa de crecimiento anual se calcula en la siguiente ecuación (4):

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^n - 1$$

En el cual, los resultados de la ecuación (3) se ven reflejado en la tabla 7.

Tabla 7. *Proyección de la población de la universidad del Magdalena.*

PROYECCION PARA 2022		PROYECCION PARA 2027	
Puc	42577	Puc	42577
Pci	42185	Pci	42185
r	0,028	r	0,077
n	3	n	8
Pf	46.273	Pf	76.960

PROYECCION PARA 2032	
Puc	42577
Pci	42185
r	0,128
n	13
Pf	203.259

Fuente: Autor.

1.2.2. Monitoreo de volumen de agua en puntos de muestreo.

Para la demanda, se tomarán 3 muestras horarias/diarias en tres (3) puntos (Ver figura 3), en los cuales se encuentran medidores de volúmenes de agua y cuenta con la infraestructura adecuada para la toma de datos, estos serían: Punto 1: Edificio Sierra Nevada, Punto 2: Edificio Ciénaga Grande y Punto 3: laboratorios de los Hangares, en los horarios de 6:00am, 12:00pm y 6:00pm obteniendo al final los picos máximos y mínimos de consumo.

El monitoreo se llevará a cabo en 5 meses en la sede principal de la Universidad del Magdalena, considerando la dinámica universitaria normal, debido a las jornadas de funcionalidad de la Institución.

Figura 3. Puntos de monitoreo para la medición de volúmenes de agua en el campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.



Fuente. Google Eart, 2020.

Como se ven reflejada en las tablas de monitoreo (**Ver Anexo A**), se realizó un análisis de los consumos de tres bloques específicos del campus (ver tabla 8).

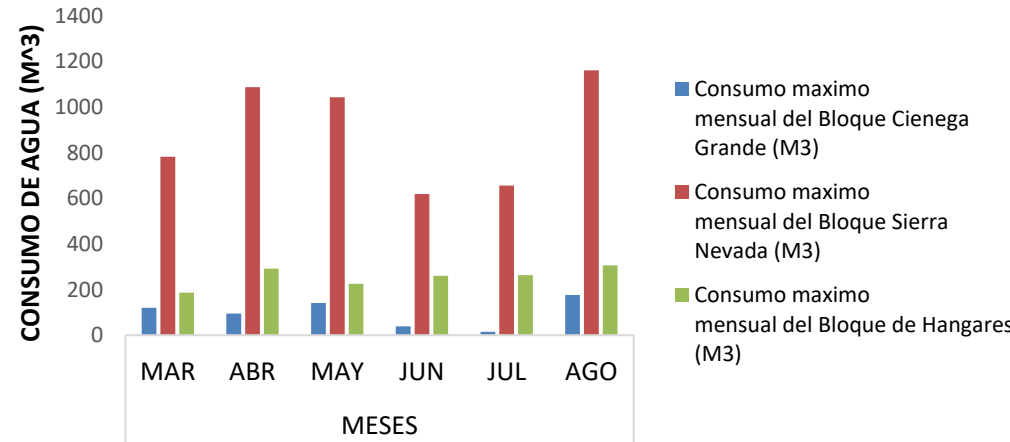
Tabla 8. *Consumos máximos diarios de los bloques de Ciénega Grande, Sierra Nevada y Hangares en los meses de estudio.*

MES	DIAS	Consumo máximo diario del Bloque Ciénega Grande (M3)	DIAS	Consumo máximo diario del Bloque Sierra Nevada (M3)	DIAS	Consumo máximo diario del Bloque de Hangares (M3)
MAR	12	14	28	72	18	19
ABR	5/24	10	30	127	22	69
MAY	5	11	10	138	3/5	15
JUN	1	8	1	51	30	20
JUL	31	6	31	546	31	212
AGO	22	18	15	66	22	21

Fuente: Autor.

Asimismo, también se obtuvieron los consumos máximos mensuales de los bloques, donde, los picos máximos se registraron en el bloque de Sierra Nevada con un promedio de 891,33 m³. Igualmente, el bloque que registro menos consumo fue Ciénega Grande con 97,67 m³; y los Hangares registro un promedio de consumo de 891,33 m³. Además, el consumo máximo registrado fue el mes de agosto en el bloque de Sierra con 1.167 m³ y el de menos consumo registrado fue en el mes de julio en el bloque de Ciénega Grande con 39 m³ (ver grafica 6).

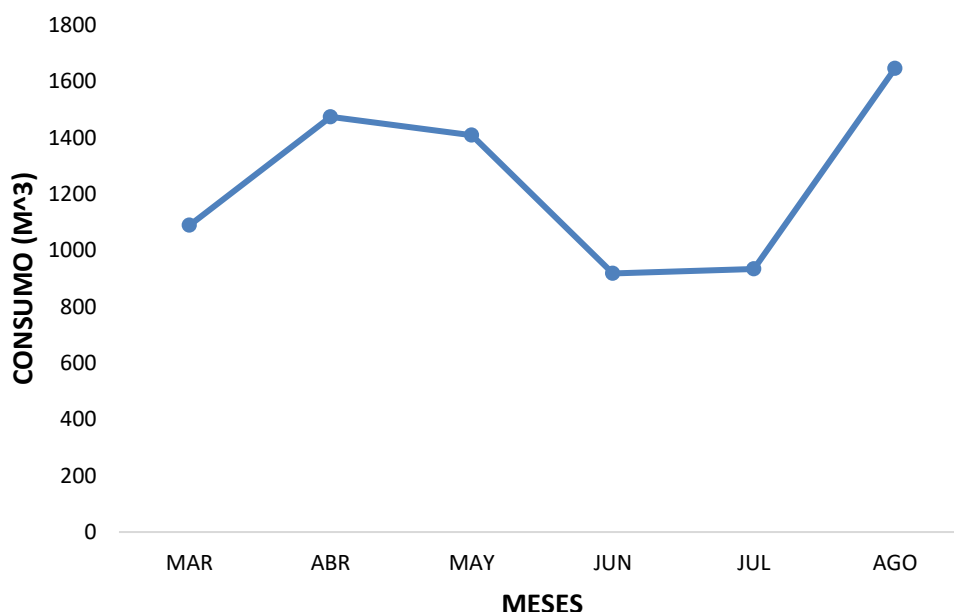
Grafica 6. *Consumo Máximos mensual de los bloques de Ciénega Grande, Sierra Nevada y Hangares en los meses de estudio.*



Fuente: Autor.

Al mismo tiempo, se analizó el comportamiento del consumo de agua de los tres bloques conjuntamente, donde hubo un ascenso en el mes de marzo a abril pasando de 1089 m³ a 1.479 m³ respectivamente, asimismo, hubo un descenso continuo en los meses de mayo, junio y julio con 1.409 m³, 918 m³ y 934 m³ respectivamente, estos dos últimos meses se presentó un bajo consumo, debido al receso académico. El mes de agosto presentó un ascenso importante de 1.646 m³ y ha sido el consumo más alto comparándolo con el resto de los meses, dado que, en ese mes la universidad inicia las clases (ver grafica 7).

Grafica 7. *Relación de consumo de los bloques de sierra Nevada, Ciénega Grande y los Hangares del mes de marzo hasta el mes agosto de 2020.*



Fuente: Autor.

2. Inventario y estado de los aparatos hidrosanitarios del campus de la Universidad del Magdalena.

El crecimiento constante de la población y la necesidad de atender la demanda de agua requerida para satisfacer sus necesidades básicas considera estrategias de gestión que promuevan un uso eficiente de agua, tales como: regulaciones legales, medidas tarifarias, campañas informativas y/o educativas, implementación de nuevas tecnologías y control de infraestructura. (Manco Silva, Guerrero Erazo, & Ocampo Cruz, 2012, pág. 25)

La población de la Universidad del Magdalena ha ido en aumento en los últimos años, sin embargo, se desconoce el inventario y el estado de los aparatos sanitarios del campus, razón por la cual, se cuantificó y se analizó el estado de estos aparatos. Con el fin de examinar el estado de los mismos y su impacto sobre el funcionamiento del sistema e identificar estrategias de usos de dispositivos ahorradores que ayuden al ahorro eficiente del agua.

Tabla 9. *Inventario de aparatos sanitarios por bloques, del campus de la universidad del Magdalena.*

INVENTARIO Y ESTADO DE LOS APARATOS SANITARIOS								
BLOQUES	LUGAR	APARATOS SANITARIOS	BAÑO MASCULINO	BAÑO FEMENINO	BAÑO DE DISCAPACITADO	COCIN A	OFICINA	LABORATORI O
B. ROQUE MORELLI (ADMINISTRATIVO)	1° piso	Lavamanos	3	3	0	0	0	0
		WC	2	3	0	0	0	0
		Orinales	3	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	1	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
	2° piso	Lavamanos	2	2	0	0	1	0
		WC	2	3	0	0	1	0
		Orinales	3	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	1	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
SIERRA NEVADA	1° piso	Lavamanos	5	5	1	1	1	0
		WC	3	5	1	1	1	0
		Orinales	3	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	1	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
	2° piso	Lavamanos	5	5	1	1	1	0
		WC	3	5	1	1	1	0

INVENTARIO Y ESTADO DE LOS APARATOS SANITARIOS

BLOQUES	LUGAR	APARATOS SANITARIOS	BAÑO MASCULINO	BAÑO FEMENINO	BAÑO DE DISCAPACITADO	COCIN A	OFICINA	LABORATORI O
CIENEGA GRANDE	3° piso	Orinales	3	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	1	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
		Lavamanos	5	5	1	1	1	0
		WC	3	5	1	1	1	0
		Orinales	3	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	1	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
	1° piso	Lavamanos	5	5	1	1	1	0
		WC	3	5	1	1	1	0
		Orinales	3	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
	2° piso	Válvula	0	0	0	0	0	0
		Lavamanos	5	5	1	1	1	0
		WC	3	5	1	1	1	0
		Orinales	3	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0

INVENTARIO Y ESTADO DE LOS APARATOS SANITARIOS

BLOQUES	LUGAR	APARATOS SANITARIOS	BAÑO MASCULINO	BAÑO FEMENINO	BAÑO DE DISCAPACITADO	COCIN A	OFICINA	LABORATORI O
MAR CARIBE	3° piso	Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
		Lavamanos	5	5	1	1	1	0
		WC	3	5	1	1	1	0
		Orinales	3	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	3	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
	1° piso	Lavamanos	8	8	2	0	0	0
		WC	3	6	2	0	0	0
		Orinales	5	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
	2° PISO	Lavamanos	8	8	2	0	0	0
		WC	3	6	2	0	0	0
		Orinales	5	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
	3° piso	Lavamanos	8	8	2	0	0	0

INVENTARIO Y ESTADO DE LOS APARATOS SANITARIOS

BLOQUES	LUGAR	APARATOS SANITARIOS	BAÑO MASCULINO	BAÑO FEMENINO	BAÑO DE DISCAPACITADO	COCIN A	OFICINA	LABORATORI O
BLOQUE DOCENTE	4° PISO	WC	3	6	2	0	0	0
		Orinales	5	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
		Lavamanos	8	8	2	0	0	0
		WC	3	6	2	0	0	0
		Orinales	5	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
	1° PISO	Lavamanos	3	3	1	0	0	0
		WC	2	3	1	0	0	0
		Orinales	3	0	0	0	0	0
		Duchas	0	1	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
	2° PISO	Válvula	0	0	0	0	0	0
		Lavamanos	3	3	1	0	0	0
		WC	2	3	1	0	0	0
		Orinales	3	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0

INVENTARIO Y ESTADO DE LOS APARATOS SANITARIOS

BLOQUES	LUGAR	APARATOS SANITARIOS	BAÑO MASCULINO	BAÑO FEMENINO	BAÑO DE DISCAPACITADO	COCIN A	OFICINA	LABORATORI O
BLOQUE 2	3° PISO	Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
		Lavamanos	3	3	1	1	0	0
		WC	2	3	1	1	0	0
		Orinales	3	0	0	0	0	0
		Duchas	1	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	1	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
	1° PISO	Lavamanos	3	3	0	0	0	0
		WC	2	4	0	0	0	0
		Orinales	4	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
BLOQUE 4	1° PISO	Lavamanos	3	3	0	0	0	0
		WC	2	4	0	0	0	0
		Orinales	4	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0

INVENTARIO Y ESTADO DE LOS APARATOS SANITARIOS

BLOQUES	LUGAR	APARATOS SANITARIOS	BAÑO MASCULINO	BAÑO FEMENINO	BAÑO DE DISCAPACITADO	COCIN A	OFICINA	LABORATORI O
BLOQUE 5	1° PISO	Lavamanos	3	3	0	0	0	0
		WC	2	4	0	0	0	0
		Orinales	4	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
BLOQUE 6	1° PISO	Lavamanos	3	3	0	0	0	0
		WC	2	4	0	0	0	0
		Orinales	4	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	2
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	7
		Destilador	0	0	0	0	0	2
		Válvula	0	0	0	0	0	0
	2° PISO	Lavamanos	0	0	0	0	0	0
		WC	0	0	0	0	0	0
		Orinales	0	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	3
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	29
		Destilador	0	0	0	0	0	2
		Válvula	0	0	0	0	0	0
		1° Piso	Lavamanos	1	1	0	0	0
BIBLIOTETECA BULA								

INVENTARIO Y ESTADO DE LOS APARATOS SANITARIOS

BLOQUES	LUGAR	APARATOS SANITARIOS	BAÑO MASCULINO	BAÑO FEMENINO	BAÑO DE DISCAPACITADO	COCIN A	OFICINA	LABORATORI O
MEYER		WC	2	2	0	0	0	0
		Orinales	1	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	2	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
BLOQUE 8 (GORGONA)	1° Piso	Lavamanos	3	3	0	0	0	0
		WC	3	3	0	0	0	0
		Orinales	3	0	0	0	0	0
		Duchas	2	2	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
HANGARES	Hangar B	Lavamanos	2	2	1	0	0	0
		WC	4	4	1	0	0	0
		Orinales	3	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	8
		Válvula	0	0	0	0	0	1
	Hangar C	Lavamanos	0	0	0	0	0	0
		WC	0	0	0	0	0	0
		Orinales	0	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	1

INVENTARIO Y ESTADO DE LOS APARATOS SANITARIOS

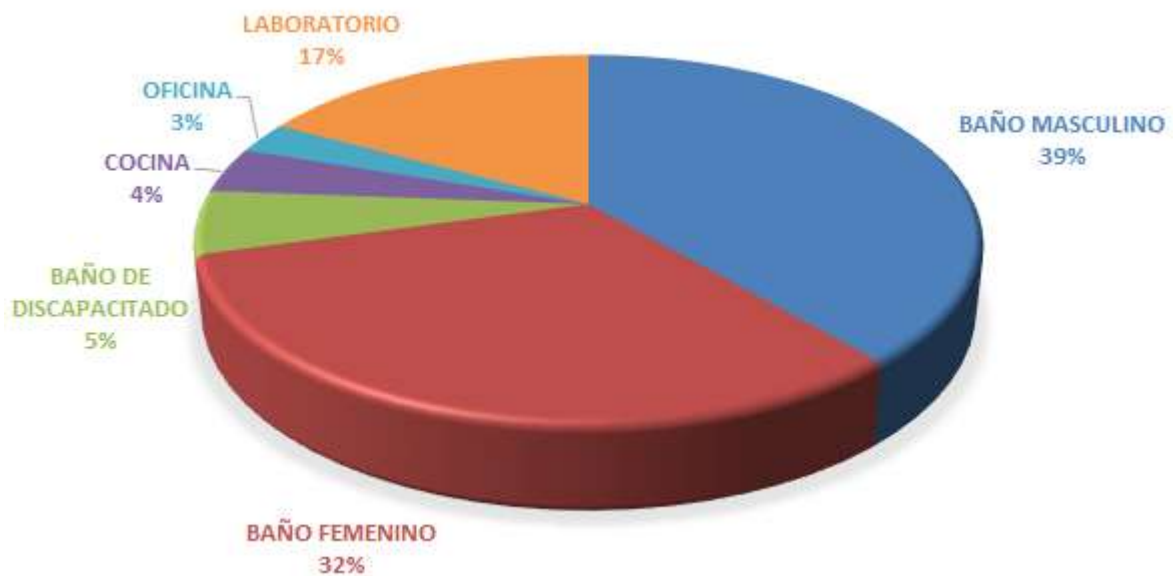
BLOQUES	LUGAR	APARATOS SANITARIOS	BAÑO MASCULINO	BAÑO FEMENINO	BAÑO DE DISCAPACITADO	COCIN A	OFICINA	LABORATORI O
INTROPIC	Hangar D	Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	10
		Válvula	0	0	0	0	0	1
		Lavamanos	0	0	0	0	0	0
		WC	0	0	0	0	0	2
		Orinales	0	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	3
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	8
		Válvula	0	0	0	0	0	5
	Hangar E	Lavamanos	0	0	0	0	0	0
		WC	0	0	0	0	0	0
		Orinales	0	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	4
		Válvula	0	0	0	0	0	0
	1° Piso	Lavamanos	3	3	0	0	1	0
		WC	2	4	0	0	1	0
		Orinales	3	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	13
		Válvula	0	0	0	0	0	0

INVENTARIO Y ESTADO DE LOS APARATOS SANITARIOS								
BLOQUES	LUGAR	APARATOS SANITARIOS	BAÑO MASCULINO	BAÑO FEMENINO	BAÑO DE DISCAPACITADO	COCIN A	OFICINA	LABORATORI O
GRANJA	Cabaña (1° Y 2° Piso)	Lavamanos	1	1	0	0	1	0
		WC	1	1	0	0	1	0
		Orinales	0	0	0	0	0	0
		Duchas	0	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	1	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
	Hangar	Lavamanos	1	0	0	0	0	0
		WC	1	0	0	0	0	0
		Orinales	0	0	0	0	0	0
		Duchas	1	0	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	0
		Válvula	0	0	0	0	0	0
	Laboratorio	Lavamanos	3	2	0	0	0	0
		WC	2	3	0	0	0	0
		Orinales	2	0	0	0	0	0
		Duchas	1	1	0	0	0	0
		Lavaplatos	0	0	0	0	0	0
		Lavadero	0	0	0	0	0	4
		Válvula	0	0	0	0	0	5
TOTAL		251	206	36	26	18	110	

Fuente: Autor.

