





Estado del recurso hídrico en el campus de la Universidad del Magdalena, Colombia State of the water resource in the campus of the Universidad del Magdalena, Colombia

Sonia Esperanza Aguirre-Forero *, Milagros Carrillo ¹, Isaac Romero ² y Nelson Virgilio Piraneque-Gambasica ¹

1. Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad del Magdalena, Magdalena, Colombia

2. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad del Magdalena, Magdalena, Colombia

Resumen

En la ciudad de Santa Marta existe déficit de agua potable de 1600 L/día, por lo que desde 2014 en predios de la Universidad del Magdalena se localizó un pozo de agua subterráneo. Entendiendo que la gestión hídrica debe ser integrada al territorio como eje que soporta el funcionamiento de los ecosistemas, el desarrollo de infraestructuras y el entorno social, en predios de la institución se planteó diagnosticar el estado del recurso hídrico y prospectar escenarios de consumo de agua en la entidad. Con metodologías mixtas de debilidades-opportunidades-fortalezas-amenazas, análisis prospectivo, talleres de expertos, mesas de trabajo y modelo WEAP, se compararon escenarios actual, tendencial y optimista en un periodo de 15 años (2018 a 2032). Los resultados, evidenciaron fallas en sistema hidráulico, carencia de monitoreo para obtener datos en tiempo real de consumo y estado del acuífero, usos de agua sin restricción y problemas de calidad. El valor de pH más alto se alcanzó en (E1) y (E4) con 7,85 y 8,38. Los valores de dureza están por encima del máximo permisible y se clasifican como aguas duras, E3 336,1 mg/L y E8: 347,6 mg/L fueron los valores más altos. El cloruro de sodio y de potasio, tuvieron promedio de 75,6 a 90,8 mg/L, concentraciones, que a pesar de cumplir los criterios de la Resolución del Ministerio del Medio Ambiente 2115 de 2007, son altas, siendo limitante para riego. Respecto a los recuentos microbiológicos en E4 y E1, superaron 3000 NMP/100 mL para coliformes totales, señalando contaminación con restricción de uso y de contactoprimario. De acuerdo con la prospección para el 2032, aún con demanda restringida (6,8 %), se proyecta escasez del recurso, afectando el funcionamiento de la institución. Es urgente una política para reducir consumo, monitorear el acuífero y fortalecer la gestión integral del recurso en la Universidad.

Palabras clave: agua subterránea; prospección de escenarios; uso eficiente y sostenible del recurso hídrico

Abstract

Santa Marta has a drinking water deficit of 1,600 L/day, which is why, since 2014, an underground water well has been located at the University of Magdalena. Understanding that water management must be integrated into the territory as an axis that supports the ecosystem functioning, the infrastructure development, and the social environment on the institution's campus, it was proposed to diagnose the state of water resources and Prospect scenarios of water consumption in the University. Using mixed methodologies, how Weaknesses-Opportunities-Strengths-Threats, prospective analysis, expert workshops, work groups, and WEAP model, current, trend, and optimistic scenarios were compared over 15 years (2018 to 2032). The results showed failures in the hydraulic system, lack of monitoring to obtain real-time data on consumption and the aquifer's state, unrestricted water use, and quality problems. (E1) and (E4) showed the highest pH with 7.85 and 8.38. The reported hardness values are above the maximum permissible and were classified as very hard water in E3, with 336.1, and E8 347.6 mg/L. Sodium chloride and potassium chloride reported an average of 75.6 to 90.8 mg/L, concentrations that, despite meeting the criteria of Resolution 2115 of 2007, are high, so it is a limitation for irrigation. The microbiological counts in E4 and E1 exceeded 3000 MPN/100 mL for total coliforms, indicating contamination with restricted use and primary contact. According to the forecast for the year 2032, even with limited demand (6.8%), there will be a resource shortage, affecting the institution's functioning. From this perspective, it is necessary to establish a policy to reduce consumption, monitor the aquifer, and strengthen the comprehensive management of the resource on the campus.

Key words: groundwater; scenario prospecting; efficient and sustainable use

*Autor de correspondencia: saguirre@unimagdalena.edu.co

Editor: Cesar Tamaris-Turizo

Recibido: 21 de abril de 2022

Aceptado: 30 de junio de 2022

Publicación en línea: 30 de junio de 2022

Citación: Aguirre, S., Carrillo, M., Romero, I. y Piraneque, N. 2022. Estado del recurso hídrico en el campus de la Universidad del Magdalena, Colombia. Intropica 17(1): 72-87

Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4457>

Introducción

Los fenómenos climáticos extremos alteran el ciclo hidrológico, dificultan el acceso al agua y al saneamiento básico (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2019). El informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos WWAP (2019), estimó que 3 600 millones de personas viven en áreas de escasez de agua por lo menos un mes al año; cifra que podría alcanzar 5 700 millones para 2 050. Déficit que reduce el nivel de vida e induce a la sobreexplotación de acuíferos, en los que se extrae agua más rápido de lo que se recarga, provocando daños irreversibles en algunos territorios cercanos al mar al acentuarse la intrusión de la cuña marina, fenómeno que incrementa desertización del territorio (Riechmann, 2003).

En Latinoamérica se encuentra 33 % de los recursos hídricos del planeta, oferta conveniente respecto a la densidad de población; sin embargo, hay déficit e insuficiencia de servicios sanitarios, carencia de tratamiento de agua residual, uso inadecuado, contaminación, desigualdad en el régimen de tarifas, limitantes financieras y fallas en el modelo de gestión, entre otras lo que dificulta la adecuada gestión del recurso (Pinos y Malo-Larrea, 2018).

A pesar de que Colombia, tiene adecuada oferta hídrica (rendimiento hídrico de 56 L/S.km²) que supera el promedio mundial (10 L/S.km²), el recurso no es accesible a toda la población (OMS, 2014); es un territorio de contrastes respecto a la oferta y acceso al recurso hídrico, exhibe regiones como el Pacífico (Chocó) con precipitaciones mensuales de 7 000 mm; sin embargo, sus habitantes carecen del servicio y en lugares como La Guajira ubicada en la región Caribe, las precipitaciones no superan los 500 mm/año (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2015) cifras que exponen no solo las diferencias ecosistémicas del territorio si no la brecha entre los centros urbanos y las áreas rurales respecto a agua potable y saneamiento básico.

El aumento de temperatura reduce la precipitación (International Plant Protection Convention (IPPC), 2007) con mayor énfasis en tierras semiáridas. El informe “Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia” (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2013), muestra incremento de temperatura en el Caribe y Llanos Orientales, situación que se acentúa en el departamento del Magdalena (por la posición geográfica, incidencia de vientos alisios, salinización y erosión de suelos entre otras), aumentando la fragilidad de flujos superficiales de agua, insuficientes para

abastecer acueductos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016). Ante esta situación, en Santa Marta se ha recurrido a la perforación de pozos, hoy el 40 % de la demanda de la ciudad se surte de agua subterránea (Mira Vega, 2019).

El agua, recurso indispensable suple las necesidades de la comunidad académica (bebederos, laboratorios, baños, cafetería, servicio de aseo, zonas verdes entre otros) en el campus de la Universidad del Magdalena. De acuerdo con Dourojeanni y Jouravlev (2001) es desde la escuela, donde se debe propiciar la gestión eficiente del recurso, no solo se debe cumplir la norma, sino permear diferentes enfoques epistemológicos del conocimiento e incorporar responsabilidad social en torno al tema. Desafortunadamente desde la visión antropogénica cuando se tiene disponibilidad del recurso hídrico, se descuida la gestión integral. Simultáneamente, Hernández *et al.* (2019) discuten la necesidad de proteger fuentes de agua, (la subterránea), reserva de agua dulce y que su aprovechamiento debe ser según la velocidad de retorno y movimiento señalado que, en las zonas costeras, un bombeo intensivo puede producir intrusión de la cuña salina, acelerar procesos de contaminación de acuíferos y degradación del territorio.

En el campus de la Universidad del Magdalena, en el año 2014 se instaló un equipo de bombeo de 40 L/s ajustado para las necesidades de la institución (Resolución No. 785 de abril-2014 de la Corporación Autónoma Regional Magdalena), no obstante, la administración municipal, dispuso suplir del recurso a la ciudad, situación que se generalizó y evidenció inconvenientes. Por lo anterior, en el presente estudio se realizó un diagnóstico del estado del recurso hídrico, se analizó la demanda, usos, características fisicoquímicas y microbiológicas y el sistema de distribución para establecer escenarios futuros y algunas alternativas de manejo del recurso en la institución.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta (figura 1). En la zona se presenta un régimen de precipitación bimodal, con precipitación promedio anual de 578 mm, temperatura promedio anual de 27 °C, temperatura promedio máxima anual 32,6 °C y el promedio mínimo de 23,3 °C. El clima semiárido con marcado déficit hídrico en la época seca (Rangel y Carvajal, 2012). La población de estudio para el año 2018, fue cerca de 19 000 personas.