Como se muestra en la tabla 9 la Universidad del Magdalena cuenta con 647 aparatos sanitarios en todo su campus para suplir las necesidades a una población de 20.707 personas.

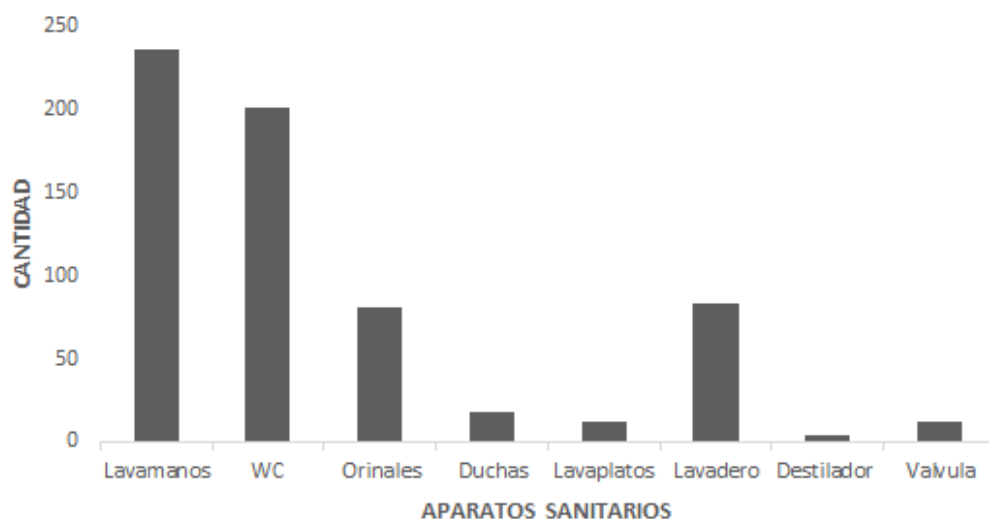
Grafica 8. *Porcentaje de aparatos sanitarios por género en el campus de la Universidad del Magdalena.*



Fuente: Autor.

Como se observa en la gráfica 8 el 39% de los aparatos sanitarios que hay en el campus pertenecen a los baños de los hombres y el 32% al de las mujeres, hay más aparatos sanitarios de hombre debido a que tienen orinales. Así mismo se observa que el 5% de los aparatos sanitarios que se encuentra en el claustro, pertenecen a los baños de personas con movilidad reducida, lo que deja ver la importancia en mejorar la adecuación de baños para estas personas que hoy representan una población importante en la universidad en sus programas de inclusión.

También, cabe decir que el 4% de los aparatos sanitarios que se encuentra en el campus pertenecen a las cocinas de las facultades (sanitario de tanque y lavamanos), y el 3% a las oficinas que tiene baño interno y el 17% a los lavaderos de los laboratorios que se encuentren en el campus.

Grafica 9. *Números de aparatos sanitarios en el campus de la Universidad del Magdalena.*

Fuente: Autor.

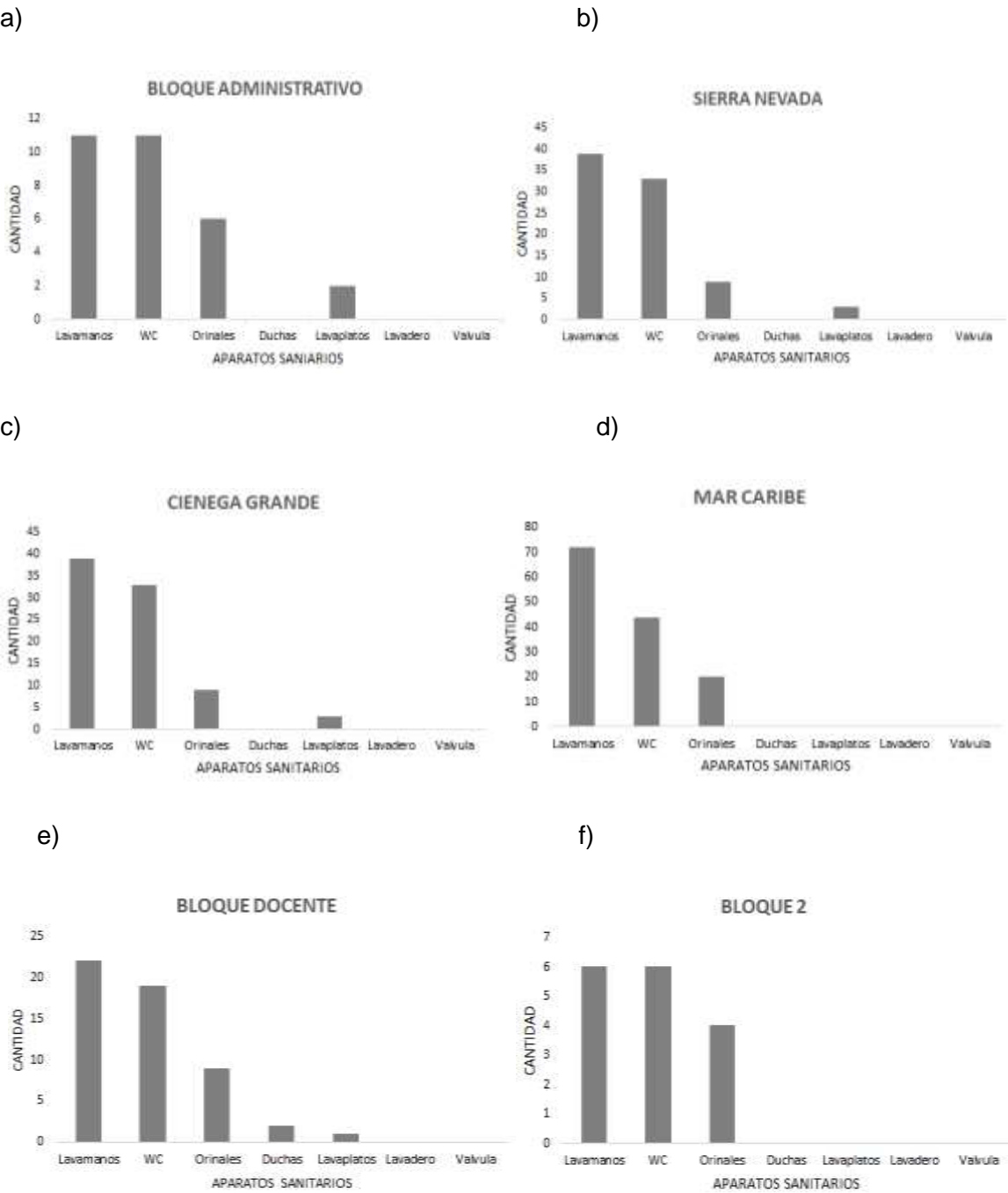
Como se puede apreciar en el grafico 9 en el campus se encuentra 236 lavamanos, 201 inodoros, 81 orinales, 18 duchas, 12 lavaplatos, 83 lavaderos, 4 destiladores y 12 válvulas. Sin embargo, algunos aparatos sanitarios se encuentran en mal estado o con fuga, pero más adelante se detallarán. En la tabla 10 se refleja el promedio de aparatos sanitarios que se encuentra en el campus de la universidad del Magdalena siendo, el lavamanos con mayor número de aparatos sanitarios con 7,82 aparatos y el menor el destilador con 0,13 y siguiéndole las válvulas de cierre (grifos) con 0,40.

Tabla 10. *Promedio total de aparatos sanitarios del campus de la universidad del Magdalena.*

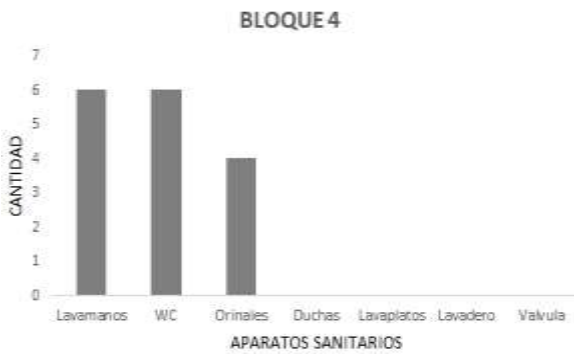
Aparatos Sanitarios	Promedio
Lavamanos	7.87
WC	6.70
Orinales	2.70
Duchas	0.60
Lavaplatos	0.40
Lavadero	2.77
Destilador	0.13
Válvula	0.40

Fuente: Autor.

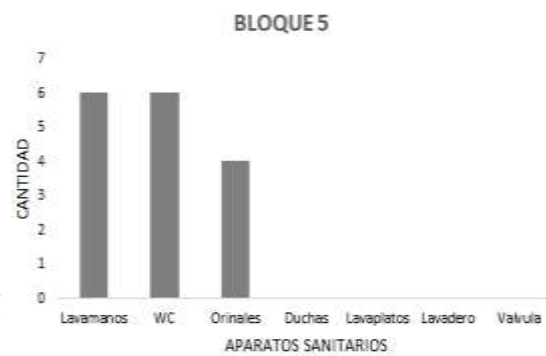
Grafica 10. *Números de aparatos sanitarios por bloques en el campus de la Universidad del Magdalena.*



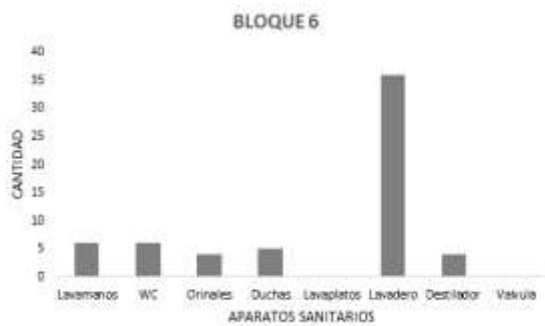
g)



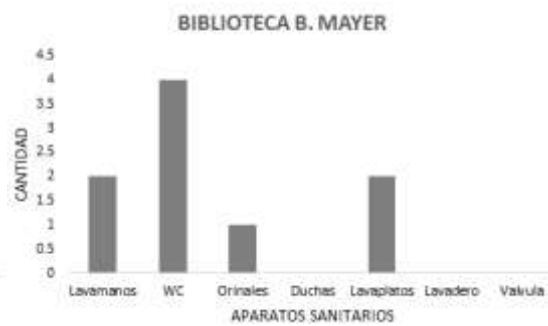
h)



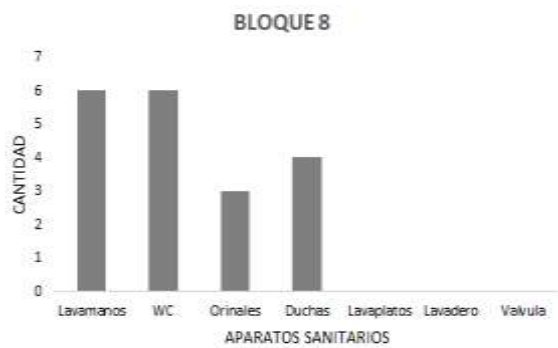
i)



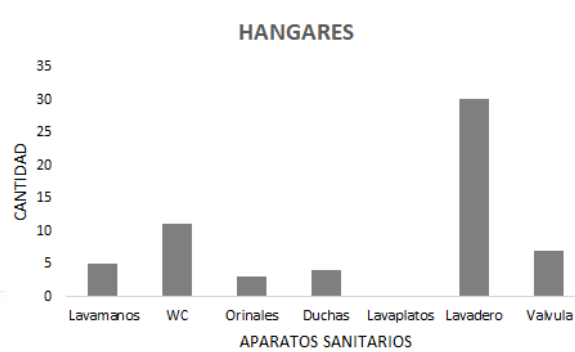
j)

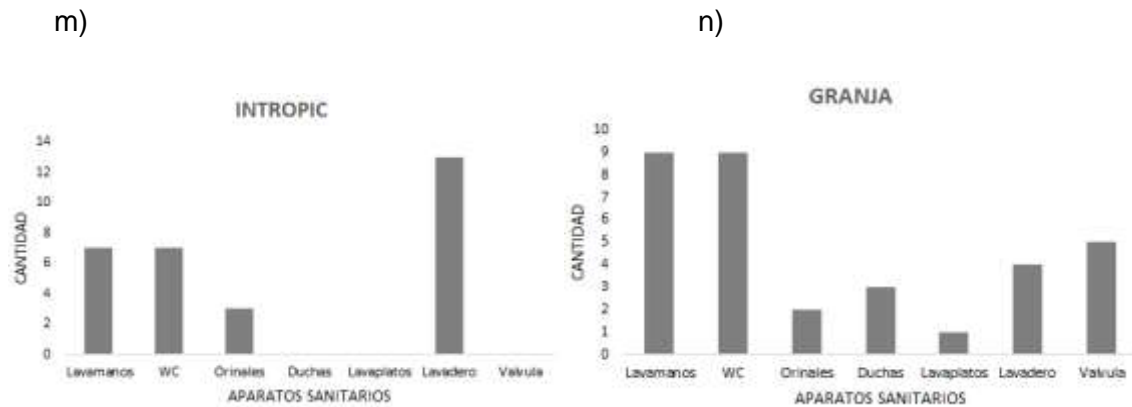


k)



l)





Fuente: Autor.

Como se puede evidenciar en los gráficos anteriores. El bloque que cuenta con mayor cantidad de lavamanos e inodoros es Mar Caribe con 72 y 44 respectivamente como se puede ver en el gráfico 2.d y el bloque con menos de estos aparatos sanitarios es la biblioteca B. Mayer con 2 lavamanos y 4 inodoros (grafico 10.j). Además, el bloque que cuenta con más lavadero es el bloque 6, cabe recordar que en este bloque se encuentran los laboratorios de físicas, químicas, biología y microbiología, asimismo, es el único que cuenta con destilador con 4 aparatos (grafico 10.i). El bloque que cuenta con más válvula son los hangares con 7 válvulas de cierre (grifo) (grafico 10.l).

Además, se observó, que la universidad del Magdalena cuenta con 32 aparatos sanitarios en mal estado en todo el campus. En la tabla 11 se relacionan la cantidad existente por bloques.

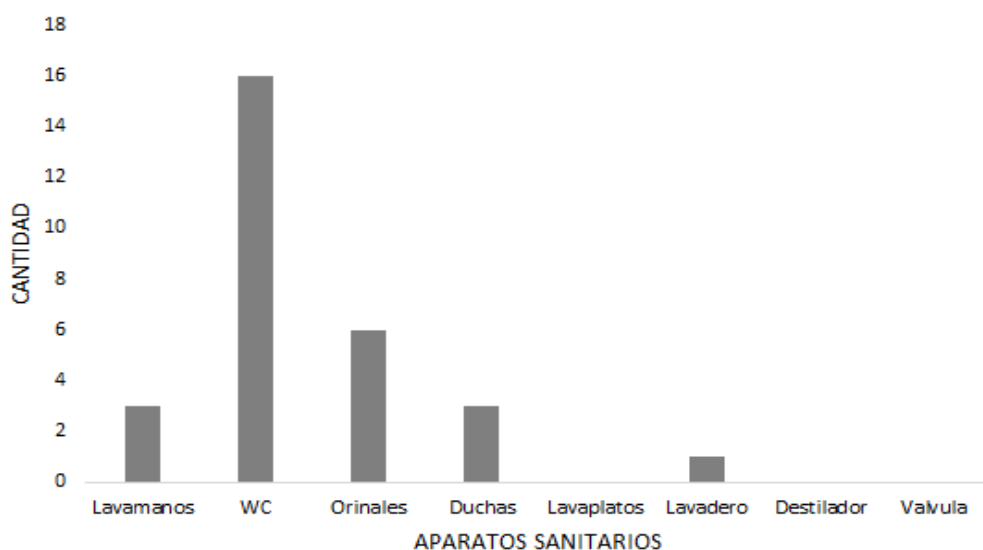
Tabla 11. *Inventario de aparatos sanitarios en mal estado por bloques, del campus de la universidad del Magdalena.*

BLOQUES	LUGAR	APARATOS SANITARIOS	BAÑO MASCULINO	ESTADO	BAÑO FEMENINO	ESTADO	COCINA	ESTADO	OFICINA	ESTADO	LABTRO.	ESTADO
B. ROQUE MORELLI (ADMINISTRATIVO)	1° piso	WC	-	-	1	MALO	-	-	-	-	-	-
	2° piso	WC	1	MALO	1	MALO	-	-	-	-	-	-
SIERRA NEVADA	2° piso	WC	-	-	1	MALO	-	-	-	-	-	-
CIENEGA GRANDE	1° piso	Orinales	3	MALO	-	-	-	-	-	-	-	-
	2° piso	WC	-	-	-	-	1	MALO				
	3° piso	WC	-	-	-	-	-	-	1	MALO		
BLOQUE DOCENTE	3° PISO	Lavamanos	-	-	-	-	1	MALO				
		WC	-	-	-	-	1	MALO				
BLOQUE 2	1° PISO	WC	1	MALO	3	MALO	-	-	-	-	-	-
BLOQUE 4	1° PISO	Lavamanos	-	-	1	MALO	-	-	-	-	-	-
BLOQUE 5	1° PISO	WC	2	MALO	-	-	-	-	-	-	-	-
BLOQUE 6	1° PISO	WC	2	MALO	2	MALO	-	-	-	-	-	-
		Orinales	2	MALO	-	-	-	-	-	-	-	-
BIBLICA. B.	1° Piso	Lavamanos	-	-	1	MALO	-	-	-	-	-	-

MEYER												
HANGARES	Hangar D	Duchas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 MALO
INTROPIC	1° Piso	Orinales	1	MALO	-	-	-	-	-	-	-	-
		Lavadero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 MALO
GRANJA	Hangar	Lavamanos	1	MALO	-	-	-	-	-	-	-	-
		WC	1	MALO	-	-	-	-	-	-	-	-
		Duchas	1	MALO	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL			15		10		3		1		3	

Fuente: Autor.

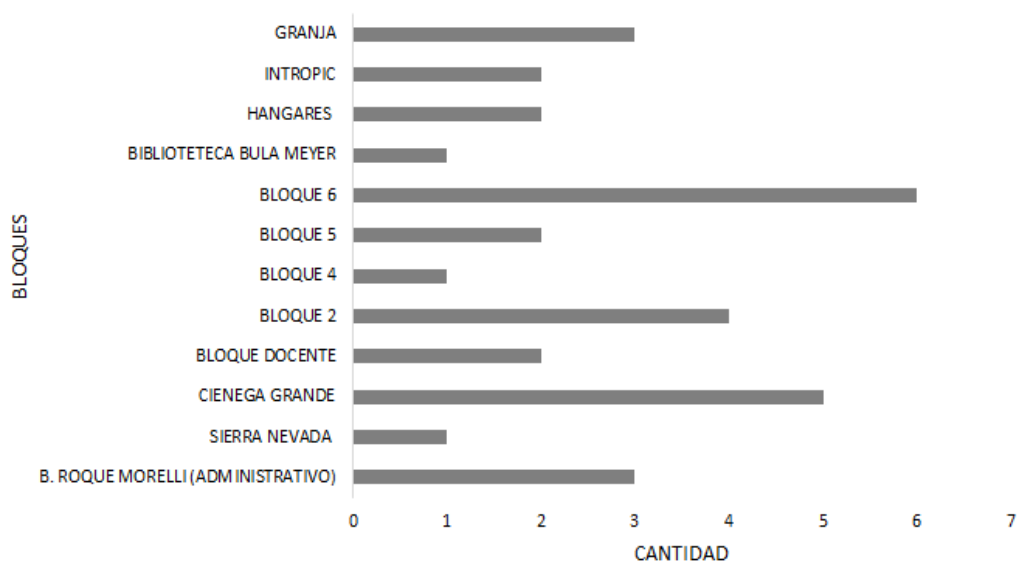
Grafica 11. *Números de aparatos sanitarios en mal estado en el campus de la Universidad del Magdalena.*



Fuente: Autor.

Como se aprecia en el grafico 11 los inodoros con un total de 16 representan el mayor número de aparato en mal estado, seguido de los orinales con 6, lavamanos y duchas con 3.

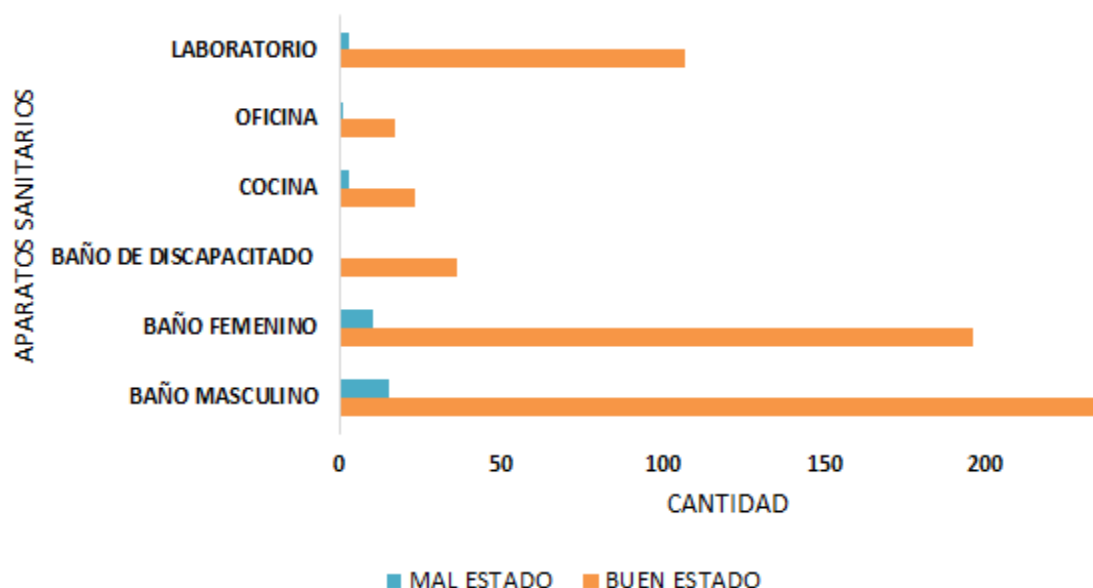
Grafica 12. *Relación de números de aparatos sanitarios en mal estado por bloques, en el campus de la Universidad del Magdalena.*



Fuente: Autor.

En el grafico 12 el bloque se evidencia que el mayor número de aparatos sanitarios en mal estado es el Bloque 6 con una cantidad de 6 aparatos, seguido de Ciénega Grande con 5; Bloque 2 con cuatro; la Granja y el Bloque Administrativo con 3 cada uno. Los bloques de Intropic, Hangares, Bloque 5 y Bloque Docente con 2 cada uno y Sierra Nevada, Bloque 4 y Biblioteca con 1 cada uno.

Grafica 13. *Diferencia entre aparatos sanitarios de buen estado y mal estado, por género en el campus de la Universidad del Magdalena.*

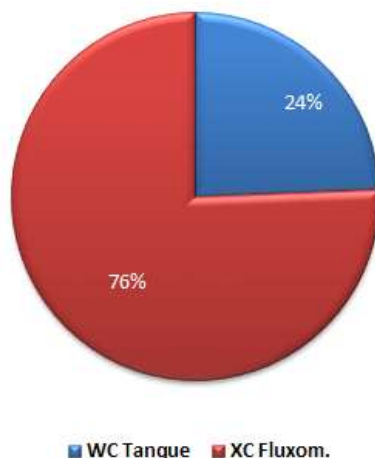


Fuente: Autor.

En el grafico 13 se puede evidenciar que los aparatos sanitarios de los baños de las personas con discapacidad todos se encuentran en buen estado, estos se encuentran en Mar caribe, Sierra Nevada, Ciénega Grande, Bloque Docente y Hangar B. Los baños de los hombres y mujeres son lo que presentan más aparatos sanitarios en mal estado con 15 y 10 respectivamente. Asimismo, en el Hangar D en el laboratorio de acuicultura se evidencia 2 duchas en mal estado, un inodoro en la facultad de salud que tiene fuga y un lavadero que esta obstruido en el laboratorio nueve de Intropic.

Por otra parte, la universidad cuenta con dos clases de sanitarios, la primera es inodoro de tanque y la segunda inodoro de fluxómetro, la primera cuenta con 49 y la segunda con 152 aparatos. Cabe recordar que los inodoros de tanques no son ahorradores y esto representa 24% del campus (grafico 14).

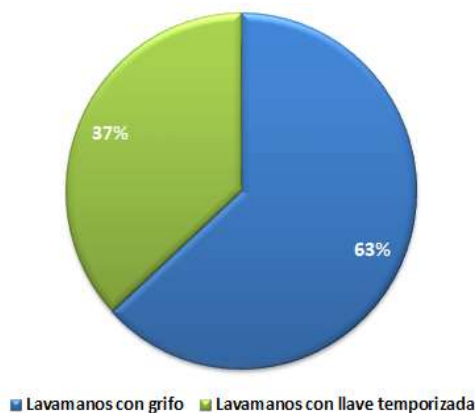
Grafica 14. Diferencia porcentual entre inodoros con tanque e inodoro con fluxómetro, en el campus de la Universidad del Magdalena.



Fuente: Autor.

Asimismo, también se evidencio que los lavamanos son poco ahorradores, ya que, la mayoría es de grifo con una cantidad de 149 y esto representa el 63% y con llave temporizada son 87. Cabe recordar que 80 son del nuevo aulas de clase Mar Caribe los otros siete están deteriorados (ver gráfico 15).

Grafica 15. Diferencia porcentual entre lavamanos con grifo y lavamanos con llave temporizada, en el campus de la Universidad del Magdalena.



Fuente: Autor.

Durante el recorrido se percibió que en los baños de hombres del bloque de laboratorio de la granja presenta malos olores. Igualmente, en el baño de hombres y mujeres del Bloque 2 y 4. También, el baño de la cocina de la facultad de educación.

1. Análisis Multicriterio Para La Evaluación De Estrategias.

3.1. Análisis multicriterio.

Mediante el diagnóstico se identificaron las posibles alternativas para el uso sostenible y aprovechamiento del recurso hídrico dentro del campus de la Universidad del Magdalena, las cuales serán priorizadas utilizando el método multicriterio AHP con el fin de optimizar la toma de decisiones.

Para obtener un análisis más objetivo, la evaluación de priorización se realizó por expertos en el tema, por lo que, de acuerdo con su formación, recomiendo académico y experiencia en el tema, se pudo realizar la evaluación de las estrategias de una forma más objetiva. A continuación, se describiera.

3.1.1. Metodología AHP.

El Proceso de Análisis Jerárquico, es un método fundamentado en la evaluación de diferentes criterios que permiten jerarquizar un proceso y su objetivo final consiste en optimizar la toma de decisiones gerenciales (Saaty, 1980). Esta metodología se utiliza para resolver problemas con necesidad de priorizar distintas opciones y decidir la opción más conveniente. Las decisiones para tomar con el uso de esta técnica pueden variar desde simple decisiones personales y cualitativas hasta escenarios de decisiones muy complejas y totalmente cuantitativas.

3.1.2. Fundamentos teóricos del AHP.

La metodología AHP (Saaty, 1980,1990) es una herramienta flexible para la toma de decisiones multicriterio. La técnica AHP ayuda a los analistas a organizar los aspectos críticos de un problema en una estructura jerárquica similar a la estructura de un árbol familiar, reduciendo las decisiones complejas a una serie de comparaciones que permiten la jerarquización de los diferentes aspectos (criterios) evaluados.

En su apéndice matemático, Saaty (1998), el AHP esta se presenta en cuatro axiomas:

Axioma 1: *referente a la condición de juicios recíprocos:* La intensidad de preferencia de A_i/A_j es inversa a la preferencia de A_j/A_i .

Axioma 2: *referente a la condición de homogeneidad de los elementos:* Los elementos que se comparan son del mismo orden de magnitud.

Axioma 3: *referente a la condición de estructura jerárquica o estructura dependiente de reaprovechamiento:* Dependencia en los elementos de dos niveles consecutivos en la jerarquía y dentro de un mismo nivel.

Axioma 4: *referente a condición de expectativas de orden de rango:* Las expectativas deben estar representadas en la estructura en términos de criterios y alternativas.

3.1.3. Esquema del modelo AHP.

El proceso de análisis jerárquico propone ejecutar los siguientes pasos:

a) Definir los criterios de decisión en forma de objetivos jerárquicos. La jerarquización se estructura en diferentes niveles: iniciándose en el tope con la definición del objetivo principal del proceso de jerarquización, luego se definen los niveles intermedios (criterios y subcriterios a evaluar) y finalmente, en el nivel más bajo se describen las alternativas a ser comparadas.

b) Evaluar (pesar) los diferentes criterios, subcriterios y alternativas en función de su importancia correspondiente en cada nivel. Criterios cualitativos y cuantitativos pueden ser comparados usando juicios informales para obtener los pesos y las prioridades. Para criterios cualitativos, la técnica AHP utiliza simples comparaciones (apareadas - pairwise) para determinar los pesos y evaluarlos. De esta forma el analista puede concentrarse en sólo dos criterios al mismo tiempo. De hecho, la técnica AHP está basada en la suposición de que el analista (decisor) puede de forma más fácil elegir un valor de comparación que un valor absoluto. Los juicios verbales son trasladados a una escala de puntuación – ver Tabla 12.

Tabla 12. Valoración de los juicios.

Juicios	Puntuación
Igual	1
	2
Moderado	3
	4
Fuerte	5
	6
Muy Fuerte	7
	8
Extremo	9

Fuente: Saaty, 1980.

Posteriormente, en una matriz de juicios, un vector de prioridad es calculado y usado para pesar (comparar) los elementos de la matriz. Saaty (1980,1990), demuestra matemáticamente que el autovector normalizado calculado a partir de la matriz es la mejor aproximación de evaluación de los criterios analizados. En el caso de criterios cuantitativos, es necesario diseñar un método de priorización que permita cuantificar de forma consistente el peso de cada criterio a ser analizado (Wind y Saaty, 1980).

c) La técnica AHP permite al analista evaluar la congruencia de los juicios con el radio de inconsistencia (IR). Antes de determinar una inconsistencia, es necesario estimar el índice de consistencia (CI) de una $n \times n$ matriz de juicios, donde CI viene definido por:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Donde λ_{\max} es el máximo autovalor de la matriz. De esta forma IR es definido por:

$$IR = \frac{CI}{RI}$$

Donde RI es el valor aleatorio promedio de CI para una $n \times n$ matriz. Los valores de RI son mostrados en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores de RI para matrices de diferentes órdenes.

N	1	2	3	4	5	6	7
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35

Fuente: Saaty, 1980

Los juicios pueden ser considerados aceptables si IR es inferior o igual 0,1. En casos de inconsistencia, el proceso de evaluación para la matriz evaluada es inmediatamente repetido. Inconsistencias superiores a 0,1 o más justifican una mayor investigación de los criterios evaluados.

d) Jerarquizar las alternativas y tomar las decisiones correspondientes. Para cada alternativa (opciones a jerarquizar), se calcula el nivel de preferencia (jerarquización) sobre una escala entre 0.0000 – 1.000, obteniéndose como resultado alternativas jerarquizadas en función de los criterios de decisión evaluados, ver detalles en (Saaty, 1980). Para mayor facilidad en la implementación del método AHP lo trabajaremos de una escala de 1 a 9 como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Escala de comparación método AHP.

ESCALA	JUICIOS	EXPLICACIÓN
1	Igualmente, preferida	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo
3	Moderadamente preferida	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro
5	Fuertemente preferida	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro
7	Muy fuertemente preferida	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio.
9	Extremadamente preferida	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro

Fuente: Saaty (1980).

3.2. Criterios.

Para la selección de los criterios se tienen en cuenta las especificaciones de la Política Nacional del Recurso Hídrico que, en consideración al proceso de planificación son relevantes las condiciones económicas, ecológicas y sociales, así como herramientas que articulen las mejores condiciones para la implementación de estrategias relacionadas con el uso y aprovechamiento del recurso hídrico en el campus de la Universidad del Magdalena. Los criterios son los siguientes:

Espacios Físicos: Hace referencia a la disponibilidad de área para implementar la estrategia.