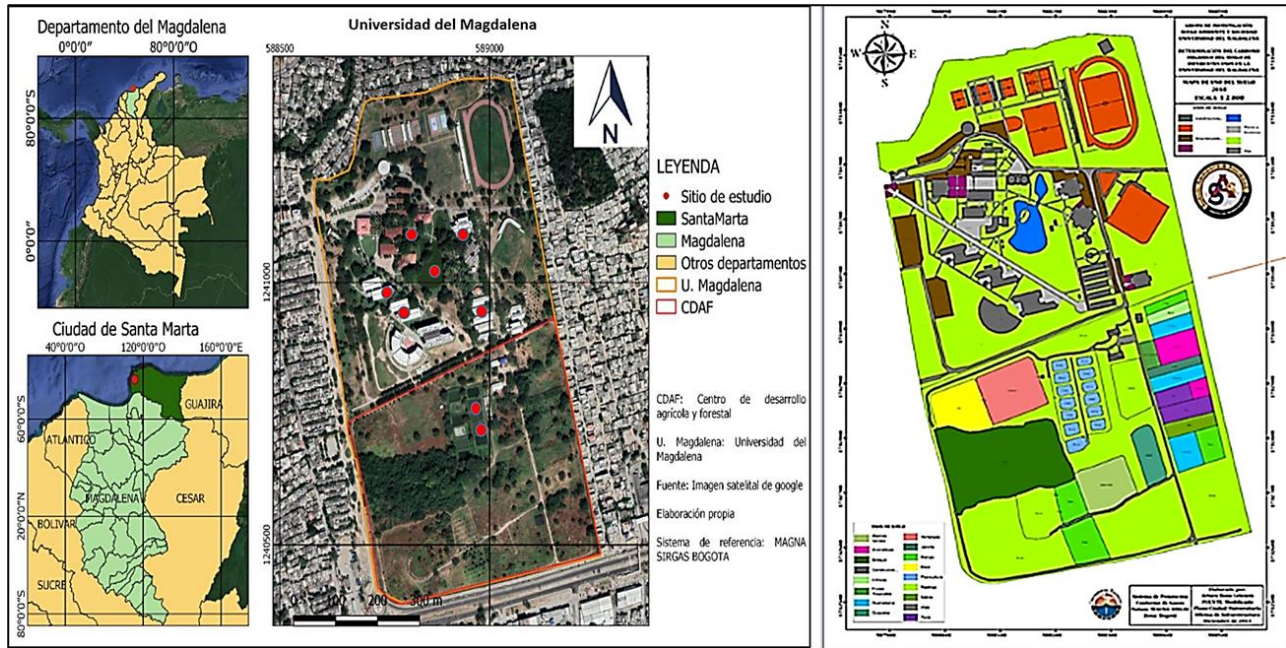


Figura 1. Área de estudio: Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.

La Universidad del Magdalena posee 30 ha, con diferente función y tipo de uso del suelo, 10 están ocupadas por edificaciones, zonas verdes y un lago artificial; 20 ha pertenecen a la granja con cultivos transitorios y perennes, uno por ciento del área es ocupada por estanques artificiales con fines de producción de peces y un cinco por ciento es vegetación natural en recuperación (bosque seco tropical).

Metodología

El diseño del estudio empleó una metodología mixta (descriptiva) transversal, sistémica y participativa, en tres fases: diagnóstico, prospección de escenarios y selección de alternativas. De acuerdo con Ramírez (2017), las estrategias de gestión deben estar dirigidas a modificar estilos de vida, toma de decisiones y comportamiento, por lo que se consideró implementar análisis Design Thinking (DOFA), talleres S, encuestas (200), diálogos de saberes sobre sostenibilidad ambiental a fin de impactar sobre el manejo sostenible del recurso hídrico en el predio principal de la Universidad y de herramientas de decisión multicriterio, para el análisis de brechas tomando un periodo de 15 años, iniciando por el 2018, se prospectaron escenarios (actual, tendencial y optimista), utilizando modelo WEAP con supuestos de crecimiento proporcionado según la tendencia en el tiempo por semestre (del 2 % cifra concertada con la oficina de planeación).

En los talleres tipo “S, integración de equipos” para la sostenibilidad del recurso hídrico se usó el método Team

Sintegrity (Leroy *et al.*, 2012) vinculando la comunidad académica (estudiantes, administrativos, directivos, docentes, investigadores) con invitados externos (líderes indígenas, funcionarios de la corporación autónoma y ONG) por medio de diferentes actividades realizadas durante el 2019 (encuestas, diálogo de saberes y perspectivas desde diferentes disciplinas) se identificó diversas visiones sobre el agua (cultura, gobernanza, conceptos, comportamientos y problemáticas) aspectos importantes para mejorar la gestión del recurso hídrico en el campus de esta forma se promovió trabajo inter y transdisciplinario con expertos.

En la matriz DOFA se consignaron debilidades (carencias detectadas que limitaron la gestión del recurso hídrico), oportunidades (eventos en el entorno de la prestación del servicio que facilitaron su desarrollo si se aprovechan), fortalezas o actividades internas que contribuyen al objetivo, y amenazas eventos o tendencias del recurso dentro del campus, que inhiben, limitan y que potencialmente afecten su gestión integral y, mediante el cruce de variables, se identificó información para el diagrama de árbol de problemas (causas y consecuencias) y partir de éste, se establecieron las limitantes que pueden comprometer el uso del recurso (brechas) al comparar las condiciones actuales con las deseadas por medio del método jerárquico AHP de Saaty (2014) que jerarquiza las estrategias a implementar en el campus en función la gestión sostenible del recurso hídrico, metodología en la que participaron expertos disciplinares donde se analizó el tema,

teniendo en cuenta las especificaciones de la Política Nacional del Recurso Hídrico.

Se aplicó el método de Saaty para evaluar estrategias (Ramírez, 2004; Saaty, 2014), que compara juicios informales con pesos prioridades ([anexo 1](#)). Con el análisis estructural y la herramienta de modelación WEAP se determinó el comportamiento de la demanda asociada a usos y factores en diferentes escenarios (tasa de crecimiento poblacional, demanda y manejo del recurso aprovechamiento de aguas lluvias y aires acondicionados, dispositivos ahorradores, optimización de riego) el año de inicio fue 2018 y el horizonte de periodo de 15 años (2032). Se plantearon escenarios en función de demanda (consumo de agua y tasas de usos anuales asociadas a las características del recurso) identificando tres: actual, tendencial y optimista.

Tabla 1. Puntos de muestreo para el análisis de la calidad del agua en el Campus (Romero *et al.*, 2019).

Estación	Puntos de Muestreo	Código	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
1	Laguna piscícola	E1	11°13'36,9"N	074° 11' 18,8" O
2	Bloque V	E2	11°13'43,2"N	074° 11' 25,4" O
3	Hangares*	E3	11°13'36,9"N	074° 11' 7,1" O
4	Lago	E4	11°13'41,7"N	074° 11' 22,8" O
5	Edificio Docente	E5	11°13'44,6"N	074° 11' 20,5" O
6	Bloque III	E6	11°13'45,4"N	074° 11' 25,1" O
7	Edificio Sierra Nevada	E7	11°13'40,7"N	074° 11' 27,9" O
8	Edificio Ciénaga Grande	E8	11°13'39,2"N	074° 11' 24,7" O

Recolección de muestras de recurso hídrico

Una vez fueron identificados los puntos de muestreo y recolectadas las muestras de acuerdo con los lineamientos técnicos del IDEAM (2007), se trasladaron para su análisis al laboratorio de calidad de agua de la Universidad del Magdalena y al laboratorio microbiológico Ortiz Martínez S.A.S-LABORMAR, donde se procedió de acuerdo con las metodologías descritas en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2012) ([anexo 2](#)).

Con el ánimo de verificar si el uso que ya tiene el recurso cumple la norma en Colombia, se consultó Decreto 1575 de 2007, Resolución 2115 de 2007 y el Decreto 1076 de 2015, y los establecidos por la OMS (2006) que contemplan valores permisibles para: consumo, uso doméstico y riego, por lo que se analizó, conductividad eléctrica (CE), pH, cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+}), aniones (HCO_3^- , SO_4^- , CO_3^-) y Cl^- y Na^+ , Salinidad potencial (SP), Relación de Adsorción de Sodio (RAS), Carbonato de Sodio Residual (CSR), Índice de Kelly o Relación de Calcio e Índice de Scott.