Costo de Inversión: Disponibilidad de recursos económicos para implementar la estrategia.

Estándares de calidad de agua: Valor límite de contaminación establecido legalmente para cierto parámetro de calidad de agua.

Presión Ecológica: Se refiere al impacto que genera la estrategia a los ecosistemas.

Adaptación de la Comunidad Sobre las Estrategias: hace alusión a la percepción de la comunidad universitaria con las estrategias.

3.3. Descripción de las estrategias.

Luego de ser el respectivo diagnóstico en el campus de la universidad del Magdalena se identificaron las siguientes estrategias para un análisis de priorización. A continuación, se muestra las estrategias con su respectiva descripción.

- **Usos de dispositivos ahorradores:** Estrategia que tiene como objeto la instalación de dispositivos tecnológicos que reduzcan el caudal o el volumen de descarga. Permite mejoras o readaptaciones en los sistemas o componentes hidráulicos tradicionales, tales como inodoros, regaderas, llaves de lavabo y aspersores para riego que consumen volúmenes considerables de agua. Se

pueden adaptar o modificar para reducir el volumen estándar de trabajo. Su instalación es de gran facilidad y lo puede realizar el usuario y en cuanto a su mantenimiento es mínimo.

- **Usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales:** Tiene como objeto controlar y medir los caudales en cada punto requerido, facilitando el control y monitoreo en los consumos de agua, así como identificar fugas presentes en el sistema y realizar mantenimiento preventivo en cada uno de los bloques de la Institución.
- **Educación Ambiental:** Estrategia de tipo formativo que tiene como objeto promover un proceso continuo y permanente de aprendizaje con la dimensión de una formación integral de toda la comunidad universitaria, orientando al proceso de adquisición de conocimientos y actitudes en torno al buen uso y aprovechamiento de los recursos hídricos.
Así mismo en esta se pretende fortalecer conocimientos de todo el personal Universitario en los temas de: Gobernanza, Cultura del agua y Conflictos por el agua.
- **Identificación y diseño de puntos de recarga natural para el acuífero presente en el campus de la Universidad del Magdalena:** Diseñar puntos de recarga natural para la zona del acuífero que se encuentra en el campus de la Universidad del Magdalena. Consisten en almacenar las aguas de escorrentía en las zonas bajas, mediante la construcción de estructuras en las zonas de pondaje, de tal manera que el agua se acumule en diferentes puntos durante las épocas de precipitación y se establezca un proceso de infiltración hacia el acuífero a través de estructuras de recargas instaladas en el fondo del pondaje.
- **Aprovechamiento de las aguas lluvias:** Diseñar un sistema para la recolección, almacenamiento y aprovechamiento de las aguas lluvias en el campus de la Universidad del Magdalena.

- **Aprovechamiento de las aguas de los aires acondicionados:** Diseñar un sistema para la reutilización de las aguas de los aires acondicionados, dentro del campus de la Universidad del Magdalena.
- **Optimización del riego en las zonas verde:** Desarrollar un sistema inteligente de bajo costo para el riego inteligente, utilizando un sistema operativo que sirva para optimizar el riego en el campus de la universidad del Magdalena.
- **Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales:** Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el campus de la universidad del Magdalena.
- **Adecuación de filtros purificadores de agua:** Diseñar puntos de adecuación de filtros purificadores de agua en alguno de los bloques del campus de la Universidad del Magdalena.
- **Diseño de una planta de tratamiento de agua potable:** Diseñar una planta de tratamiento de agua potable que permita abastecer a la comunidad universitaria.

3.4. Resultado de los análisis multicriterio para la evaluación de estrategias.

Expuesta la metodología de Saaty anteriormente, se analizaron los resultados de priorización del análisis multicriterio realizado por el panel de expertos.

- **Andrés Hatum Pontón:**

- I. **Maestría:** MAESTRÍA EN INGENIERÍA – RECURSOS HIDRÁULICOS.

- II. **Profesional:** INGENIERÍA CIVIL.

- III. **DIRECTOR DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CÍVIL DE LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA.**

- **Álvaro Castillo Miranda:**
 - I. **Especialización:** ESPECIALIZACIÓN EN ESTUDIOS PEDAGÓGICOS; ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL.
 - II. **Profesional:** INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL.
 - III. Docente de la línea de agua de los programas de ingeniería ambiental y sanitaria y civil de la Universidad del Magdalena.
- **Eliana Vergara Vázquez:**
 - I. **Maestría:** MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES.
 - II. **Profesional:** INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA.
 - III. Directora de Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Magdalena.
- **Isaac Romero Borja:**
 - I. **Maestría:** MAESTRÍA EN MANEJO INTEGRADO COSTERO.
 - II. **Especialización:** ESPECIALIZACIÓN EN CIENCIAS AMBIENTALES.
 - III. **Profesional:** BIOLOGÍA.
 - IV. Coordinador de laboratorio de calidad de agua y docente investigador en la línea de aguas de la universidad del Magdalena.
- **David Macias:**
 - I. **Profesión:** INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA.
 - II. Profesional de la línea de aguas de la autoridad ambiental departamental del Magdalena DADSA.

A continuación, se hará el análisis del desarrollo de la metodología. Sin embargo, la metodología del análisis es igual para todos los expertos, por tanto, se tomará como modelo uno de estos estudios para la explicación de este, por consiguiente, se tomará el del Ing. Andrés Hatum y el resultado fue el siguiente:

i) Comparación de Criterios:

Una vez definido los criterios, se realiza el análisis de los criterios, es decir, se compara criterio por criterio. Por ejemplo, en la tabla 15 en la cual, el valor de 3 indica que se está prefiriendo moderadamente a '*Espacio Físicos*' frente a '*Costo de Inversión*'. De igual manera, el valor 1/3 corresponden a los inversos, es decir, que la comparación se realiza en los dos sentidos: '*Costo de Inversión*' vs '*Espacio Físicos*', lo cual explica que la diagonal corresponda a valores de 1, pues refleja la comparación del criterio contra el mismo.

Tabla 15. Matriz de comparación de criterios realizado por el Ing. Andrés Hatum.

Matriz de comparación de criterios					
CRITERIO:	Espacios físicos	Costo de inversión	Estándares de calidad de agua	Presión ecológica	Adaptación de la comunidad sobre las estrategias
Espacios físicos	1	3	1/5	1/3	1/3
Costo de inversión	1/3	1	1/5	1/5	1/3
Estándares de calidad de agua	5	5	1	1	3
Presión ecológica	3	5	1	1	3
Adaptación de la comunidad sobre las estrategias	3	3	1/3	1/3	1
TOTAL	12,33	17,00	2,73	2,87	7,67

Fuente: Autor.

ii) Normalización de los criterios y vector de prioridad:

Después de haber realizado las comparaciones de todos los criterios, estas matrices son normalizadas, es decir, se divide cada término de la matriz sobre la suma de sus columnas, y en este caso se obtendría una matriz tal como se presenta en la tabla 16. Con esta matriz, se obtiene el vector de prioridad del criterio al promediar los valores de las filas (Tabla 17).

Tabla 16. *Matrices de criterio normalizadas*

Matriz normalizada por criterios					
CRITERIO:	Espacios físicos	Costo de inversión	Estándares de calidad de agua	Presión ecológica	Adaptación de la comunidad sobre las estrategias
Espacios físicos	0,081	0,176	0,073	0,116	0,043
Costo de inversión	0,027	0,059	0,073	0,070	0,043
Estándares de calidad de agua	0,405	0,294	0,366	0,349	0,391
Presión ecológica	0,243	0,294	0,366	0,349	0,391
Adaptación de la comunidad sobre las estrategias	0,243	0,176	0,122	0,116	0,130

Fuente: Autor.

Tabla 17. *Vector de prioridad de criterios.*

Vector de prioridad de criterios
0,098
0,054
0,361
0,329
0,158

Fuente: Autor.

iii) Radio de consistencia:

Se define como la consistencia de los criterios, el cual valida que los juicios no tengan errores entre ellos, es decir, que no se haya producido contradicciones en los mismos. Un valor de este coeficiente inferior e igual a 0.10 es considerado aceptable. Para aquellos casos en que sea mayor, las opiniones y los juicios deben ser reevaluados. Se halla con la ecuación (5):

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Donde:

RC: Radio de consistencia.

IC: índice de consistencia.

IA: índice de aleatoriedad.

El índice de consistencia se calcula en la siguiente ecuación (6):

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Donde:

IC: índice de consistencia.

λ_{max} : es la suma ponderada por la prioridad de su alternativa o criterio correspondiente.

n: números de juicios.

El índice de aleatoriedad se calcula en la siguiente ecuación (7):

$$IA = \frac{1,98 * (n - 2)}{n}$$

Donde:

IA: Índice de aleatoriedad.

n: números de juicios.

En el cual, los resultados de la ecuación (5) se ven reflejado en la tabla 18.

Tabla 18. Radio de Consistencia

(Tabla 15) *(Tabla 17)		
0,49579254	$CI = (N_{max} - n) / (n - 1)$	0,06840323
0,27766562	$RI = 1.98 * (n - 2) / n$	1,188
1,92554894	$CR = CI / RI$	0,058
1,72935705		
0,84524877		
5,274		

Fuente: Autor.

Como se puede ver en la tabla 24 el Radio de Consistencia es de 0,058, es decir, es menor a 0,1 es considerado aceptable, por consiguiente, seguimos con la comparación de las estrategias.

iv) Comparación de las estrategias:

Una vez se han definido los criterios, se realiza el análisis por pares, es decir, se comparan cada una de las alternativas frente a cada uno de los criterios de manera biunívoca, es decir, par a par. Por ejemplo, si se quiere evaluar el criterio de “Espacio Físico”, se tendría una matriz como la que se presenta en la tabla 25 en la cual, el valor de 5 indica que se está prefiriendo fuertemente a ‘Usos de dispositivos ahorradores’ frente a ‘Educación Ambiental’. De igual manera, el valor 1/5 corresponden a los inversos, es decir, que la comparación se realiza en los dos sentidos: ‘Educación Ambiental’ vs ‘Usos de dispositivos ahorradores’, lo cual explica que la diagonal corresponda a valores de 1, pues refleja la comparación del factor contra el mismo.

Tabla 19. Matriz de comparación del criterio de "Espacio Físico" realizado por el Ing. Andrés Hatum.

CRITERIO O FACTOR: ESTRATEGIA	Usos de dispositivos ahorradores	usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales	Educación ambiental	Diseño de puntos de recarga natural para el acuífero presente en el campus	Aprovechamiento de las aguas lluvias	Aprovechamiento de las aguas de los aires acondicionado	Optimización del riego en las zonas verde	Diseño de planta de tratamiento de agua residual es	Adecuación de filtros purificadores de agua	Diseño de una planta de tratamiento de agua potable
Usos de dispositivos ahorradores	1	1	5	1 / 3	1/3	1	1	3	3	5
usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales	1	1	5	1 / 3	1/3	1	1	3	3	5
Educación ambiental	1/5	1/5	1	1/5	1/5	5	1/3	3	3	3
Diseño de puntos de recarga natural para el acuífero presente en el campus	3	3	5	1	3	5	5	5	5	5
Aprovechamiento de las aguas lluvias	3	3	5	1/3	1	5	1/3	5	5	5

Aprovechamiento de las aguas de los aires acondicionado	1	1	1/5	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/5
Optimización del riego en las zonas verde	1	1	3	1/5	3	5	1	3	3	3
Diseño de una planta de tratamiento de agua residuales	1/3	1/3	1/3	1/5	1/5	5	1/3	1	5	1
Adecuación de filtros purificadores de agua	1/3	1/3	1/3	1/5	1/5	5	1/3	1/5	1	1/5
Diseño de una planta de tratamiento de agua potable	1/5	1/5	1/3	1/5	1/5	5	1/3	1	1/5	1

Fuente: Autor.

v) Normalización y vector de prioridad del criterio de “Espacio Físico”:

Después de haber realizado las comparaciones de todos los factores, estas matrices son normalizadas, es decir, se divide cada término de la matriz sobre la suma de sus columnas, y en este caso se obtendría una matriz tal como se presenta en la tabla 20. Con esta matriz, se obtiene el vector de prioridad del criterio al promediar los valores de las filas. Este procedimiento se repite para todos los criterios y también se realiza para comparar los criterios entre sí (Tabla 21).

Tabla 20. Matriz normalizada del criterio de “Espacio Físico”.

CRITERIO O FACTOR: ESTRATEGIA	Usos de dispositivos ahorradores	usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales	Educación ambiental	Diseño de puntos de recarga natural para el acuífero presente en el campus	Aprovechamiento de las aguas lluvias	Aprovechamiento de las aguas de los aires acondicionados	Optimización del riego en las zonas verde	Diseño de planta de tratamiento de agua residuales	Adecuación de filtros purificadores de agua	Diseño de una planta de tratamiento de agua potable
Usos de dispositivos ahorradores	0,090	0,090	0,198	0,104	0,038	0,026	0,101	0,123	0,090	0,176
usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales	0,090	0,090	0,198	0,104	0,038	0,026	0,101	0,123	0,090	0,176
Educación ambiental	0,018	0,018	0,040	0,063	0,023	0,132	0,034	0,123	0,090	0,106
Diseño de puntos de recarga natural para el acuífero presente en el campus	0,271	0,271	0,198	0,313	0,346	0,132	0,507	0,205	0,151	0,176

Aprovechamiento de las aguas lluvias	0,271	0,271	0,198	0,104	0,115	0,132	0,034	0,205	0,151	0,176
Aprovechamiento de las aguas de los aires acondicionados	0,090	0,090	0,008	0,063	0,023	0,026	0,020	0,008	0,006	0,007
Optimización del riego en las zonas verde	0,090	0,090	0,119	0,063	0,346	0,132	0,101	0,123	0,090	0,106
Diseño de una planta de tratamiento de agua residuales	0,030	0,030	0,013	0,063	0,023	0,132	0,034	0,041	0,151	0,035
Adecuación de filtros purificadores de agua	0,030	0,030	0,013	0,063	0,023	0,132	0,034	0,008	0,030	0,007
Diseño de una planta de tratamiento de agua potable	0,018	0,018	0,013	0,063	0,023	0,132	0,034	0,041	0,151	0,035

Fuente: Autor.

Tabla 21. Vector de prioridad del criterio de “Espacio Físico”.

Vector de prioridad de espacio físicos
0,104
0,104
0,065
0,257
0,166
0,034
0,126
0,055
0,037
0,053

Fuente: Autor.

Con cada vector de prioridad obtenido para los criterios, se conforma una matriz de prioridades global (Tabla 22), la cual, se multiplica matricialmente con el vector de prioridad de criterios (Tabla 17), obtenido al realizar la comparación entre los criterios (Tabla 15). El resultado, es un vector denominado vector de prioridad de las alternativas, el cual, se constituye en la solución del problema, al presentar cada una de las alternativas y un porcentaje de preferencia para cada una de ellas; para el caso del Ing. Andrés Hatum el resultado del análisis multicriterio se tiene el vector de la tabla 23.

Tabla 22. Matriz de prioridad global.

	Espacios físicos	Costo de inversión	Estándares de calidad de agua	Presión ecológica	Adaptación de la comunidad sobre las estrategias
Usos de dispositivos ahorradores	0,104	0,100	0,044	0,034	0,104
usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales	0,104	0,044	0,038	0,034	0,104
Educación ambiental	0,065	0,274	0,097	0,039	0,065
Identificación y diseño de puntos de recarga natural para el acuífero presente en el campus de la Universidad del Magdalena	0,257	0,077	0,074	0,258	0,257
Aprovechamiento de las aguas lluvias	0,166	0,198	0,039	0,167	0,166
aprovechamiento de las aguas de los aires acondicionados	0,034	0,101	0,020	0,040	0,034
Optimización del riego en las zonas verdes	0,126	0,084	0,038	0,133	0,126
Diseño de una planta de tratamiento de agua residuales	0,055	0,033	0,237	0,099	0,055
Adecuación de filtros purificadores de agua	0,037	0,043	0,175	0,097	0,037
Diseño de una planta de tratamiento de agua potable	0,053	0,046	0,237	0,099	0,053

Fuente: Autor.

Tabla 23. Resultados de Andrés Hatum del análisis multicriterio para la evaluación de estrategias.

ESTRATEGIAS	PRIORIDADES (%)	ALTERNATIVAS
Identificación y diseño de puntos de recarga natural para el acuífero presente en el campus de la Universidad del Magdalena	18,14%	1
Diseño de una planta de tratamiento de agua potable	13,39%	2
Diseño de una planta de tratamiento de agua residuales	13,39%	3
Aprovechamiento de las aguas lluvias	12,23%	4
Adecuación de filtros purificadores de agua	10,70%	5
Optimización del riego en las zonas verdes	9,45%	6
Educación ambiental	7,94%	7
Usos de dispositivos ahorradores	5,89%	8
usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales	5,39%	9
	3,47%	10

Fuente: Autor.

En la tabla 23 las prioridades del Ing. Hatum es la ***“Identificación y diseño de puntos de recarga natural para el acuífero presente en el campus de la Universidad del Magdalena”***. En segunda instancia, es el ***“Diseño de una planta de tratamiento de agua potable”***, y, por último, ***“Diseño de una planta de tratamiento de agua residuales”***.

A continuación, se mostrará los resultados de los demás expertos que aplicaron el Método AHP, que son los siguientes:

➤ **Álvaro Castillo Miranda:****Tabla 24.** Resultados de Álvaro Castillo del análisis multicriterio para la evaluación de estrategias.

ESTRATEGIAS	PRIORIDADES (%)	ALTERNATIVAS
Educación ambiental	20,92%	1
usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales	15,85%	2
Usos de dispositivos ahorradores	14,31%	3
aprovechamiento de las aguas de los aires acondicionados	9,29%	4
Aprovechamiento de las aguas lluvias	9,08%	5
Identificación y diseño de puntos de recarga natural para el acuífero presente en el campus de la Universidad del Magdalena	8,53%	6
Diseño de una planta de tratamiento de agua residuales	7,40%	7
Optimización del riego en las zonas verdes	6,52%	8
Adecuación de filtros purificadores de agua	4,42%	9
Diseño de una planta de tratamiento de agua potable	3,69%	10

Fuente: Autor.

En la tabla 24 la prioridad del Ing. Castillo es la **“Educación ambiental”**. En segunda petición, es el **“usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales”**. Y, por último, el **“aprovechamiento de las aguas de los aires acondicionados”**.

➤ **Eliana Vergara:****Tabla 25.** Resultados de Eliana Vergara del análisis multicriterio para la evaluación de estrategias.

ESTRATEGIAS	PRIORIDADES (%)	ALTERNATIVAS
Educación ambiental	13,40%	1
Aprovechamiento de las aguas lluvias	11,68%	2
Usos de dispositivos ahorradores	11,16%	3
aprovechamiento de las aguas de los aires acondicionados	10,31%	4
usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales	10,05%	5
Optimización del riego en las zonas verdes	10,00%	6
Identificación y diseño de puntos de recarga natural para el acuífero presente en el campus de la Universidad del Magdalena	9,46%	7
Diseño de una planta de tratamiento de agua potable	9,30%	8
Adecuación de filtros purificadores de agua	9,07%	9
Diseño de una planta de tratamiento de agua residuales	5,57%	10

Fuente: Autor.

En la tabla 25 las prioridades de la ing. Vergara son: primero el **"Aprovechamiento de las aguas lluvias"**, en segundo lugar, los **"Usos de dispositivos ahorradores"** y por último la **"Educación ambiental"**.

➤ **Isaac Romero:****Tabla 26.** Resultados de Isaac Romero del análisis multicriterio para la evaluación de estrategias.

ESTRATEGIAS	PRIORIDADES (%)	ALTERNATIVAS
Usos de dispositivos ahorradores	20,91%	1
usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales	17,03%	2
Educación ambiental	17,51%	3
Identificación y diseño de puntos de recarga natural para el acuífero presente en el campus de la Universidad del Magdalena	12,73%	4
Aprovechamiento de las aguas lluvias	8,97%	5
aprovechamiento de las aguas de los aires acondicionados	8,07%	6
Optimización del riego en las zonas verdes	4,69%	7
Diseño de una planta de tratamiento de agua residuales	3,27%	8
Adecuación de filtros purificadores de agua	4,49%	9
Diseño de una planta de tratamiento de agua potable	2,32%	10

Fuente: Autor.

En la tabla 26 el biólogo Romero, la primera prioridad para él es el **“Usos de dispositivos ahorradores”**, en segundo lugar, **“usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales”** y, por último, **“Educación ambiental”**.

➤ David Macías

Tabla 27. Resultados de David Macías del análisis multicriterio para la evaluación de estrategias.

ESTRATEGIAS	PRIORIDADES (%)	ALTERNATIVAS
Educación ambiental	23,91%	1
Optimización del riego en las zonas verdes	12,73%	2
Diseño de una planta de tratamiento de agua potable	10,93%	3
Diseño de una planta de tratamiento de agua residuales	9,04%	4
Usos de dispositivos ahorradores	8,82%	5
Adecuación de filtros purificadores de agua	8,56%	6
Aprovechamiento de las aguas lluvias	7,80%	7
usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales	7,39%	8
Identificación y diseño de puntos de recarga natural para el acuífero presente en el campus de la Universidad del Magdalena	5,42%	9
aprovechamiento de las aguas de los aires acondicionados	5,40%	10

Fuente: Autor.

En la tabla 27 el Ing. Macías, la primera prioridad para él es la **“Educación ambiental”**, en segundo lugar, **“Optimización del riego en las zonas verdes”**, y, por último, **“Diseño de una planta de tratamiento de agua potable”**.

Analizando las tablas anteriores se observa que, aunque existe diferencia significativa en los criterios de cada experto, cuatro de ellos coinciden en la prioridad de implementar inicialmente la **“Educación ambiental”**. Asimismo, de los cuatros experto la tiene como

primera alternativa. Además, también tres expertos coinciden en la estrategia de **“Usos de dispositivos ahorradores”**.

3.5. Propuesta de implementación de estrategias.

Por otra parte, considerando las evaluaciones de los expertos; hacer el diagnóstico del abastecimiento de agua; y el inventario y estado de los aparatos hidrosanitarios del campus. Se propone el diseño de cada una de las estrategias, dentro del marco del conocimiento que compone el programa de Ingeniería Civil de la Universidad del Magdalena.

3.5.1. Propuesta de “Usos de dispositivos ahorradores”.

Esta propuesta tiene como objeto la instalación de dispositivos tecnológicos que reduzcan el caudal o el volumen de descarga. Permite mejorar o readaptaciones en los sistemas o componentes hidráulicos tradicionales, tales como regaderas, llaves de lavamanos, sanitarios y aspersores para riego que consumen volúmenes considerables de agua. Por consiguiente, proponemos algunos dispositivos ahorradores de volumen de agua, la cuales son:

- **Llaves de lavamanos:** durante el inventario y estado de los aparatos hidrosanitarios se encontró, que los lavamanos que se encuentra en el campus son poco ahorradores, dado que, la mayoría son de grifo y estos desperdician mucha agua a la hora de utilizarlo con una representación en el campus del 63%. También, cabe recordar que el nuevo edificio de aulas “Mar Caribe” sus baños usa dispositivos ahorradores.

Existen varios métodos de ahorro de agua a partir del uso de griferías, incluyendo varios mecanismos. Entre los más usados están:

- **Detector de movimiento:** funciona con rayos infrarrojos, por lo que es necesario instalar grifos especiales y usar pilas que proporcionen energía para la activación del sistema.
- **Imanes:** una palanca metálica que sale de la llave puede ser movida para dejar salir el agua momentánea o constantemente.

– **Aireadores:** regulan el caudal desde el agujero del grifo que permite la salida del agua. Por consiguiente, proponemos los aireadores.

Características generales de los aireadores para el ahorro de agua:

- Sistemas ahorradores de agua de alta tecnología y simple instalación.
- Reducen la salida de agua de un promedio de 12 ltrs por minuto a 4.5 y 2.5 ltrs por minuto, según el modelo.
- Cualquiera que sea su caudal o presión inicial, los reguladores de caudal están concebidos para dejar pasar solamente una cantidad definida de agua.
- El regulador del caudal también tiene la gran ventaja de compensar la distribución del agua entre los pisos más altos y bajos de un edificio o de evitar la carencia del agua en el extremo de la columna de distribución o del piso más alto. Todas sus fuentes reciben la misma cantidad de agua.
- En todos los casos por cuestión de higiene, se aconseja cambiar los aireadores del grifo cada 2 o 3 años según la red.

Figura 4. Ahorradores de agua adaptable a tarja de cocina y lavamanos.



Fuente: <http://islaurbana.mx/wp-content/uploads/2017/06/Ficha-tecnica-completa-ahorradores.pdf>

- **Sanitarios:** el claustro cuenta con dos tipos de sanitarios, la primera es inodoro de tanque y la segunda de fluxómetro, la primera cuenta con 49 y la segunda con

152 aparatos. Cabe recordar que los inodoros de tanques no son ahorradores y esto representa 24% del campus. Por tal razón, proponemos tres tipos de inodoros que son:

- o **Sanitario con tecnología EcoFlush de Corona:** Como su misma marca lo dice es su tecnología más ahorradora. Su consumo promedio de agua es de tan solo 3.7 litros, tomando en consideración que para desechos sólidos consume 4.8 litros, mientras que para líquidos solo 3.2 litros. Hidráulicamente está diseñado para lograr una mejor evacuación con menos inversión de agua.

Figura 5. Inodoro EcoFlush de Corona



Fuente: <https://www.natura-medioambiental.com/sanitarios-ahorradores-de-agua-los-mejores-inodoros-ahorradores/>

- o **Sanitarios ahorradores de agua Salvagua II:** maneja 3 litros de agua, es importante dejar claro, que no se pierde calidad en cuanto a limpieza, ya que su tecnología permite un seccionamiento máximo, con el mínimo de agua.
- o **Sanitario Propelair de Phoenix:** Utiliza 1.5 litros de agua por descarga, cuando vemos que los tradicionales alcanzan 9 litros e incluso más. Esto significa un ahorro de hasta el 84% de agua.

Figura 6. Sanitario Propelair de Phoenix.



Fuente: <https://www.natura-medioambiental.com/sanitarios-ahorradores-de-agua-los-mejores-inodoros-ahorradores/>

- **Aspersores para riego:** el 35% del uso del agua de la Universidad del Magdalena es para riego de las zonas verdes y para la granja experimental. Por ello, es importante utilizar sistemas de riego, los cuales permiten aplicar cantidades exactas de agua sin crear desperdicios. Además, algunos también permiten utilizar fertilizantes integrados a través de ellos.

Por tal razón, el Sistemas de riego eficientes, es utilizado desde la antigüedad para cubrir necesidades de agua en los cultivos cuando no hay suficiente precipitación. Los más conocidos son los surcos en la tierra para canalizar el agua y los que inundan el terreno. Sin embargo, con el paso del tiempo se han desarrollado otros métodos de riego más evolucionados que buscan funcionar de una manera más eficiente. A continuación, se presenta algunas opciones de sistemas de riego que pueden ser muy útiles para utilizarlos en las zonas verdes y la granja experimental y así a aprovechar el agua de una mejor manera:

- **Riego por goteo:** se basa en un conjunto de tubos que se encuentran interconectados con pequeños orificios. Se colocan al pie de las plantas y el agua va cayendo según la velocidad con la que esté programada. Para ello, el sistema suele ir acompañado de un pequeño programador que se encarga de gestionar la duración y el momento del riego.
- **Programadores de riego:** su funcionamiento se basa en optimizar el momento y el área de riego en los cultivos, lo cual reduce su consumo y

mejora la comodidad. Así como en el anterior, se puede automatizar la duración y frecuencia de riego. Los programadores disponibles para este tipo de sistema de riego pueden ser analógicos y digitales. Además, existen algunos que tienen dos o más vías, que brindan la posibilidad de diseñar distintos programas de riego para varias áreas.

- o **Riego por aspersión:** el riego por aspersión funciona como un tipo de lluvia localizada, puede ser por medio de aspersores estacionarios o móviles. El sistema está compuesto por tuberías, aspersores y una válvula reguladora que se encarga de limitar el caudal que llega a los aspersores y la presión a la cual se realiza.

Finalmente, se propone a utilizar dispositivos de “*Programadores de riego*” para las zonas verdes; y para la granja experimental en algunas áreas específicas utilizar uno dispositivo por “*riego por goteo*”.

3.5.2. Propuesta de “Usos de dispositivo para el control y mediciones de caudales”.

Con esta estrategia proponemos controlar y medir los caudales en cada punto requerido, ya sea los edificios o bloques del campus, facilitando así el control y monitoreo en los consumos de agua, asimismo, identificar fugas presentes en el sistema y realizar mantenimiento preventivo en cada uno de los bloques de la Institución. Por consiguiente, planteamos lo siguiente para el control y medición de caudales las cuales son:

- **Válvulas de control de flujo:** La Válvula de Control de Flujo modelo 40-01/640-01 de Cla-Val previene el exceso de caudal limitando el flujo a un rango máximo predeterminado, sin importar el cambio de presión en la línea. Es una válvula de diafragma, operada hidráulicamente, controlada por piloto. El piloto de control responde a un diferencial de presión producida a través de un plato de orificio instalado en la descarga de la válvula. Un control confiable es asegurado aun con cambios muy pequeños en el controlador de diferencial de presión que

produce una acción correctiva inmediata en la válvula principal. Las calibraciones de rango de flujo se girando el tornillo de ajuste en el piloto de control.

Figura 7. Válvula de Control de Flujo.



Fuente: <https://www.cla-val-latinamerica.com/vlvula-de-control-de-caudal-p-107.html>

- **Control y medición de caudal:** para la medición de caudales proponemos un caudalímetro electromagnético, la cual, están especialmente diseñados para la medición de caudal de todos los líquidos con una conductividad mínima de 5 $\mu\text{S/cm}$ (20 $\mu\text{S/cm}$ para agua desmineralizada).

Figura 8. Detector electromagnético.



Fuente:

https://www.badgermeter.de/fileadmin/content/badgermeter/media/seiten/Service/Prospekte/Produktuebersichten/BME_UB_04_1154.pdf

Por otro lado, esta estrategia se implantará en el edificio de 'Mar Caribe', 'Centro de Bienestar Universitario', 'Docente'; y el bloque 'Administrativo' (ver figura 9).

Figura 9. Puntos para instalar los dispositivos para el control y mediciones de caudales.



Fuente: Google Earth, 2020

3.5.3. Propuesta de “Aprovechamiento de agua lluvias”.

Nos proponemos a diseñar un sistema de recolección, almacenamiento y aprovechamiento de las aguas lluvias en el campus de la Universidad del Magdalena. Por la cual, se tuvo en cuenta la investigación del **Grupo de Investigación Suelo Ambiente y sociedad (GISAS)**, debido que, indagaron el índice de lluvia que cae en la Universidad del Magdalena (ver tabla 28).

Tabla 28. Valores de volumen promedio mensual y volumen promedio anual sobre los bloques de Sierra Nevada y Ciénega Grande.

MES	Ppm (mm/mes)	Volumen de agua generado sobre techos (m ³)			
		SNN	SNS	CGN	CGS
Enero	6,9	4.695	5.369	4.695	5.369
Febrero	2,7	1.837	2.100	1.837	2.100
Marzo	1,8	1.225	1.400	1.225	1.400
Abril	9,1	6.192	7.076	6.192	7.076
Mayo	58,3	39.667	45.334	39.667	45.334
Junio	53,1	36.129	41.292	36.129	41.292
Julio	63,2	43.001	49.144	43.001	49.144
Agosto	57,3	38.987	44.556	38.987	44.556
Septiembre	81,9	55.725	63.685	55.725	63.685
Octubre	108,4	73.755	84.292	73.755	84.292
Noviembre	45,5	30.958	35.381	30.958	35.381
Diciembre	11,1	7.552	8.631	7.552	8.631
TOTAL	499,3	339.724	388.256	339.724	388.256

Fuente: GISAS – Unimagdalena.

El propósito de esta captación de agua lluvias es recolectarla, almacenarla en un tanque en común y utilizarla para la recargar natural del acuífero presente en el campus de la Universidad del Magdalena. En primer lugar, se sacó el promedio de volumen de agua generado sobre los techos de cada uno de los edificios de ‘Sierra Nevada’ y ‘Ciénega Grande’ (bloque sur y norte de cada edificio), y, por último, se sumó los promedios dando como resultado 121,32 m³.

Para efectos de diseño es conveniente considerar los valores máximos de agua precipitada, debido que, en algunos mementos del año caen grandes cantidades de agua precipitada, por tal razón, diseñaremos un tanque de almacenamiento de 200m³ de agua, también, se obtuvo en cuenta los espacio que se desperdiciaría por efectos de sobredimensionamiento. **(Ver anexo B)**

3.5.4. Propuestas de “Identificación y diseño de puntos de recarga natural para el acuífero presente en el campus de la Universidad del Magdalena”.

La identificación de puntos de recarga natural en el acuífero del campus consiste en implementar las aguas de escorrentía en las zonas bajas del claustro, las aguas de escorrentía en las zonas bajas. Razón por la cual, tendremos presente el **informe del Ing. Gustavo Hernández**, donde realizó el estudio geotécnico, con el fin de conocer a qué profundidad en el suelo se encontraba un estrato arenoso cuya permeabilidad fuera considerable, donde se llevó a cabo un sondeo en el punto, en el cual, se acumula gran parte del agua de escorrentía superficial que llega y genera la universidad (ver figura 10).