A través de inspección detallada en campo de la red de distribución de agua, se identificaron ocho puntos de muestreo (tabla 1), por caudal y capacidad de distribución de donde se recolectaron cuatro submuestras por punto para análisis fisicoquímicas y microbiológicas del agua en dos épocas de muestreo (seca y con precipitación) características para determinar calidad del recurso. Es importante aclarar que los tanques de almacenamiento de los puntos (E2), (E5) y (E6) corresponden a suministros de agua subterránea y de una fuente administrada por la empresa prestadora de servicios públicos que no es continua, mientras que los tanques de almacenamiento de los puntos (E3), (E7) y (E8) son de suministro directo del pozo subterráneo de la Universidad del Magdalena. E1 y E4 corresponden a dos lagunas artificiales una dedicada a la cría de peces y la otra, como ornato de la Universidad.

Para estimar las necesidades de suministro de agua del campus de la Universidad del Magdalena, se trabajó con la información del año 2018 y los primeros 10 meses de 2019, así como el porcentaje de distribución por uso a la fecha (piscícola 45 %; riego 35 % y doméstico con el 20%).

Para calcular la demanda de agua, se monitorearon cuatro puntos que cuentan con medidores de volumen: P1: Pozo principal, P2: Edificios Ciénaga Grande, P3: Sierra Nevada, P4: Zona de Hangares, muestras tomadas de manera manual de lunes a domingo a las 8:00 am, 12:00 m y 6:00 pm, horario seleccionado según la dinámica de máxima concentración de la poblacional del campus Universitario.

Con la Oficina de Planeación de la Universidad del Magdalena, se proyectó la población universitaria para un periodo de 15 años (tabla 2), teniendo en cuenta: criterios de infraestructura, crecimiento de programas (pregrado, técnicos, tecnológicos y postgrados), cupos máximos por programa e índice de deserción y graduación. Los tamaños de cohorte utilizados fueron variables según el nivel de formación y metodología de estudio, tendencia histórica de la oferta y demanda.

Tabla 2. Proyección de población Universitaria a 15 años. Fuente Oficina de Planeación Universidad del Magdalena.

Periodo	2018-2	2022-2	2027-2	2032-2
Población	19156	24560	40157	43639
Variación de población		2022	2027	2032
Tasa de crecimiento poblacional (Cada 5 años)			6,40 %	8,10 %

La Universidad del Magdalena finalizando 2019, contaba con 86 programas en modalidades presencial y distancia, pero posee una proyección de nuevos programas de pregrado y postgrado, crecimiento consignado en el Plan de Desarrollo 2030. De acuerdo con la información de la oficina de planeación y la política institucional, se planteó un análisis en periodos de 5 años (2022, 2027 y 2032) proyección para calcular los posibles escenarios de consumos en un periodo de 15 años (2018 – 2033) tomando tres quinquenios para el estudio.

El cálculo de la demanda (hidrosanitaria) se realizó según el Método de Hunter, que se fundamenta en las unidades de abastecimiento, descarga o consumo, dichas unidades son los caudales demandados por aparatos sanitarios multiplicado por la constante definida. Las unidades de consumo de los aparatos definen el caudal demandado y luego se multiplica por el número de unidades, con el objetivo de encontrar la máxima demanda simultánea o gasto probable (Zamora, 2013).

La Universidad del Magdalena finalizando 2019, contaba con 86 programas en modalidades presencial y distancia, pero posee una proyección de nuevos programas de pregrado y postgrado, crecimiento consignado en el Plan de Desarrollo 2030. De acuerdo con la información de la oficina de planeación y la política institucional, se planteó un análisis en periodos de 5 años (2022, 2027 y 2032) proyección para calcular los posibles escenarios de consumos en un periodo de 15 años (2018 – 2033) tomando tres quinquenios para el estudio.

Análisis estadístico

Para la información cualitativa (encuestas) se usó estadística descriptiva a través del programa Excel 2013. Para el análisis de la información de características del agua (físicoquímicas y microbiológicas) se aplicó prueba de *Shapiro-Wilk* para verificar el supuesto de normalidad de los parámetros estudiados; la prueba de *Levene* para verificar homocedasticidad, posteriormente, se estableció la significancia estadística entre las variables analizadas en los distintos sitios de estudio,

mediante una prueba de t-Student para muestras independientes con un nivel de confianza del 95 %. Se empleó estadística descriptiva (media, desviación, valores máximos y mínimos) para las variables analizadas y agrupadas por época de muestreo. Los análisis estadísticos se realizaron con el software IBM SPSS Statistics 23.0. Para obtener la relación entre los distintos parámetros físicos y químicos del suelo se usó la prueba de correlación de Pearson.

Resultados

Recurso hídrico en el campus

La encuesta reveló la diversidad de conocimientos y tradiciones sobre uso y manejo del agua, mostró que 71 % de la población desconoce la fuente de abastecimiento del predio universitario, al tiempo que 93% dice no tener información relacionada con buen uso en él y no conocen ningún plan o programa al respecto; este mismo porcentaje, indica que estarían dispuestos a implementar alternativas de buen uso y aprovechamiento del agua en la Universidad.

Respecto al consumo en el año 2018, el promedio fue de 31 L/persona. día⁻¹ para un consumo interno de 298 809 m³. En 2019 aumentó el consumo promedio (34 L/persona. día⁻¹) y se evidenció consumos máximos hasta de 50 L/persona. día⁻¹, con una población total aproximada de 19 156 personas que generan gasto de 493 500 m³. Asimismo, por ser un año con verano intenso se suplió con agua del pozo a la comunidad de Santa Marta realizando extracciones de abril a agosto de 2019, con un subregistro de 89 768m³ de agua entregados a la ciudad en camiones cisterna, sobrepasando los niveles máximos de explotación (105 408 m³ anual) que corresponde a 40L/s.

En los edificios monitoreados en 2019 se obtuvieron consumos máximos mensuales, siendo el de Sierra Nevada el que presentó el mayor promedio con 891,33 m³ y el de menor consumo el edificio Ciénaga Grande con 97,67 m³, en el que se realizó una inspección del estado de las unidades hidrosanitarias.

Identificación de instalaciones hídricas en la Universidad

Se actualizó el plano de sistema de distribución y recolección de aguas servidas, se monitoreo e identificaron fugas y se corrigió con cambio a sistemas ahorradores, se priorizó la red de recolección de agua proveniente de aires acondicionados y de la precipitación para reúso como lo recomendaron Aguirre *et al.* (2018), red que fue implementada en los edificios de aulas Mar Caribe y Río Magdalena y que permite aprovechamiento de agua para labores de aseo.

Análisis de calidad del agua

Los resultados de los análisis fisicoquímicos (tabla 3), mostraron diferencias significativas entre los sitios de muestreo ($p < 0,05$) en la CE y el pH. La concentración de metales pesados fue baja. No se detectó plomo, los niveles de cromo fueron $< 0,05$ mg/L, níquel ($< 0,02$ mg/L) y aluminio ($< 0,02$ mg/L), concentraciones sin riesgos para uso, encontrándose dentro de los límites establecidos de la normatividad vigente (Resolución 2115 de 2007 y Decreto 1076 de 2015).

La alcalinidad, nitritos, nitratos, sólidos totales y sólidos disueltos disminuyeron en época seca, al no presentarse procesos de infiltración. El parámetro de salinidad $< 0,4$ se considera agua dulce, pero se recomienda monitoreo al incidir en otras propiedades.

La concentración para sólidos totales (ST) osciló entre 405,63 y 527,92 mg/L. Los sitios E5 y E8, mostraron mayores contenidos (513,93 y 527,92 mg/L, respectivamente). En cuanto a los puntos E1 y E4 (lagos artificiales), la tendencia de concentraciones de los sólidos totales fue diferente en la laguna piscícola de (515,42) respecto al lago (405,63 mg/L). La turbiedad y sólidos suspendidos totales (SST) fue < 1 UNT.

Respecto a los rangos promedios de alcalinidad se encontraron

entre 260,50 mg/L en E2 y 307,04 mg/L en E6, concentraciones que exceden los límites permitidos por Resolución 2115 de 2007 (200 mg/L). El valor de pH más alto se alcanzó en (E1) y (E4) con 7,85 y 8,38, respectivamente. Los valores de dureza más altos corresponden a E3 y E8 con 336,1 y 347,6 mg/L, respectivamente.

Los valores promedios de nitratos aumentaron en el periodo lluvioso y oscilaron entre 0,06 y 0,33 mg/l coincidiendo con lo explicado por Pauta *et al.* (2019). Los nitratos obtenidos en los tanques de almacenamiento evaluados se encontraron entre 0,071 y 0,249 mg/L; mientras que, para nitritos, se reportó 0,02 y 0,10 mg/L, donde los niveles promedios fueron inferiores a 0,10 mg/L (concentración baja).

Las sales solubles como cloruros de sodio (NaCl) y de potasio (KCl) en aguas subterráneas, estuvieron en el orden de 1 a 100 mg/L. Se encontró promedio de 75,6 a 90,8 mg/L, concentraciones que a pesar de cumplir los criterios de la Resolución 2115 de 2007, es alta.

Respecto al contenido de fosfatos, la concentración más alta fue exhibida por E3 (Hangares) y el más bajo, E4 (Lago), con valores de 0,46 y 0,23 mg/L respectivamente.

Las concentraciones promedio del ion sulfato variaron entre 71,96 mg/L y 115,8 mg/L; niveles que se encuentran por debajo de los límites permisibles. Las concentraciones de hierro estuvieron entre 0,07 y 0,11 mg/L, sin que se superen los límites permitidos; los puntos de estudio E3 (Lago) y E1 (Laguna piscícola), expusieron concentraciones superiores a 0,34 mg/L.

La temperatura promedio fue de 27 °C. En E4 (Lago), se presentó un promedio mayor de 30 °C, por exposición al sol y coincide con el proceso de evapotranspiración.

Tabla 3. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos Indicar el significado de las abreviaturas y las unidades. *(mg/L); Fuente: Romero *et al.*, 2019.

Variable	Época	Punto de muestreo							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Alcalinidad*	Lluviosa Seca	329,4	355,0	336,0	330,0	293,4	293,2	297,8	294,6
		269,6	259,8	238,8	211,0	313,4	227,8	262,2	240,4
Cloruro*	Lluviosa Seca	86,23	75,60	81,80	91,44	83,13	80,65	98,64	94,30
		71,90	75,60	88,70	77,50	89,90	89,30	83,10	76,3
Dureza*	Lluviosa Seca	329,1	320,0	338,0	327,6	307,1	336,3	335,2	383,6
		344,0	348,7	333,9	297,9	305,7	308,25	324,0	311,62
Fosfato*	Lluviosa Seca	0,331	0,400	0,460	0,211	0,306	0,410	0,428	0,435
		0,300	0,400	0,400	0,230	0,290	0,420	0,440	0,470
Sulfatos*	Lluviosa Seca	122,4	96,56	86,45	103,6	71,80	92,48	97,00	92,75
		110,5	94,95	84,75	61,25	72,13	95,20	95,40	93,95
Nitritos*	Lluviosa Seca	0,055	0,100	0,060	0,047	0,029	0,087	0,081	0,045
		0,030	0,028	0,029	0,026	0,029	0,120	0,026	0,026
Nitrito *	Lluviosa Seca	0,337	0,090	0,100	0,142	0,062	0,164	0,117	0,455
		0,019	0,057	0,030	0,008	0,380	0,210	0,044	0,044
ST*	Lluviosa Seca	552,8	552,0	502,0	440,4	532,3	514,4	518,6	614,2
		478,0	365,7	415,3	370,8	495,5	411,8	398,5	441,6
SDT	Lluviosa Seca	540,0	551,0	501,0	423,0	532,0	514,0	518,0	614,0
		465,8	365,0	414,1	347,5	494,6	410,0	397,5	440,0
SST	Lluviosa Seca	12,77	1,530	1,290	17,44	0,307	0,412	0,600	0,186
		12,23	0,750	1,160	23,33	1,390	1,860	1,040	1,660
Turbiedad (UNT)	Lluviosa Seca	9,845	0,401	0,410	15,24	0,46	0,33	0,275	0,395
		8,410	0,250	0,631	14,05	0,15	0,59	0,215	0,321
pH	Lluviosa Seca	8,28	7,64	7,60	8,54	7,75	7,62	7,80	7,76
		7,72	7,43	7,34	7,99	7,90	7,51	7,64	7,67
Temperatura (°C)	Lluviosa Seca	29,00	27,13	27,02	30,41	27,90	27,45	26,75	27,25
		27,53	27,84	28,81	29,83	27,25	27,15	27,56	27,35
Conductividad (µS/cm)	Lluviosa Seca	769,0	789,5	767,5	729,5	838,5	783,0	775,1	771,5
		757,5	783,0	764,2	645,5	859,2	779,3	748,6	750,5
Color (UPT-Co)	Lluviosa Seca	20	<5	<5	40	<5	<5	<5	<5
		20	<5	<5	40	<5	<5	<5	<5
Salinidad ‰	Lluviosa Seca	0,30	0,30	0,30	0,25	0,40	0,30	0,30	0,30
		0,30	0,30	0,30	0,30	0,35	0,30	0,30	0,30
Calcio*	Lluviosa	23,90	24,06	32,05	22,50	25,25	29,95	26,60	23,30
	Seca	19,85	23,80	26,40	26,05	24,90	25,35	28,75	24,55
Magnesio*	Lluviosa	18,00	14,00	16,05	15,50	16,75	20,45	16,45	14,85
	Seca	11,20	15,40	16,10	16,45	13,25	14,60	13,10	13,20
Aluminio*	Lluviosa	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,08	<0,02
	Seca	0,03	<0,02	0,03	0,03	<0,02	0,03	0,06	<0,02
Níquel*	Lluviosa	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	Seca	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	<0,05
Hierro*	Lluviosa	0,84	0,13	0,14	0,41	0,14	0,06	0,09	0,04
	Seca	0,60	0,07	0,07	0,27	0,08	0,19	0,07	0,30
Cromo*	Lluviosa	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,05	0,04	0,09	0,05
	Seca	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,05

Indicadores microbiológicos

En E4 y E1, los recuentos microbiológicos superaron 3000 NMP/100mL para coliformes totales, e inferiores a 2000 NMP/100 mL para coliformes fecales en tubos de fermentación, señalando contaminación bacteriana, que representa restricción de uso y de contacto primario, toda vez que los valores son superiores a las concentraciones de 1000 y 200 NMP/100mL para coliformes totales y coliformes fecales, respectivamente, establecidas en el Decreto 1076 del 2015. El 90 % de las muestras presentaron recuentos de coliformes totales mayores

a 40 UFC/100 ml. E2, E5, E6 y E7 fue alto (> 80 UFC/100mL); E3 y E8 mostraron los valores más bajos con 3 y 11 UFC/100 mL,

Calidad de agua para riego

De acuerdo con los resultados (tabla 4) y a la relación adsorción de sodio, se determinó que el recurso no es adecuado para riego en la Universidad del Magdalena. La concentración de Carbonato de Sodio Residual (CSR) osciló entre un rango 14,04 y 20,16 mEq/L, valor elevado no recomendable para uso agrícola.

Tabla 4. Parámetros, índices y calidad de agua subterránea para riego.

Puntos de muestreo		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
CE	µS/cm	763,25	786,25	765,75	687,50	848,75	781,00	761,50	760,75
	pH	8,00	7,54	7,47	8,27	7,83	7,57	7,72	7,72
	Kc	25,75	26,95	23,41	24,14	23,57	24,00	22,44	23,91
	IK	%	31,50	28,60	36,00	30,00	24,90	33,00	36,00
	CSR	mEq/L	16,7468	20,1650	18,4102	15,4405	19,2015	18,5900	15,9481
	RAS		1,097	1,621	1,015	1,239	2,285	1,128	1,058
	SP		5,8445	5,1225	5,0762	4,9551	4,6853	5,3248	5,3182

El pH del agua osciló entre 7,3 y 8,3 valores con tendencia a la basicidad, sin embargo, este parámetro no es un criterio para evaluar calidad de aguas de riego, pero sin duda tiene un efecto sobre la disponibilidad de los nutrientes y el intercambio de iones en el suelo.

La concentración de carbonatos normal oscila entre 0 a 0,1 mEq/L. El análisis mostró 0,189 mEq/L; mientras que los bicarbonatos presentaron rango de 16,20 y 22,37 mEq/L (muy elevado) según el estándar (0 a 10).