Figura 10. Imagen satelital en que se hizo punto donde se efectuó el sondeo.



Fuente: Informe de Gustavo Hernández.

Por consiguiente, teniendo en cuenta la implementación de la estrategia anterior, en el cual, se recolecta y almacena el agua de las lluvias, en esta estrategia se les dará un propósito a estas aguas, de modo que, se dirigirán por medio de una tubería de 4” al punto de sondeo de la figura 9, por medio de un pozo de infiltración de (5x5) m que está compuesto por un lecho filtrante de piedra cuarzo y grava, ambos con un metro de espesor. **(Ver Anexo B).**

3.5.5. Propuesta de “Aprovechamiento de las aguas de los aires acondicionados”.

Se propone el diseño de un sistema para la reutilización de las aguas de los aires acondicionados, dentro de los edificios de ‘Sierra Nevada’ y ‘Ciénega Grande’ del campus de la Universidad del Magdalena. Teniendo en cuenta el trabajo adelantado por el **Grupo de Investigación Suelo Ambiente y sociedad (GISAS)**, y el proyecto al cual está adscrito esta pasantía en los cuales se cuantificaron, caracterizaron e identificaron el volumen de agua generado por los aires acondicionados en los bloques mencionados anteriormente. En el cual, el caudal de agua diario de estos dos edificios es de 3.467,80 L/día.

Por otra parte, los parámetros físicos y químicos analizados (pH, dureza, sólidos disueltos, conductividad, metales pesados, turbiedad, alcalinidad, olor, sabor, nitritos, nitratos y DQO), evidencian que este recurso se encuentra dentro de los límites establecidos por las normas nacionales (resolución 2115 del 2007) para el uso de agua potable. Sin embargo, se presentó contaminación por agentes microbiológicos (coliformes fecales).

En este orden de ideas, para esta propuesta en primer lugar, se debe separar la tubería de agua lluvias y agua de los aires acondicionado, dado que, anteriormente se encontraba juntas. En segundo lugar, se conducirá a dos tanques de almacenamiento uno ubicado en el edificio de ‘Sierra Nevada’, y el otro en ‘Ciénega Grande’, con un volumen de 54 m³ y 50,4 m³ respectivamente, teniendo en cuenta el estudio de volumen de agua realizado. Esto volúmenes se obtuvieron tomando los caudales diarios que generan los aires acondicionado en los dos bloques, y se multiplico por 30 días para obtener los volúmenes mensuales y con estos espesores se diseñaron los tanques de almacenamientos. Para darle uso principalmente en, surtir los destiladores de los laboratorios y fuente de riego, gracias a que, la concentración de sales del agua proveniente de las unidades de aire acondicionado es mínima, condición que favorece para el uso. Del mismo modo, la utilizaremos para adecuar los filtros purificadores de agua. **(Ver Anexo B)**

3.5.6. Propuesta de “Adecuación de filtros purificadores de agua”.

Se diseñaron puntos de adecuación de filtros purificadores de agua en los edificios de Sierra Nevada y Ciénega Grande, del campus de la Universidad del Magdalena. El agua será traída de los tanques de almacenamientos de las aguas de los aires acondicionado que permitirá abastecer de agua potable a la población. **(Ver Anexo B)**

3.5.7. Propuesta de “Diseño de una planta de tratamiento de agua potable”.

La idea es diseñar una planta de tratamiento de agua potable (PTAP), que permita abastecer a la comunidad universitaria, y la fuente de abastecimiento es el pozo de la universidad que proporciona 40 lps. Cabe recordar que el pozo brinda unos beneficios significativos, ya que, no es necesario instalar las fases de coagulación, floculación, sedimentación y filtración; porque, el agua que ofrece el pozo tiene unos índices de turbidez baja. No obstante, se debe de implementar la fase de desinfección. En el cual, Si la operación del pozo permite el 90 al 95% de la remoción de coniformes en los procesos previos de la turbiedad del agua filtrada está entre 1,0 y 2,0 UNT, por la cual, se diseñará dos tanques de contactos como lo exige la Resolución 0330 de 2017. **(Ver Anexo B)**

4. Actividades Generales Y/O Complementarias

4.1. Registro y análisis del agua del pozo del campus de la universidad del Magdalena para el apoyo de las necesidades de la comunidad de santa marta 2019.

Con los fenómenos climatológicos que se vienen presentando en los últimos años, todos los países se han visto en la necesidad de fomentar la ejecución de planes y formulación de estrategias que ayuden a mitigar los distintos efectos que causan estas alteraciones climáticas y que afectan directamente al ecosistema, la biodiversidad y disponibilidad de los recursos naturales, en especial el agua.

En Colombia, se evidencia de manera clara los efectos de estos fenómenos climáticos, como el derretimiento de glaciales, blanqueamiento de corales, que ocurre cuando el coral se encuentra en un grado de estrés ocasionado por el aumento de la temperatura, pérdida de playas y erosión costera, además de presentarse en diferentes zonas del país, lluvias intensas, grandes ventarrones y sequías prolongadas, este último afectando directamente a departamentos ubicados en el norte del país, como Guajira, Magdalena, Bolívar, disminuyendo críticamente el caudal de los ríos presentes en esta región, lo que pone en riesgo el suministro eficiente de agua para la totalidad de los habitantes. (Revista Semana, 2017).

La ciudad de Santa Marta ubicada en el departamento del Magdalena se caracteriza por tener un clima cálido muy seco donde el promedio anual de lluvias es bajo en comparación con otras ciudades del país (501 mm por año) como lo plantea el IDEAM en su informe de caracterización climatológica de ciudades principales y municipios turísticos. Como se observa en la figura 1 en los meses de época seca la cual se extiende de diciembre a abril el promedio de lluvias es menor de 2 veces por mes, lo que sugiere una gestión eficiente del recurso por parte de los prestadores del servicio de la ciudad, donde asegure el suministro de agua a toda la población.

Figura 11. Precipitación en Santa Marta (mm).



Fuente: IDEAM.

Sin embargo, con los efectos del cambio climático, los caudales de los ríos que proveen del recurso a la ciudad han disminuido cerca de un 53%, afirmó el gerente de la anterior empresa prestadora del servicio acueducto y alcantarillado Fernando Moncaleano, lo que he dejado a cerca del 50% de los barrios sin el suministro de agua potable. Aunque en Santa Marta operan actualmente 44 pozos subterráneos, esta medida no es suficiente para abastecer a la totalidad de la población con el preciado líquido, lo que ha llevado a la actual prestadora del servicio establecer estrategias como la implementación de carro tanques para asegurar el suministro de agua.

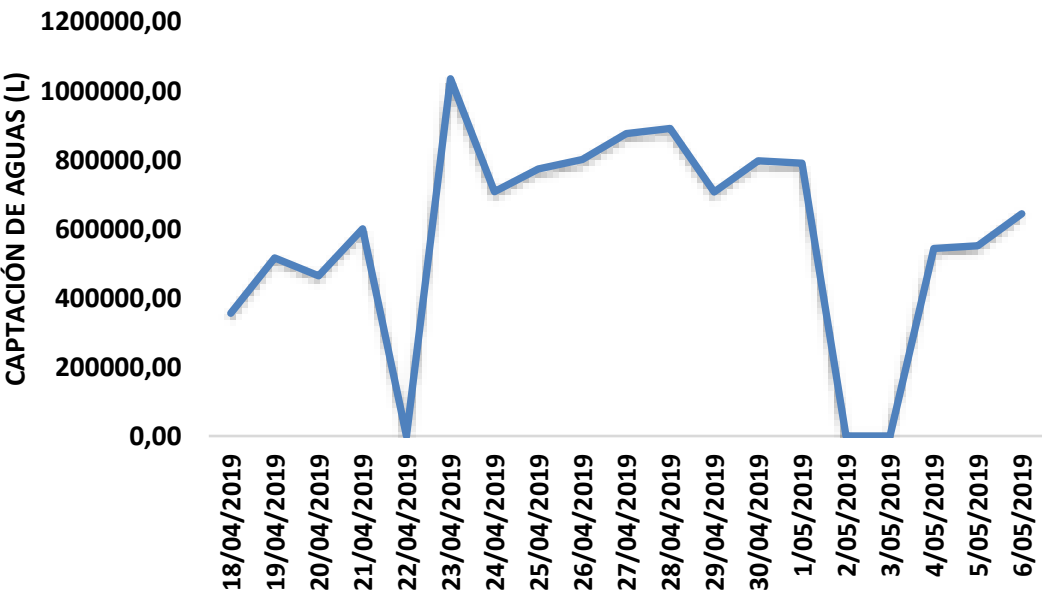
Es por este motivo que la universidad del Magdalena, en su compromiso con el bienestar de los habitantes y no siendo ajeno a esta problemática, ha decidido poner a disposición del prestador del servicio de agua ESSMAR, el pozo subterráneo de su propiedad, con el fin de facilitar el transporte y suministro de agua. No obstante, se desconocen los efectos de la explotación inusual y desmedida del pozo de la universidad por esta actividad, sin embargo, en el presente documento se analizó la dinámica de suministro de agua a los carrotanques que a su vez llevan el agua a los diferentes barrios de la ciudad.

Tabla 29. Volumen total de agua por día suministrado por la universidad del Magdalena.

Fecha	Vol. de agua/día (L)
18/04/2019	355790,00
19/04/2019	516274,00
20/04/2019	464041,00
21/04/2019	600528,10
22/04/2019	0
23/04/2019	1035318,62
24/04/2019	708252,99
25/04/2019	774085,49
26/04/2019	801375,34
27/04/2019	876431,89
28/04/2019	891420,49
29/04/2019	706996,37
30/04/2019	797491,25
01/05/2019	790390,77
02/05/2019	0
03/05/2019	0
04/05/2019	543278,79
05/05/2019	551402,59
06/05/2019	643868,26
TOTAL	11056945,92

Fuente: Autor.

Grafica 16. Volúmenes de agua por día suministrado por la universidad del Magdalena.



Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta la información anterior, la universidad del Magdalena entre los días 18 de abril y 06 de mayo del año en curso suministro un total de 11056945,92 litros de agua a la ciudad equivalentes 11056,95 m³, donde los días 22 de abril, 2 y 3 de mayo no se utilizó el pozo de la universidad para el abastecimiento de agua a la ciudad.

El día 23 de mayo se donó la mayor cantidad de agua, con un 9% de la cantidad total de los días de actividad con un valor de 1.035.318,62 Litros, seguido de los días 27 y 28 de abril con un 8% del valor total suministrado, el día en el cual, se suministró la menor cantidad de agua fue el 18 de abril con un 3% de la cantidad total, equivalente a 355.790 litros de agua.

Con respecto a los días en los cuales se realizaron actividades, la universidad suministro un promedio de 691.059,12 litros/día.

Con respecto a la cantidad de viajes realizados por los carrotanques en los días de operación del pozo en los que se transportó agua a diferentes barrios de la ciudad, se registraron en total 825 viajes, sin embargo, solo cerca del 43,6% de los viajes realizados tienen definido un barrio de destino equivalente a 360 viajes.

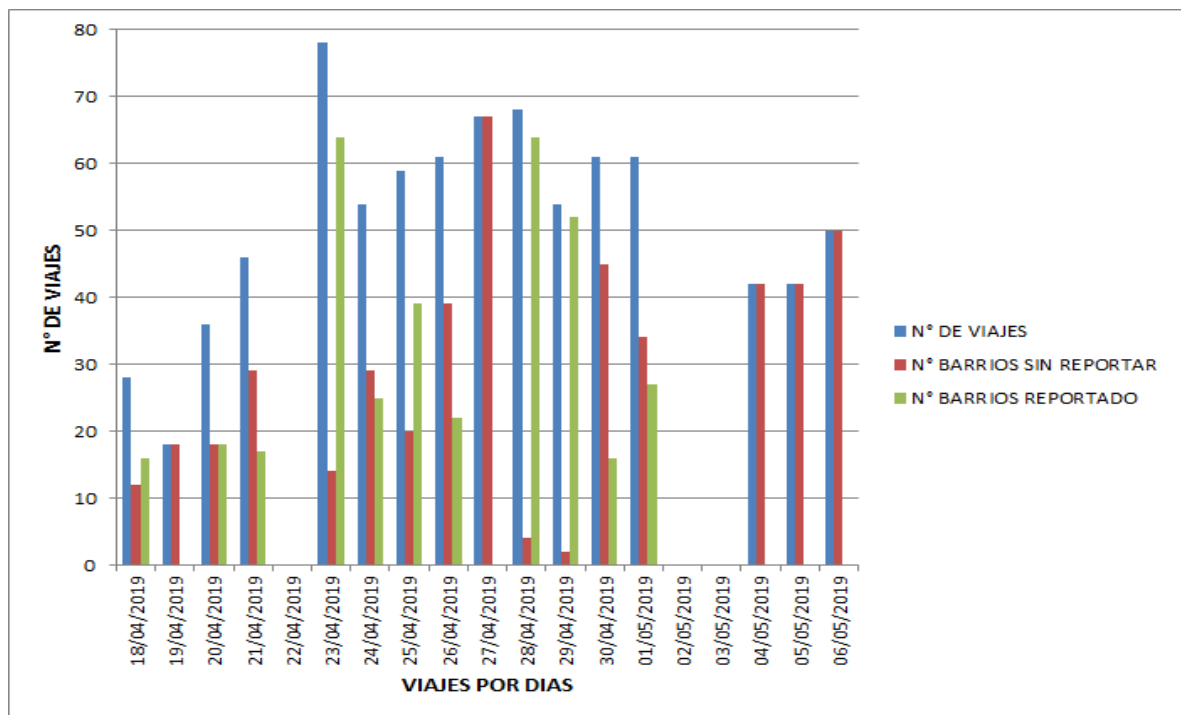
Tabla 30. Cantidad de viajes de agua durante la operación del pozo de la universidad del Magdalena.

FECHA	N° DE VIAJES	N° BARRIOS SIN REPORTAR	N° DE BARRIOS REPORTADOS
18/04/2019	28	12	16
19/04/2019	18	18	0
20/04/2019	36	18	18
21/04/2019	46	29	17
22/04/2019	0	0	0
23/04/2019	78	14	64
24/04/2019	54	29	25
25/04/2019	59	20	39
26/04/2019	61	39	22
27/04/2019	67	67	0

28/04/2019	68	4	64
29/04/2019	54	2	52
30/04/2019	61	45	16
01/05/2019	61	34	27
02/05/2019	0	0	0
03/05/2019	0	0	0
04/05/2019	42	42	0
05/05/2019	42	42	0
06/05/2019	50	50	0
TOTAL	825	465	360

Fuente: Autor.

Grafica 17. Relación de viajes de agua realizados durante la operación del pozo de la universidad del Magdalena.



Fuente: Autor

Como se observa en el grafico 17, se presentaron días en la operación como el 19 y 27 de abril y 4,5 y 6 de mayo en los que no se registró ningún barrio de destino, además la fecha en la cual se realizaron el mayor número de viajes de agua fue el día 23 de abril con un total de 78 viajes de los que cerca del 82% reportaron barrio de destino, mientras

que los días en los que se realizó carga de carro tanques con menor número de viajes fue el día 19 de abril, con un total de 18 viajes realizados y ninguno reporto barrio de destino. También se aprecia que el día 27 de abril donde se realizaron 67 viajes de agua siendo el tercer día con mayor actividad durante la operación no reporto barrios de destino para ningún cargue realizado.

Trayendo a consideración los carro tanques que participaron en la operación durante los días 18 de abril al 6 de mayo del año en curso, se logró identificar que laboraron los mismos vehículos en la mayoría de los días, con excepción de algunos días donde se identificaron carro tanques diferentes con actividades de transporte en un día específico durante la operación total, esto facilitó identificar la cantidad de agua total que se transportó, relacionando la placa de los vehículos con la capacidad máxima de carga descrita en sus especificaciones. Los carrotanques que trabajaron un único día se asignó la capacidad de 12 mil litros, valor que se tomó según lo manifestado por los operarios de la empresa de servicios públicos, quienes aseguraban sin ninguna base experimental o metodología apropiada que los carrotanques llenaban hasta 12 mil litros de agua.

Tabla 31. Capacidad máxima de los carrotanques utilizados en la operación del pozo de la Universidad del Magdalena.

N° DE CARROTANQUE	PLACA	CAPACIDAD DE CARGA (GAL)	CAPACIDAD DE CARGA (LITROS)
1	XME-024	3400	12869
2	SRS-001	3500	13247.5
3	SSX-828	3450	13058.25
4	SUL-649	3450	13058.25
5	HQO-340	2800	10598
6	UTU-600	3560	13474.6
7	VKJ-491	3500	13247.5
8	SUF-486	3600	13626
9	SRS-001	3500	13247.5
10	UTT-962	3450	13058.25
11	MQA-312	3500	13247.5
12	XVI-994	3750	14193.75

13	XVU-027	3200	12112
14	SOC-511	3583	13561.655
15	SYQ-850	3575	13531.375
16	VEN-163	3610	13663.85
17	TSX-202	3510	13285.35
18	XMC-976	3600	13626
19	UZY-805	3500	13247.5
20	XGC-298	3400	12869
21	NSH-638	3500	13247.5
22	EPG-748	NR	12000
23	GAU-030	NR	12000
24	GPG-948	NR	12000
25	IDC-588	NR	12000
26	JYM-049	NR	12000
27	LLC-084	NR	12000
28	NFC-752	NR	12000
29	SNO-408	NR	12000
30	SQW-861	NR	12000
31	SQW-861	NR	12000
32	SWK-549	NR	12000
33	SYM-049	NR	12000
34	XVT-994	NR	12000

NR* no reporta.

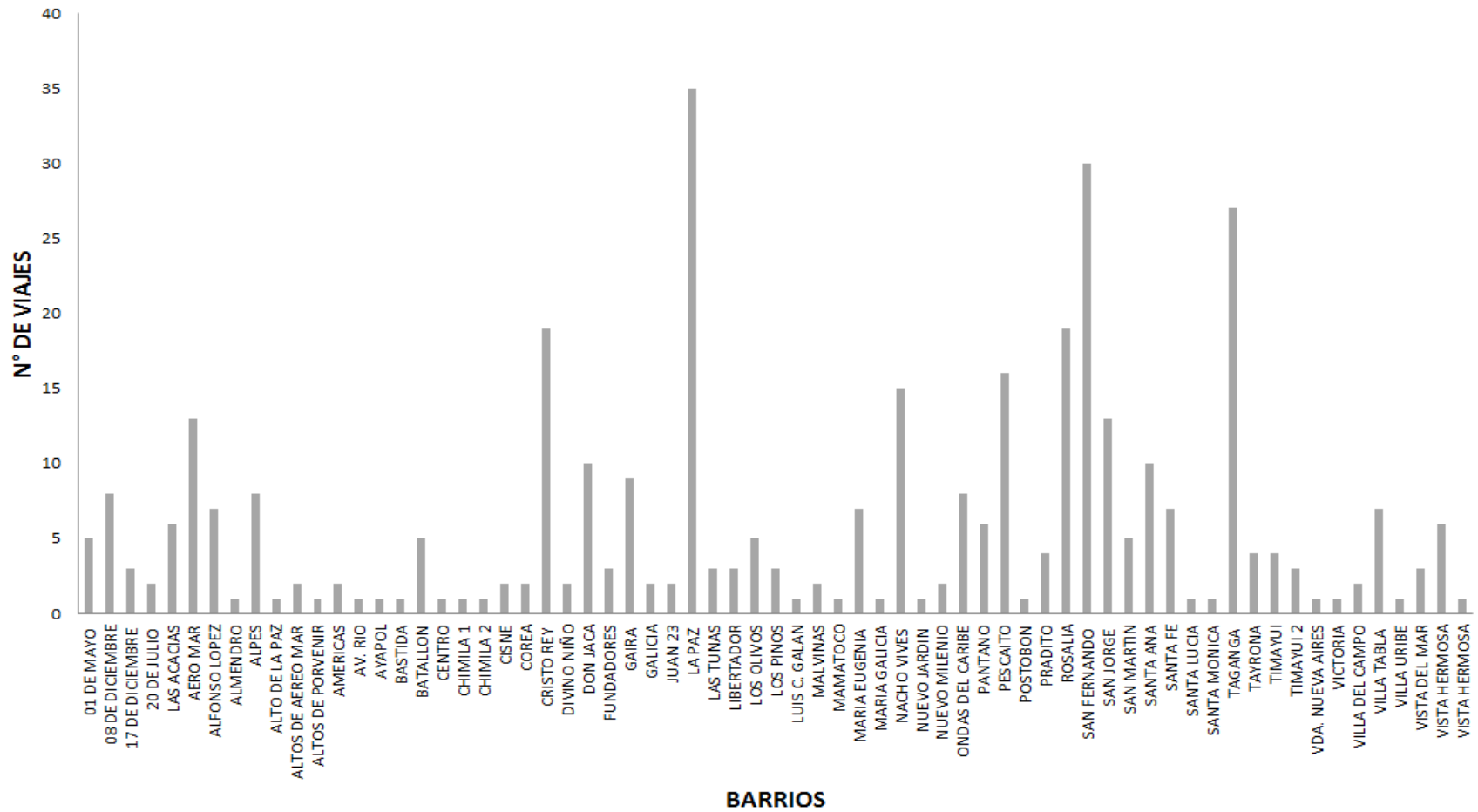
Fuente: Autor.

De los 34 carro tanques utilizados en los días estudiados se desconoce la capacidad máxima de 13 vehículos, asignando el valor de 12 mil como aproximación para los cálculos totales, sin embargo, se plantea que la capacidad puede ser mayor, teniendo en cuenta que los 21 vehículos utilizados en los días anteriores y que trabajaron de manera continua, es decir en todos los días de la operación, solo la capacidad máxima del carrotanque identificado con la placa HQO 340 está por debajo de los 12 mil litros de agua, con un valor de 10598 litros mientras que la capacidad máxima de los 20 móviles restantes oscilan entre los 12112 y 14194 litros.

En el grafico 18 se observa los diferentes barrios los cuales recibieron agua proveniente del pozo de la universidad del Magdalena y que estaban relacionados en las planillas de la cruz roja, además la cantidad de viajes de agua que se realizaron en cada uno durante los días 18 de abril al 06 de mayo. El barrio con mayor número de cargas de agua recibida fue el barro la Paz ubicado a las afueras de la ciudad, con un total de 35 viajes equivalentes a 460702,63 litros de agua, seguido del barrio San Fernando recibiendo 30 cargas de agua, equivalente a 399733,85 litros, el tercer barrio con un total de 27 viajes recibidos fue Taganga beneficiado con un total de 355574,26 litros de agua provenientes de la universidad. Es preciso aclarar que más del 50% de las cargas de agua realizadas durante los días de estudio no especificaron barrio de destino, donde no es posible definir el destino final de 6064944,17 litros de agua.

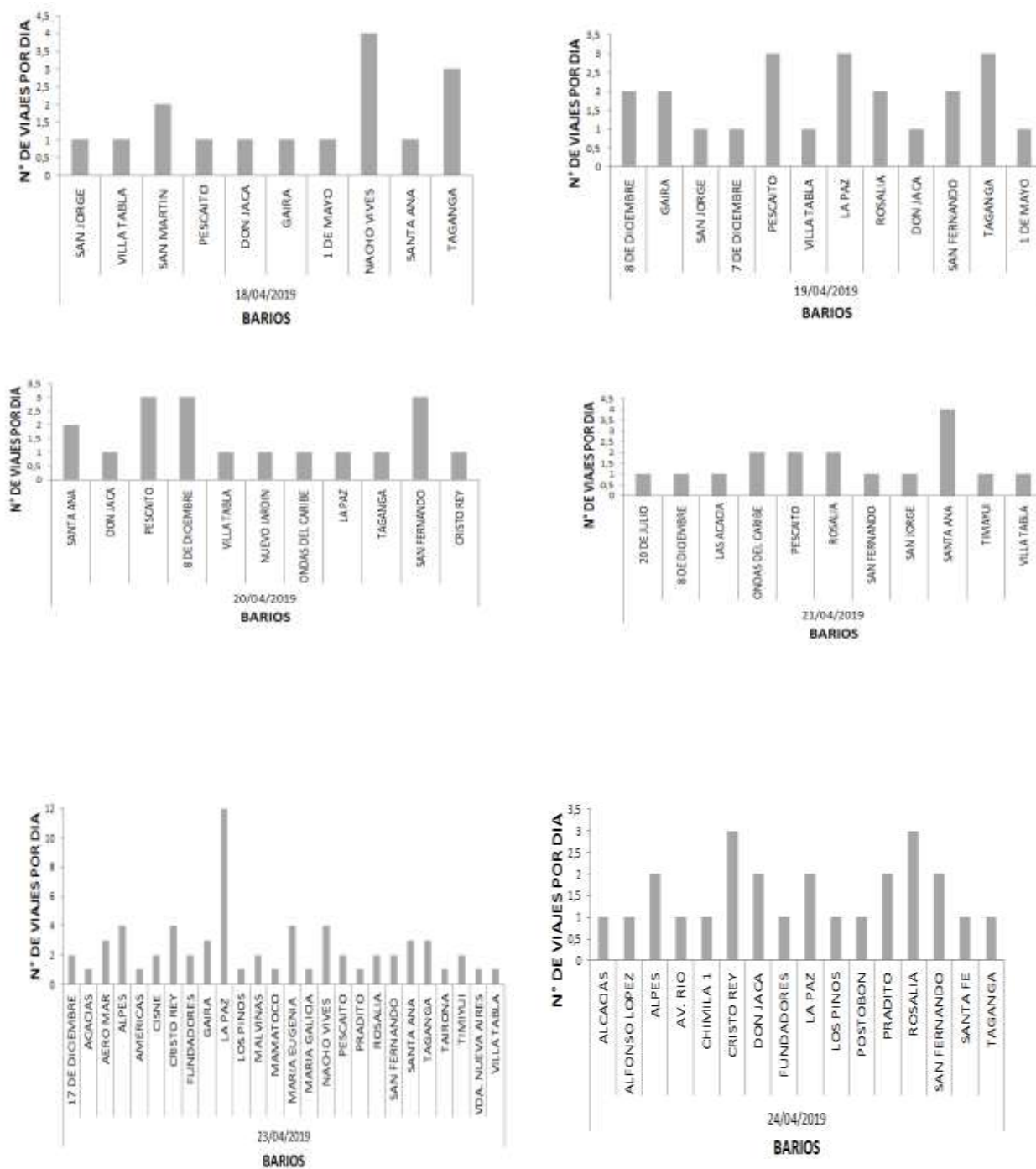
De los 68 barrios relacionados, 20 barrios recibieron un único viaje de agua, como los barrios Bastidas, Centro y Chimila.

Grafica 18. Número de viajes totales por cada barrio en los días de estudio.

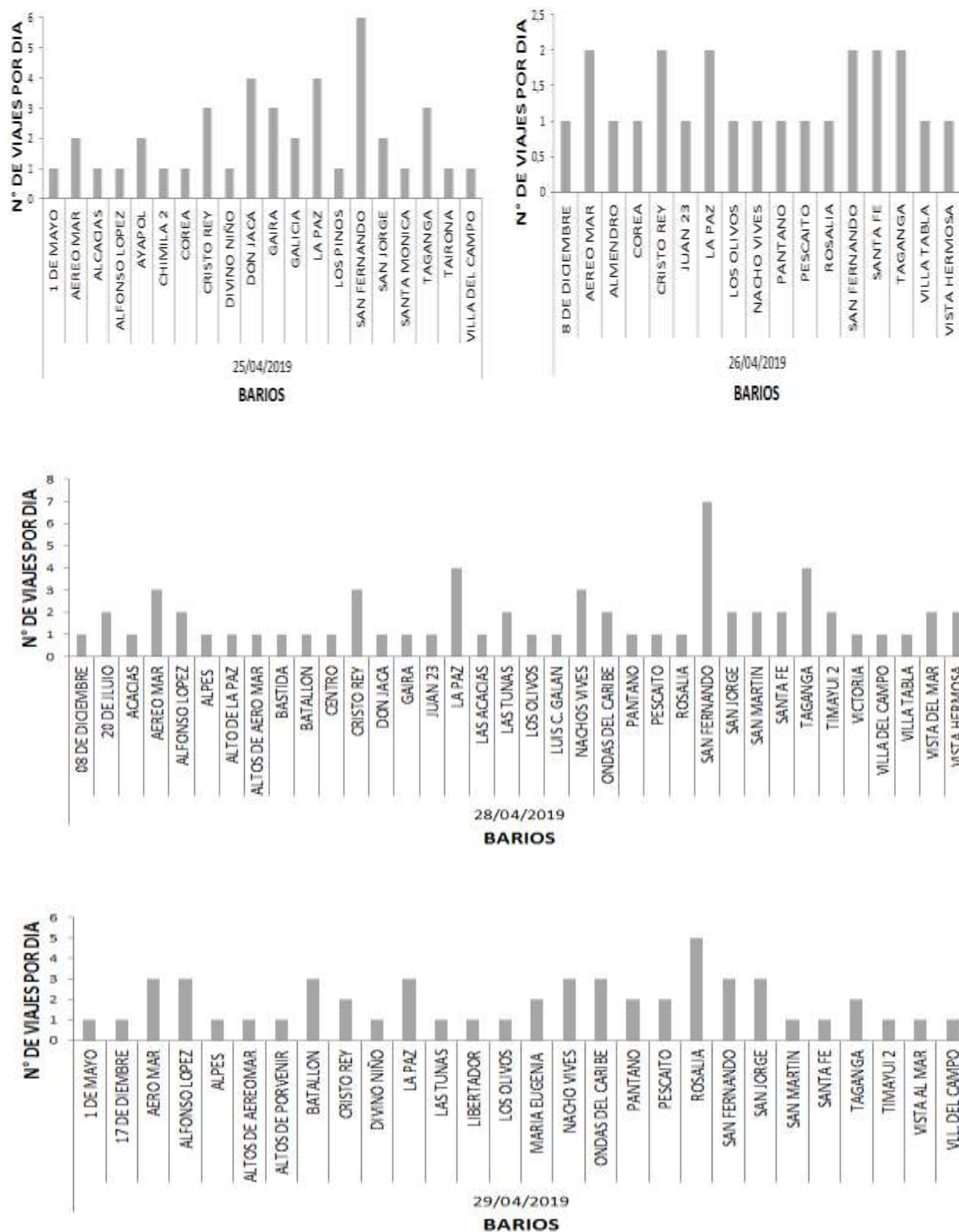


Fuente: Autor.

Grafica 19. Relación de viajes por día a cada barrio del 18 al 24 de abril.

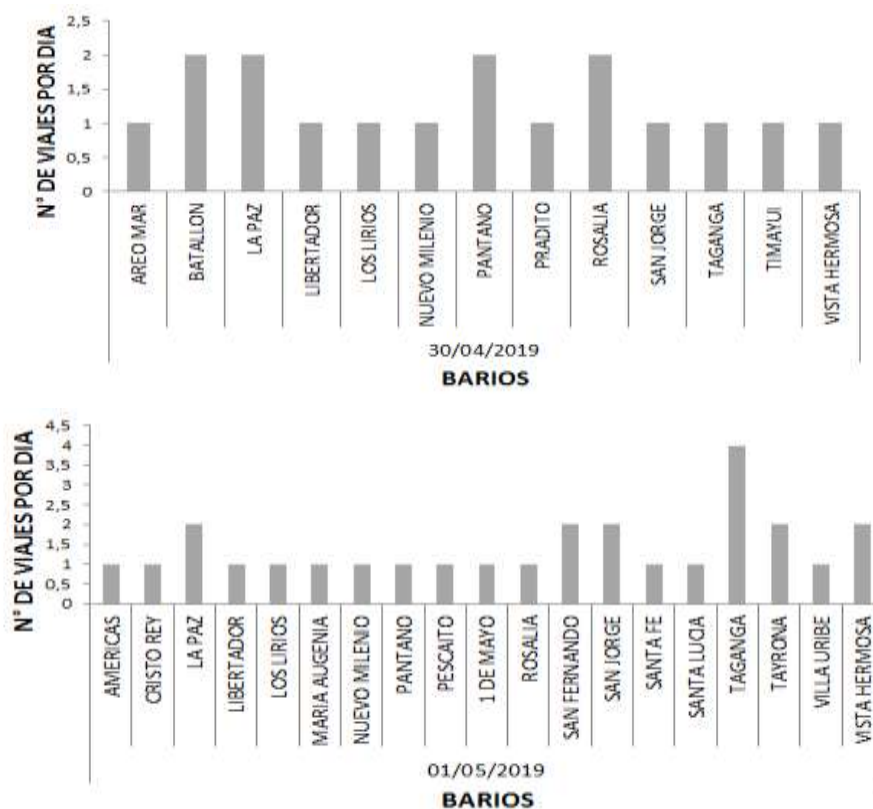


Fuente: Autor

Grafica 20. Relación de viajes por día a cada barrio del 25 al 29 de abril.

Fuente: Autor.

Grafica 21. Relación de viajes por día a cada barrio del 30 de abril y 01 de mayo.



Fuente: Autor

En los gráficos 19, 20 y 21 se relacionan en número de viajes realizados por cada barrio en cada día de actividades, los días que no se encuentran relacionados no presentaron barrios de destino. Se puede evidenciar que ningún barrio recibió agua en todos los días de operación en estudio, sin embargo, el barrio la Paz recibió agua 10 de los 12 días los cuales se relacionaron los barrios de destino.