La calidad del agua para uso en la agricultura está determinada por la concentración de iones, como calcio (Ca^{2+}), sodio (Na^+), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}), dióxido de carbono, bicarbonatos, Cloruros y sulfatos (Nishanthiny *et al.*, 2010). Para caracterizar el agua de riego bajo la influencia de los cloruros, sodio y bicarbonatos, se empleó los criterios descritos por Castellanos *et al.* (2000) los resultados evidenciaron la vulnerabilidad del suelo.

Demanda y condiciones de usos

En el análisis de la demanda de agua en 2019, reportó valores de consumo máximo de 50L estudiante-día. Para 2020 la tasa de crecimiento proyectada fue del 2,0 %; sin embargo, en marzo, por la pandemia (COVID 19) la institución fue a modalidad

virtual, situación que alivió la alta demanda del acuífero del año anterior. Para 2022, con retorno a la normalidad académica, la tasa de crecimiento de la población proyectada fue de 28,20 % para el periodo 2023-2027 la tasa de crecimiento fue de 63,4 %, con una población de 40 157 personas y para el periodo 2027 – 2032 la tasa de crecimiento poblacional alcanzaría un 8,10 %, con una población de 43 639 personas.

A partir del diagnóstico, se detectó que el año 2019 (abril) tuvo un incremento del consumo por succión de agua para llenar los carro - tanques de distribución de la ciudad sin un sistema de monitoreo, hay un subregistro. El caudal máximo probable necesario para el buen funcionamiento de la universidad asociado a la infraestructura sanitaria es de 88,92 L/s, teniendo en cuenta el factor de simultaneidad, pero no todos los aparatos funcionan a la vez.

Discusión

A partir del análisis se evidenció que el agua subterránea, constituye una oportunidad de abastecimiento para la Universidad del Magdalena, siendo necesario incrementar la apropiación social del consumo, uso sostenible del recurso, conocer sus características de calidad y cantidad que genere una visión integral en la institución y fortalecer el plan de manejo integral del recurso.

En la tabla 5 (matriz DOFA) y en los [anexos 2 y 3](#), se observan los criterios del análisis y de los juicios de clasificación. Escenario actual (diagnostico), recopiló la situación del campus respecto al recurso hídrico y su uso. Para acuicultura y riego con 239 047

m³ y 59 761,6 m³ para uso doméstico (tabla 6) y asume la no recarga del acuífero por la época de sequía que afronta Santa Marta y que su principal río es estacionario, en verano desapareció.

Tabla 5. Matriz DOFA para detectar limitantes y potencialidades en la gestión integral del recurso hídrico en la Universidad del Magdalena.

DEBILIDAD	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No se encontró registro del suministro de demanda o monitoreo, no existen dispositivos para la medir volumen de agua en el campus. ✓ Las redes de distribución de agua se encuentran en mal estado así como algunos aparatos hidrosanitarios. ✓ Los planos de las redes del sistema de abastecimiento de agua están desactualizados. ✓ El uso del agua en las actividades de riego de zonas verdes y de cultivos no tiene registro. ✓ Carencia de manejo de aguas grises, (clínica odontológica y laboratorios). ✓ No se evidencio estudios del estado actual del acuífero y del pozo presente en el campus de la Universidad del Magdalena. ✓ Se identifico escasas fuentes cercanas para la recarga del acuífero 	OPORTUNIDADES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El campus se encuentra rodeado de un acuífero y gracias al pozo que existe, el 90% de las actividades de la institución se atienden con agua extraída de este. ✓ Hay interés de la comunidad universitaria en la gestión del recurso hídrico e iniciativas que se puedan articular institucionalmente con la administración municipal. ✓ El campus permite implementar sistemas naturales para la recarga del acuífero. ✓ Las características del agua extraída del pozo permiten implementar estrategias de bajo costo para su purificación. ✓ La institución académica puede ser un laboratorio de experimentación para la gestión del recurso hídrico.
FORTALEZA	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La diversidad de población estudiantil (con indígenas), enriquece el análisis académico y la visión ambiental de la comunidad universitaria. ✓ Hay consenso en un enfoque ecosistémicos en la planificación y gestión del recurso hídrico. ✓ La universidad cuenta con programas como ing. Ambiental y sanitaria, civil y agronomía que pueden favorecer un manejo técnico y sostenible del recurso, así como vincular estudiantes de antropología, biología, derecho en procesos estratégicos de gobernanza en torno al tema. ✓ Se evidencia estudios de caracterización y uso de agua de aires acondicionados y se avanza en la instalación civil para la implementación reusó de este recurso, así como la recolección de aguas lluvias. ✓ Voluntad política de la institución respecto al tema. 	AMENAZAS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Crisis de abastecimiento de agua en la ciudad. ✓ Crecimiento de la población estudiantil ✓ Incremento en los gastos de inversión en cambio de aparatos hidrosanitarios, válvulas e infraestructura. ✓ Carencia de un plan de acción y monitoreo del pozo profundo. ✓ Posibilidad de Intrusión de cuña salina por el uso desmedido del acuífero y la cercanía al mar. ✓ Territorio con alta vulnerabilidad a cambio climático (alta temperatura y bajo precipitación). ✓ Carencia de recursos para inversión.

Tabla 6. Datos base de consumo de agua para el año 2018. V,m*= variación mensual consumo.

Meses	Tasa de uso anual por usos 2018					
	Acuícola m ³		Riego Total: m ³	Doméstico m ³	V,m*, (riego) %	V,mo doméstico %
Enero	253,3	196,98	450	112,6	0,19	0
	34,1	26,53	60,63	15,2	0,03	0
Marzo	8138,4	6329,86	14468	3617,1	6,05	6
Abril	45752,4	35585,24	81337	20334,4	34,03	34
Mayo	22938,3	17840,87	40779	10194,8	17,06	17
Junio	24784,2	19276,57	44060	11015,2	18,43	18
Julio	14845,3	11546,36	26391	6597,9	11,04	11
Agosto	4254,3	3308	7562	1890	3,16	3
Septiembre	4732,8	3681,06	8413	2103,5	3,52	4
Octubre	3322,2	2583,97	5906	1476,6	2,47	2
Noviembre	3298,6	2565,6	5864	1466,1	2,45	2
Diciembre	2110,9	1641,77	3752	938,2	1,57	2
Total			239048	59761,6	100	100

Para el escenario tendencial con una tasa anual de crecimiento del 2 % entre los años 2018 y 2032 (tabla 7), las variaciones interanuales de precipitación del Caribe colombiano con predisposición a sequía (fenómeno de Oscilación del Sur “El Niño”, que provoca calentamiento, aumento de temperaturas con alta evapotranspiración, que disminuye flujos de agua

superficial y la recarga de acuíferos (Vuille, 2013; Revueltas *et al.*, 2020). Por otro lado, está la tendencia global de gestión de recursos hídricos, para mejor ordenación y uso del agua (Calderón, 2020), aun así, hay escases de agua y la situación es incierta, debido al fenómeno de cambio climático y carencia de una política de inversión continua en el sector.

Tabla 7. Datos ingresados en función de los escenarios (modelo WEAP).

Actual tendencial	Optimista
Tasa de crecimiento 2 % año 2018.	Medidas para el manejo de la demanda
Tasa de crecimiento con escenario de crecimiento de (4 %), para un total del 6 % que coincide en 2020.	Implementación de algunas estrategias para la disminuir demanda y a su vez aporten al uso sostenible en la institución, entre estas; uso de dispositivos ahorradores, aprovechamiento de aguas lluvias, optimización de las zonas de riego, aprovechamiento de aguas provenientes de los aires acondicionados,
Si se mantiene la tasa de crecimiento los escenarios para 2032, estarían entre 6 % a 10 %.	
Tasa anual de uso de agua para usos pecuarios y de riego 239,047 m ³ y 59,761,6 m ³ para uso doméstico. La recarga del acuífero (2018) fue casi nula por época de sequía y se consideró que el principal río que recarga el acuífero en la zona de estudio es estacionario.	

Tabla 8. Análisis multicriterio del experto 3 para la evaluación de estrategias

Estrategias	Prioridades (%)	Orden de Priorización
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
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 del acuífero,	9,46%	7
Diseño de plantas de tratamiento,	9,30%	8
Adecuación de filtros purificadores de agua	9,07%	9
Diseño de planta de tratamiento de agua residuales,	5,57%	10

El escenario “Optimista” da respuesta a una condición ideal, se implementarán estrategias de mitigación y se asume un mejor uso del recurso, así como condiciones climáticas normales (bimodal) que recarguen el acuífero. Además, que la ciudad adopte por una solución definitiva (diseño de un sistema de acueducto para solucionar el déficit de agua potable en la ciudad de Santa Marta. En este escenario optimo hay factores que no depende de la comunidad universitaria.

los escenarios prospectados iniciando con crecimiento mesurado del 2 % de la población de la universidad del Magdalena.

El modelo mostró que entre los años 2018 al 2022 conservando la tasa uso actual de agua para usos piscícola, riego y uso doméstico, se presentará dificultad para suplir el gasto, más si se consideran que la tendencia climática del territorio que limitará la recarga del acuífero por merma en la precipitación (Revueltas *et al.*, 2020). Lo anterior coincide con Chavarría y Vargas (2018), quienes argumentan que la variación en el régimen y cantidad de la precipitación, junto con aumentos en la temperatura y evapotranspiración, pueden afectar la recarga, descarga y calidad de las aguas subterráneas y que las características de cobertura vegetal de la zona llevan a mayor

dominancia de la evapotranspiración, e influye en las condiciones del suelo aumentando los límites de almacenamiento y reduce el agua disponible para la recarga.

El escenario optimista planteó reducir demanda, almacenar y reusar agua, así como la recarga del acuífero a través de obras de infraestructura (pozos de inyección, extensión de aguas superficiales y embalses de recarga, barbecho de los campos agrícolas, cavidades cársticas en acuíferos de piedra caliza y otros elementos naturales o hechos por el hombre que permiten el aumento del suministro de aguas subterráneas subyacentes) tal como lo argumenta Daus (2019). Otras actividades priorizadas (tabla 8) fueron tanques de almacenamiento, dispositivos ahorradores en aparatos hidrosanitarios, priorizar uso doméstico sobre piscicultura y

automatizar el riego. En este escenario, se proyectó precipitación normal, con una época de lluvias que corresponde a la recarga del acuífero.

En el modelo la figura 2, muestra diferentes escenarios (al variar tasas de crecimiento de la población), con aumento exponencial, que significa mayor demanda. Bajo este panorama y de acuerdo con las proyecciones del modelo, se aprecia que a partir del 2025 el recurso hídrico del pozo subterráneo no será suficiente para suplir el gasto de la institución. Información que sirvió para que la oficina de planeación de la universidad propusiera el programa "Campus Biocultural" para consolidar la gestión del recurso desde el marco de la institución y permitir tener presupuesto con rubro específico que garantice iniciar adecuaciones que permitan mitigar la situación.

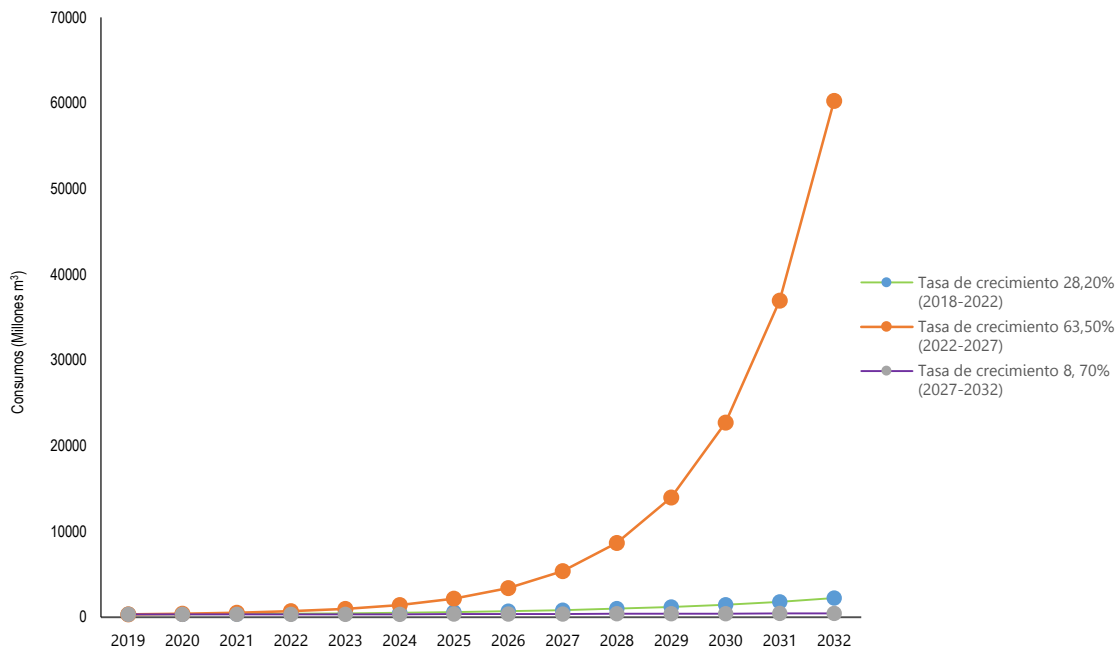


Figura 2. Tendencia año 2018 al 2032, demanda de recurso hídrico con una proyección de 15 años.

Si bien, los ecosistemas naturales propician infiltración, que beneficia la recarga de acuíferos, el cambio de uso del suelo y la variabilidad climática afecta la precipitación y el ciclo hidrológico, lo que reduce la disponibilidad del recurso y la recarga del acuífero Chavarría y Vargas (2018). Por lo descrito, es necesario priorizar canales que permitan mejorar la captación e infiltración de la precipitación en puntos estratégicos, proteger áreas verdes y la parcela permanente (bosque seco) que fomenta servicios ecosistémicos del campus (Strewe *et al.*, 2009; Rengifo, 2015; Daus, 2019).

Asimismo, es significativo desarrollar mayor número de

medidas para regular uso, establecer un sistema que permita contabilizar el agua con precisión (ingresos, egresos y almacenamiento), fundamental para la sostenibilidad del acuífero de acuerdo con Vargas *et al.* (2020) quienes afirman que el monitoreo constante de los dispositivos de extracción y consumo, la participación y responsabilidad pública de acuerdo con el marco legal, permiten mejor manejo del recurso, genera conocimiento y minimizan la contaminación y desperdicio del agua.

Por otro lado, caracterizar el recurso, esencialmente pH, concentración de sales y carbonatos, en agua usada para riego

en un régimen climático como el de Santa Marta (altas temperatura y evapotranspiración con baja precipitación), es fundamental, toda vez que el inadecuado manejo del riego puede inducir salinización de suelos, condiciones por las que se exige diagnósticos claros, monitoreo y posiblemente un pretratamiento del recurso antes de ser usado (Betancourt *et al.*, 2019). Igualmente, es primordial entender que los suelos del campus de la universidad corresponden a Typic ustipsaments conocidos como arenosoles, con régimen de humedad ústico, xérico o limitado por humedad que en condiciones del trópico con temperaturas superiores a 20° C son propensos a procesos de salinización por lo anterior, es conveniente su monitoreo.

La alcalinidad, nitritos, nitratos, sólidos totales y sólidos disueltos disminuyeron en época seca, al no presentarse procesos de infiltración. Los contenidos de nitratos obedecen a sistemas oligotróficos donde los niveles de concentración de compuestos nitrogenados dependen de la productividad biológica. Según Jarsun *et al.* (2008) las aguas con valores de salinidad < 0,5 g/L son consideradas dulces, de acuerdo con lo obtenido en este parámetro (salinidad < 0,4) estarían en este rango, pero es recomendable monitoreo porque de acumularse en el perfil del suelo, puede incidir en otras propiedades.

La alcalinidad, nitritos, nitratos, sólidos totales y sólidos disueltos disminuyeron en época seca, al no presentarse procesos de infiltración. Los contenidos de nitratos obedecen a sistemas oligotróficos donde los niveles de concentración de compuestos nitrogenados dependen de la productividad biológica. Según Jarsun, Bustos y Carnero (2008) las aguas con valores de salinidad < 0,5 g/L son consideradas dulces, de acuerdo con lo obtenido en este parámetro (salinidad < 0,4) estarían en este rango, pero es recomendable monitoreo porque de acumularse en el perfil del suelo, puede incidir en otras propiedades.

Respecto a los rangos promedios de alcalinidad se encontró entre 260,50 en E2 y 307,04 mg/L en E6, concentraciones que exceden los límites permitidos por Resolución 2115 de 2007 (200 mg/L), sin embargo, hay que tener presente que el pH del agua subterránea depende de los equilibrios de dióxido de carbono, carbonato y bicarbonato. Valores extremos básicos pueden propiciar cálculos en riñón. No obstante, el pH fluctúa rangos alcalinos (Pérez, 2016; Barik y Pattanayak, 2019). El valor de pH más alto lo reportó (E1) y (E4) y puede atribuirse a la evapotranspiración del agua en el lago y al anhídrido carbónico disuelto, procedente de la atmósfera y por la respiración y fotosíntesis de los organismos acuáticos (Zamora 2009,

Monterroso *et al.*, 2021).