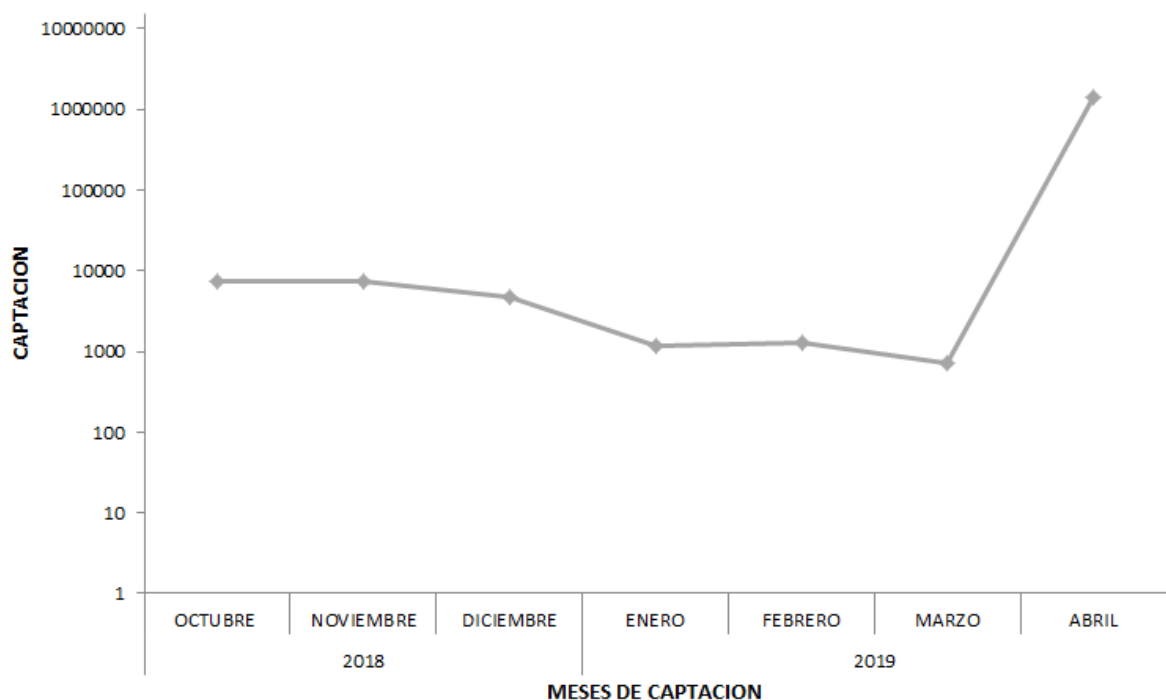
El 23 de abril, que fue el día con mayores cargues de agua realizado, el barrio la Paz recibió la mayor cantidad de viajes, con un total de 12, en los demás días analizados, el número de viajes oscila entre 1 y 6 cargues de agua realizado para cada barrio que recibía agua el día asignado, no obstante, el día 28 de abril el barrio San Fernando recibió 8 viajes.

El día 28 de abril en el cual se realizaron 68 viajes, también se registró la mayor cantidad de barrios atendidos (36 barrios) distribuyendo un total de 891.420,49 litros, en esta fecha se logra evidenciar una mejor distribución de la cantidad de agua recibida del pozo de la universidad, aunque se desconoce si se ha realizado un estudio donde se identifiquen los barrios con mayor déficit de agua, para ser atendidos prioritariamente.

El 18 de abril se registraron la menor cantidad de barrios atendidos, con un total de 10 barrios distribuyendo un total de 355790 litros de agua, además ese día se realizaron 28 viajes en total.

Con la cantidad de cargues de cada vehículo se estableció el índice de viajes por vehículo por cada día de operaciones, obteniendo un valor de 3 viajes/vehículo día, con lo que cada carro tanque en promedio realizaba 3 viajes diarios.

Grafica 22. Relación de captación de agua del pozo del mes de octubre de 2018 hasta abril de 2019.



Fuente: Autor

Como se muestra en el gráfico 22, se evidencia la tasa de producción del pozo, desde el mes de octubre del 2018 hasta abril del 2019, con un promedio mensual de 3.769,60 m³, sin contar con el mes de abril.

Además, el mes que tuvo más consumo de agua fue el mes de abril con una tasa de producción 1.428.286 m³ de agua. Y por su parte el mes que tuvo menos consumo de agua fue el mes de marzo con una producción 707,34 m³, también se puede ver que la figura 5 muestra un declive en la gráfica hasta la mitad del mes de marzo en ese punto se muestra un alza en la producción de agua.

Conclusiones y Recomendaciones

Teniendo en cuenta que más del 50% de los viajes realizados no reportan lugar de destino, el horario de inicio y fin de operaciones diarias es completamente variable, presentándose días donde iniciaban operaciones cerca de las 4:00 am, siendo la hora estipulada de inicio las 7:00 am, y no existe un método o dispositivo que ayude a medir el volumen exacto que transporta cada carrotanque, asumiendo por parte de la empresa operadora que cada carrotanque transporta 12000 litros de agua hacia los diferentes barrios de la ciudad, esto hace complejo el control en cada cargue y un control diario de consumo. Además, es importante puntualizar que durante la inspección realizada se evidencio que muchos carrotanques llenaban completamente la cisterna con agua. Si se tomara el valor de 12000 litros de agua por viaje, el total de litros tomados del pozo de la universidad durante los días de operación en estudio seria de 9900000 litros, mostrando una diferencia de 1156945,92 litros del total calculado con la capacidad máxima de los carrotanques que se lograron identificar y asumiendo los demás con 12000 litros de capacidad máxima como se explicó en el desarrollo del presente documento.

Por otra parte, al momento de consultar el número de viajes que frecuentemente realizaban los carrotanques, los conductores manifestaron que llevaban a cabo 4 cargas de agua diarias la gran mayoría de los días, esto implica que es posible que no se estén registrando la totalidad de los cargues de agua realizados durante las operaciones. Además, se observó que los carrotanques efectuaban un llenado al finalizar el día trabajado para transportar el agua al día siguiente, sin tener un veedor en este caso de la cruz roja que garantizara el transporte de agua hacia los barrios y una correcta distribución de agua entre los habitantes.

Es necesario establecer una metodología o instalación de medidores que ayuden a definir con exactitud la cantidad de agua que cada carro tanque está transportando y la cantidad diaria, que permita realizar un análisis con mayor profundidad y con bajo nivel de error, además este tipos de metodologías o dispositivos ayudarían a establecer, después de realizar un estudio, una frecuencia adecuada de extracción de agua del pozo evitando sobreexplotación, lo que no solo perjudicaría a las personas que a diario frecuentan el centro de enseñanza (estudiantes, docentes, personal administrativo, entre otros) sino también a la comunidad que se encuentra beneficiada con el preciado líquido a través de los carro tanques.

Se debe asignar un coordinador de operaciones por parte de la universidad del Magdalena, que ayude a garantizar la cantidad cargada por cada carro tanque durante la operación, además del cumplimiento de los tiempos de inicio y fin diario.

No se debe olvidar que es fundamental diligenciar de manera correcta y entendible los diferentes formatos de la operación realizada, debido a que sin ellos es complejo un análisis profundo en los cuales garantizar seguridad de la información disminuyendo el porcentaje de error.

5. Conclusiones

Desde sus orígenes, la humanidad ha tenido la capacidad de alterar la naturaleza, sin embargo, en las últimas décadas se ha visto un aumento en las dinámicas de producción y los desarrollos científicos y tecnológicos, hasta el punto de superar los límites de producción en el entorno (Díaz Pulido, y otros, 2009). A lo largo del documento se abordó el tema del agua como recurso circunstancial, como bien económico y de interés social.

La línea base realizada en este trabajo permitió obtener la estimación de la demanda de agua, con un consumo promedio de 31 Litro/persona*día durante el año 2018 y de 54.547 Litro/persona*día a cohorte agosto de 2019. Además, obtener información más detallada sobre el comportamiento de la demanda por bloques, en donde los picos máximos se registraron en el bloque de Sierra Nevada con un promedio de 891,33 m³. Igualmente, el bloque que registró menos consumo fue Ciénega Grande con 97,67 m³; y los Hangares registraron un promedio de consumo de 891,33 m³. Estos resultados pueden estar asociados a las programaciones académicas y la dinámica poblacional.

El ejercicio relacionado con el inventario y estado de los aparatos hidrosanitarios del campus permitió obtener un panorama enriquecedor y complementario para conocer a fondo el sistema, encontrando que el 39% de los aparatos sanitarios que hay en el campus pertenecen a los baños de los hombres y el 32% al de las mujeres, hay más aparatos sanitarios de hombre debido a que tienen orinales. Asimismo, se observa que el 5% de los aparatos sanitarios que se encuentra en el claustro, pertenecen a los baños de personas con movilidad reducida, que deja ver la necesidad de mejorar estas condiciones para las personas que representan una importante población dentro del campus en sus políticas de inclusión. Además, el 4% de los aparatos sanitarios como lavamanos pertenecen a las cocinas de las facultades, el 3% a las oficinas que tienen baño interno y el 17% a los lavaderos de los laboratorios que se encuentren en el campus.

Es importante precisar que un buen diagnóstico basado en herramientas y metodologías con soporte científico permitió identificar y priorizar las posibles alternativas o estrategias

para el uso sostenible y aprovechamiento del recurso hídrico dentro del campus de la Universidad del Magdalena.

Las precisiones de la Política Nacional del Recurso Hídrico y algunos referentes mundiales en sostenibilidad del recurso hídrico fueron importantes para este proceso, en donde se realizó el análisis de las condiciones económicas, ecológicas y sociales, así como herramientas que permitiesen articular las mejores condiciones para la implementación de estrategias relacionadas con el uso y aprovechamiento del recurso hídrico. Por tanto, las prioridades específicas para el ejercicio de planificación dentro del campus de la Universidad del Magdalena fueron: **Espacios Físicos:** Hace referencia a la disponibilidad de área para implementar la estrategia. **Costo de Inversión:** Disponibilidad de recursos económicos para implementar la estrategia. **Estándares de calidad de agua:** Valor límite de contaminación establecido legalmente para cierto parámetro de calidad de agua. **Presión Ecológica:** Se refiere al impacto que genera la estrategia a los ecosistemas. **Adaptación de la Comunidad Sobre las Estrategias:** hace alusión a la percepción de la comunidad universitaria con las estrategias.

Para obtener un análisis más objetivo, la evaluación de priorización se realizó por expertos en el tema, por lo que, se tuvo en cuenta la formación académica y experiencia con la temática. De acuerdo con lo analizado cuatro de los cinco expertos concuerdan en la estrategia de **“Educación ambiental”** como lo primero que debe implementarse, así mismo tres expertos coinciden en la estrategia de **“Usos de dispositivos ahorradores”**.

El periodo de la pasantía de investigación se desarrolló por un periodo de seis (6) meses entre el mes de marzo hasta octubre del año 2019, fue un proceso enriquecedor, ya que, complemento significativamente mi formación profesional de Ingeniero Civil, además, me permitió robustecer los conocimientos pertinentes a todo lo relacionado con el recurso hídrico, debido a que, la metodología de la investigación fue teórico-práctico. En el transcurso de las actividades se encontraron dificultades con los planos de la universidad, dado que, muchos de ellos se encuentran desactualizados o no existen, y por esta circunstancia, a la hora de implementar las estrategias hubo dificultades. Asimismo, las propuestas de implementación de las estrategias están en consideración, debido que, se

debe de profundizar en cada una de las temáticas, además, físicamente está cambiando el campus y por esta circunstancia se debe de mover o cambiar la estrategia si el caso lo amerita.

Los aportes de esta pasantía permiten que, a corto y mediano plazo, la Universidad del Magdalena pueda implementar estas estrategias en el plan maestro del campus, y a largo plazo, en las periferias de la ciudad de Santa Marta, que lastimosamente sufren para obtener una gota de agua potable. Asimismo, este proyecto me da la oportunidad de encaminarme a explorar sobre nuevas alternativas que permitan aprovechar nuevas fuentes de agua.

A. Anexo: Tablas de puntos de monitoreos de muestreos horarias/diarias del mes de marzo hasta agosto de 2019.

[ANEXO A\TABLAS DE PUNTOS DE MONITOREOS DE MUESTREOS
HORARIASDIARIAS.pdf](#)

B. Anexos: Propuesta de implementación de las estrategias.

[ANEXO B\C-01 - PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE ESTRATEGIAS.pdf](#)

[ANEXO B\C-02 - DETALLES DE LAS PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN ESTRATEGIAS.pdf](#)

[ANEXO B\C-03 - DESAGUE CIENEGA GRANDE.pdf](#)

[ANEXO B\C-04 - DESAGUE SIERRA NEVADA.pdf](#)

[ANEXO B\C-05 - FILTRO CIENEGA GRANDE.pdf](#)

[ANEXO B\C-06 - FILTRO SIERRA NEVADA.pdf](#)

Bibliografía

Agudelo C., R. (5 de Enero-Junio de 2005). EL AGUA, RECURSO ESTRATÉGICO DEL SIGLO XXI. *Revista Facultad Nacional de Salud Publica*, XXIII(1), 91-102.

Recuperado el 30 de 09 de 2019

Aguilar, E., Lopez, F., Flores, N., & Morgan, L. (1999). *APOYO PARA POLITICAS Y ESTRATEGIA DE MANEJO INTEGRADO DE RECURSOS HIDRICOS EN AMERICA CENTRAL*. Informe tecnico, Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Programas Sociales y Desarrollo Sostenible, Washington, D.C.

Recuperado el 17 de Julio de 2019

Carrillo, M. (2018). *Informe Diálogo de Saberes sobre el Agua Universidad del Magdalena*. Santa Marta. Recuperado el 23 de Febrero de 2020

Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogota, D.C: Colombia © Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo. Recuperado el 1 de Marzo de 2020

Díaz Pulido, A. P., Chingaté Hernández, N., Muñoz Moreno, D. P., Olaya González, W. R., Perilla Castro, C., Sánchez Ojeda, F., & Sánchez Ojeda, K. (Enero-Junio de 2009). Desarrollo sostenible y el agua como derecho en Colombia. *Estud. Socio-Juríd.*, XI(1), 84-116. Recuperado el 23 de Febrero de 2020

EL TIEMPO. (8 de Enero de 2020). *En Santa Marta, la crisis del agua comenzó hace tiempo*. Recuperado el 16 de Mayo de 2020, de EL TIEMPO: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/problemas-por-crisis-del-agua-en-santa-marta-450074>

Iguarán, A. (21 de Abril de 2019). *Santa Marta vive su 'viacrucis' por la falta de agua*. Recuperado el 16 de Mayo de 2020, de El Heraldo:

<https://www.elheraldo.co/magdalena/santa-marta-vive-su-viacrucis-por-la-falta-de-agua-621948>

Manco Silva, D. G., Guerrero Erazo, J., & Ocampo Cruz, A. M. (2012). EFICIENCIA EN EL CONSUMO DE AGUA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, XI(23), 23-38.

METROAGUA. (2013). *Plan Quinquenal de Uso Eficiente y Ahorro de Agua*. Santa Marta. Recuperado el 30 de Abril de 2020

Perpiñán Guerra, A. A., & Marbello Pérez, R. V. (Diciembre de 2014). Metodología de apoyo a la decisión para la gestión integrada del agua en el sector institucional. *Gestión y Ambiente*, XVII(2), 31-43. Recuperado el 22 de Febrero de 2020

Retamal , R., Andreoli, A., Arumi, J., Rojas, J., & Parra, O. (Junio de 2013). Gobernanza del agua y cambio climático: fortalezas y debilidades del actual sistema de gestión del agua en Chile. análisis interno. *INTERCIENCIA*, XXXVIII(1), 8-16. Recuperado el 1 de Marzo de 2020

Revista Semana. (16 de Mayo de 2020). *Santa Marta, sin agua potable*. Recuperado el 16 de Mayo de 2020, de Revista Semana: <https://www.semana.com/nacion/articulo/problemas-con-el-agua-potable-en-santa-marta/647774>.

Saaty, TL (2016). La jerarquía analítica y los procesos de red analítica para la medición de criterios intangibles y para la toma de decisiones. En *Análisis de decisión de criterios múltiples* (pp. 363-419). Springer, Nueva York, NY.

Viloria De la Hoz, J. (2005). *SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA: ECONOMÍA DE SUS RECURSOS NATURALES*. BANCO DE LA REPUBLICA, CENTRO DE

ESTUDIOS REGIONALES. Cartagena: ISSN 192-3715. Recuperado el 1 de Marzo de 2020

WWAP. (2003). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2003: Agua para todos , Agua para la vida*. Paris: UNESCO. Recuperado el 22 de Febrero de 2020

WWAP. (2016). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2016: Agua y Empleo*. Paris: UNESCO.

WWAP. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Gestion de Agua*. Paris: UNESCO. Recuperado el 24 de Febrero de 2020