La concentración para sólidos totales (ST) de los puntos E5 y E8, se da por contenidos de materiales suspendidos y disueltos en agua y la falta de mantenimiento de tanques situación que se evidencio en la inspección en campo, mientras que en los puntos E1 y E4 (con mayor turbidez), obedece a la dificultad del líquido para transmitir la luz por sólidos en suspensión (arcilla, arena, limos, compuestos orgánicos o plancton y otros organismos microscópicos).

Los valores de dureza reportados están por encima del máximo permisible (300 mg/L para consumo) se clasifican como aguas muy duras (OMS, 2014). Las concentraciones más altas encontradas en E3 y E8 ratifica el daño de los destiladores de los laboratorios, debido principalmente a la descomposición térmica de los bicarbonatos de Ca y Mg solubles en el agua por calentamiento, en donde se elimina el dióxido de carbono y se precipitan los carbonatos (CaCO₃) insolubles quedando en superficie induciendo a costra en las paredes de los equipos, y cuando se utiliza jabón, se forman precipitados en forma de grumos, por la presencia de sales solubles de Ca y Mg generando corrosión e incrustación en tuberías, fenómeno explicado por Soto (2010) Salto y Donald (2018) y Aguirre *et al.* (2018).

Por su parte, García (2012) informa que la concentración alta, repercute en la acumulación de carbonatos sobre capas superficiales del suelo y es causa de alcalinización (Moreno e Ibáñez, 2019), la reacción de carbonatos con dióxido de carbono y agua, produce disolución y transferencia de iones de bicarbonato de un punto a otro del perfil del suelo mediante hidrólisis, al disolverse y desplazarse por el espacio poroso formando un horizonte de acumulación de carbonato de calcio, fenómeno que se acelera a temperaturas mayores de 20°C originando degradación en zonas semiáridas, como las del área de estudio.

Lo anteriormente descrito indica riesgo de carbonatación que se presenta cuando el sodio desplaza al Ca²⁺ y Mg²⁺, y forma carbonatos, lo cual conlleva a sodicidad del suelo, aumentando la degradación del territorio (Medina *et al.*, 2016), por lo que es urgente pre tratamiento del agua antes de ser utilizada, su uso prolongado puede desertificar el campus universitario.

Las sales solubles como cloruros de sodio (NaCl) y de potasio (KCl) reportan 1 a 100 mg/L. Concentraciones que a pesar de cumplir los criterios de la Resolución 2115 de 2007, son elevadas. La mayor parte del cloruro de las aguas subterráneas proceden del mar o de sedimentación de minerales afines concentrados por evaporación y disolución de las partículas de

material sólido existentes en la atmósfera (Olías *et al.*, 2005), por las altas temperaturas y la cercanía al mar de la zona, es común encontrarlos, por lo que la explotación del acuífero debe ser cuidadosa para descartar la influencia de la cuña marina en el futuro Daus (2019).

Debido al crecimiento de las poblaciones en las zonas costeras se han alterado los estuarinos, situación que influyen en el desarrollo y dinámica del ciclo del agua, así como el grado de incertidumbre de los factores relacionados con el clima, como los patrones de precipitación y cantidades y frecuencia de sequías, que aumentan significativamente con el tiempo (Martínez *et al.*, 2018). Scherger *et al.* (2019) discuten la salinidad de los suelos asociados a la transferencia de solutos desde el acuífero somero e hipersalino a partir del ascenso capilar, a través del proceso de evapotranspiración favorecido por la textura fina de los sedimentos que componen la zona no saturada y la alta temperatura (temperaturas superiores a 15 °C favorecen la proliferación de microorganismos, de igual forma, a la cantidad de oxígeno que puede transportar el agua, a menor temperatura transporta más oxígeno, así mismo, altas temperatura acelera sedimentación de sales por evaporación), condiciones semejantes a las del área de estudio que pueden inducir el proceso Aguirre *et al.* (2022).

El comportamiento de los fosfatos puede deberse a un proceso de precipitación o disolución del fósforo inorgánico, como lo argumenta Jiménez (2008) al demostrar que este elemento depende de las condiciones redox del sedimento, sin embargo, los niveles reportados están dentro de los límites permisibles. Por su parte, las concentraciones de sulfatos encontrados en E1 y E3 evidencian una variación entre los tanques y los cuerpos de agua artificiales, esto puede ser resultado del tipo de almacenamiento, por consiguiente, se pueden atribuir las altas concentraciones de Fe en los cuerpos de agua artificiales a la formación de complejos de hierro con la fracción húmica de materia orgánica (Martínez *et al.*, 2006) y al tipo de sedimentos en la zona.

Las concentraciones de coliformes fecales encontrados en E2, E5, E6 y E7 se pueden atribuir al deterioro de tanques con posibles fallas del sistema de distribución y probabilidad de contaminación por materia fecal. De acuerdo con Ríos *et al.* (2003), la presencia o ausencia de bacterias pertenecientes a la flora saprófita intestinal, entre las que se encuentran *Bacteroides fragilis*, bacterias mesófilas, coliformes totales y fecales *Escherichia coli* y estreptococos fecales, muestran inadecuadas condiciones higiénicas.

En síntesis, el estudio expuso la vulnerabilidad de la institución a desabastecimiento de agua y la importancia del acceso al recurso (agua subterránea) para su funcionamiento, por lo que es indispensable una gestión integrada. Así mismo, reveló la diversidad de conocimientos y tradiciones sobre uso y manejo del agua y mostró que 71 % de la población desconoce la fuente de abastecimiento del campus universitario, al tiempo que el 93% dice no tener información relacionada con buen uso en el campus y no conocen ningún plan o programa al respecto; este mismo porcentaje, indica que estarían dispuestos a implementar alternativas de buen uso y aprovechamiento del agua en el campus.

Los escenarios de cambio climático para Colombia (IPCC, 2007; IDEAM, 2011) exponen para el año 2040 un aumento de la temperatura media-superior al 2 % de manera homogénea en el país, lo cual, a la fecha, fue superado (Revueltas *et al.*, 2020). Para regiones como la costa caribe se pronosticó reducción de la precipitación entre el 10 % y el 30 % respecto al promedio, afectando de manera directa los recursos hídricos. No obstante, los resultados y de acuerdo con lo planteado por García *et al.* (2012) generar políticas de planificación del recurso hídrico, además de orientar uso del agua y la ocupación del territorio con una visión sostenible, es una de las formas de iniciar a mitigar el problema.

Conclusiones

Para mejorar la seguridad del abastecimiento y la sostenibilidad del agua en el campus de la Universidad del Magdalena se requiere un plan de gestión integral instaurado desde la alta gerencia que garantice recursos y el entorno físico adecuado para la implementar acciones de mitigación ante la falta de agua. No obstante, el modelo (WEAP) trabajó con proyecciones circunstanciales, pero dadas las tendencias climáticas y condiciones del área de estudio, es relevante para estimar cambios que afectarían la institución, por lo cual se sugiere considerar su ejecución.

Agradecimientos

A la Universidad del Magdalena por su apoyo logístico, a Jhon Taborda por el apoyo administrativo, a Eleanar Pulido Martínez, Andrés Felipe Vallejo, Andrés Alvarado por el apoyo en la adquisición de datos.

Referencias

- Aguirre, S.E., Piraneque, N.V. y Rozo, A. 2018. Potencial de uso del agua proveniente de los sistemas de aire acondicionado en el Caribe seco colombiano. *Información tecnológica* 29(6): 33-42. Doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000600033>.
- Aguirre Forero, S.E., Piraneque Gambasica, N.V. y Mercado Fernández, T. 2022. Suelo y cambio climático: Incluye estudio de casos. Editorial Unimagdalena, Santa Marta.
- Barik, R. y Pattanayak, S. 2019. Evaluación de la calidad del agua subterránea para el riego de espacios verdes en la ciudad de Rourkela, Odisha, India. *Groundwater for Sustainable Development* 8: 428 - 438. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2019.01.005>.
- Betancourt, C., Tartabull, T., Labaut, Y. y Ferradaz, R. 2019. Principales procesos que impactan la calidad del agua para el riego en pozos costeros del centro sur cubano. *Revista internacional de contaminación ambiental* 35(3): 541-552. Doi: <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2019.35.03.02>.
- Calderón, C. 2020. La gestión integrada de recursos hídricos en la regulación de aguas, Identificación y propuesta de avances, a partir de instrumentos vigentes. *Revista de Derecho Administrativo Económico* 30: 141-171. Doi: <https://doi.org/10.7764/redae.30.6>.
- Castellanos, J.Z., Uvalle-Bueno, J. X. y Aguilar-Santelises, A. 2000. *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas agrícolas, plantas y ECP*. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola, México D.F.
- Chavarría, S.B. y Vargas, T.B. 2018. Estado del arte sobre el cambio climático y las aguas subterráneas. Ejemplos en Colombia. *Revista Politécnica* 14(26):52-64. Doi: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v14n26a5>.
- Daus, A. 2019. Almacenamiento y recuperación de agua en acuíferos: Mejoramiento de la seguridad en el abastecimiento de agua en el Caribe. Oportunidades y desafíos. Informe. Banco Interamericano de desarrollo, Bogotá D.C.
- Dourojeanni, A. y Jouravlev, A. 2001. Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua: desafíos que enfrenta la implementación de las recomendaciones contenidas en el capítulo 18 del Programa 21. Comisión Económica para América Latina –CEPAL Serie Recursos Naturales e Infraestructura, Santiago de Chile.
- García, A. 2012. Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 6: 27-36.
- García, M.C., Piñeros Botero, A., Bernal Quiroga, F.A. y Ardila Robles, E. 2012. Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. *Revista de Ingeniería* (36): 60-64.
- Hernández Juárez, R.A., Martínez Rivera, L.M., Peñuela-Arévalo, L. A. y Rivera-Reyes, S. 2019. Gestión del agua subterránea en los acuíferos de la cuenca del río Ayuquila-Armería en Jalisco y Colima, México. *Región y Sociedad* 31: e1093. Doi: <https://doi.org/10.22198/rys2019/31/1093>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2007. Toma de muestras de aguas residuales: instructivo para la toma de muestras de aguas residuales. Informe. IDEAM, Bogotá D.C.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2011. Cuarto Estudio Nacional del Agua. Presentado en: Los Estudios Nacionales de agua. Informe. IDEAM, Bogotá D.C.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2013. Aguas subterráneas en Colombia: una Visión General. Informe. IDEAM, Bogotá D.C.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2015. Estudio Nacional del Agua: Información para la toma de decisiones, Sala de Prensa Virtual. Informe. IDEAM, Bogotá D.C.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. EN: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. Editores. *IPCC, Documento síntesis*. El Cambio Climático y el Agua, Secretaría del IPCC, Geneva.
- Jarsun, R., Bustos, V. y Carnero, M. 2008. Manual de uso e interpretación de aguas. Informe. Secretaría de ambiente, INTA, Córdoba.
- Jiménez, M. 2008. Transferencia de nutrientes entre la columna de agua y el sedimento bajo condiciones anaerobias en el embalse de Beniarrés. Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Leroy, H., Palanski, M. y Simmons, T. 2012. Authentic leadership and behavioral integrity as drivers of follower commitment and performance. *Journal of business ethics* 107 (3): 255-264. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10551-011-1036-1>.

- Martínez, G., Senior, W. y Márquez, A. 2006. Especiación de metales pesados en la fracción disuelta de las aguas superficiales de la cuenca baja y la pluma del río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela. *Ciencias marinas* 32(2): 239-257.
- Martínez Valdés, Y. y Villalejo García, V. M. 2018. La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería hidráulica y ambiental* 39 (1): 58-72.
- Medina, E. K., Mancilla, O.R., Larios, M.M., Guevara, R.D., Olgún, J.L. y Barreto, O.A. 2016. Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco. *Idesia (Arica)* 34(6): 51-59.
- Mira Vega, L.I. 2019. Sistema de monitoreo en tiempo real de los niveles freático y de calidad del acuífero de la ciudad de santa marta: revisión del estado actual del acuífero Universidad Cooperativa Santa Marta. Informe de Pasantía de investigación, Universidad Cooperativa. Santa Marta, Colombia.
- Ministerio De Ambiente Vivienda y Desarrollo Sostenible. 2016 Estado del recurso hídrico, Gestión integral del Recurso Hídrico, política nacional del recurso hídrico. MADS –Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico, Bogotá D.C.
- Monterroso-Rivas, A.I. y Gómez-Díaz, J.D. 2021. Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Terra Latinoamericana* 39: e774. Doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>.
- Moreno, H. e Ibáñez, S. 2019. Procesos formadores: La Carbonatación, Informe. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Nishanthiny, S.C., Thushyanthy, M., Barathinathan, T., Saravanan, S. 2010. Irrigation Water Quality Based on Hydro Chemical Analysis, Jaffna, Sri Lanka. American-Eurasian. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 7(1): 100-102.
- Olías, M., Cerón, J.C. y Fernández, I. 2005. Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del US Laboratory Salinity (USLS). *Geogaceta* 37: 111-113.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2019. Informe de políticas de la ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el Agua. UN wáter: Organización de las Naciones Unidas (ONU), París.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2006. Guía para calidad de agua potable. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2014. Progress on Drinking Water and Sanitation. Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos. Organización Mundial de la Salud (OMS), Ginebra.
- Pauta, G., Velazco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, Ó. y Abril, A. 2019. Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana* 10(2): 76-88. Doi: <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>.
- Pérez, E. 2016. Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 29(3): 3-14. Doi: <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>.
- Pinos, J. y Malo-Larrea, A. 2018. El derecho humano de acceso al agua: una revisión desde el Foro Mundial del Agua y la gestión de los recursos hídricos en Latinoamérica. *Invurnus* 13(1): 12-20.
- Ramírez, M. 2004. El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables, Aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad en la provincia del Chaco. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas* 1-4.
- Rangel J.O. y Carvajal, J. E. 2012. Clima de la región Caribe colombiana. En: *Colombia Diversidad Biótica XII: La región Caribe de Colombia*. Bogotá: Instituto de Ciencia Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- Rengifo, J. M. 2015. Herpetofauna del campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical* 5(1): 54-63.
- Revueltas, J.E., Zabaleta, A., Mercado, T., y Aguirre, S. 2020. Cambios en el clima local y su efecto en la regulación hídrica en microcuencas del departamento del Magdalena, Norte de Colombia. *Información tecnológica* 31(6): 193-206.
- Riechmann, J. 2003. Tres principios básicos de justicia ambiental. *Revista internacional de filosofía política* 21: 103-120.
- Ríos, S., Agudelo, R., y Gutiérrez, L. 2003. Patógenos microbianos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública* 35: 236-247. Doi: <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>.
- Romero, I., Pulido, E., Vallejo, O. y Aguirre, S. 2019. Condiciones de uso y diagnóstico de la calidad del agua subterránea en el campus de la Universidad del Magdalena. Tesis de maestría. Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
- Saltos, V. y Donald, R. 2018. Evaluación de tres tipos de tuberías usadas en tratamientos magnéticos para reducción de

concentraciones de calcio y magnesio en aguas duras. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta. Saaty, T. 2014. *Toma de decisiones para líderes*. RWS Publications, University of Pittsburgh, Pittsburgh.

Scherger, L.E., Lexow, C., Zanello, V. y Carbajo, M.B. 2019. Salinización de suelos de textura fina por ascenso capilar a partir del acuífero freático hipersalino somero (Bahía Blanca, Argentina). *Revista aguas subterráneas*. Doi: <https://doi.org/10.14295/ras.v33i2.29265>.

Soto, J. 2010. La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Ingeniería, investigación y tecnología* 11(2): 167-177.

Strewe, R., Villa-De León, C., Alzate, J., Beltrán, J., Moya, J., Navarro, C. y Utria, G. 2009. Las aves del campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. *Intropica* 4(1): 79-91.

Vargas, C. R., Samaniego, L., y Medina, M. R. 2020. Estado actual del Monitoreo de agua subterránea en América Latina

e Introducción al programa GGMN. *Aqua-LAC* 12(1): 118-126.

Vuille, M. 2013. El cambio climático y los recursos hídricos en los Andes tropicales, Banco Interamericano de Desarrollo 21. http://groundwater.sdsu.edu/GlaciAr_CCRRR.pdf. "WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). 2019. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: París, UNESCO. <https://es.unesco.org/watersecurity/wwap/wwdr/2019#download>; consultada el 11 de noviembre de 2019.

Zamora, J. R. 2009. Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela. *Pensamiento Actual* 9(12): 125-134. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5897932.pdf>.

Zamora, R. A. 2013. Evaluación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones. Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.