ECODISEÑO & SOSTENIBILIDAD

RES: ULA-UPV

N°17: 2024

DOI: https://doi.org/10.53766/ECOSOS/2024.17.02

ARTÍCULO 002 RES 17: 2024

ECODISEÑO & SOSTENIBILIDAD
RES: ULA-UPV
N°17: 2024

Artículo RES 002

CRISIS GEOAMBIENTAL SOSTENIBLE: EL CASO MONUMENTO NATURAL LAGUNA DE URAO – MÉRIDA, VENEZUELA

Sustainable geoenvironmental crisis: the case of the Urao lagoon wetland natural monument – Mérida, Venezuela

[1]OMAR ANTONIO GUERRERO
[2] ANAIRAMIZ ARANGUREN HERNÁNDEZ
[3]LENI PRADO
[4]GERARDO PINEDA

[1] Facultad de Ingeniería – Escuela de Ingeniería Geológica – ULA. Mérida – Venezuela. Asesor de la FUNDALAGUNA. E-mail; oag2021@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-3642-0758.
[2] Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. ULA. Mérida – Venezuela. Asesora de la FUNDALAGUNA. E-mail; anairamiza@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5855-8539.
[3] Facultad de Ingeniería – CIDIAT – ULA. Mérida – Venezuela. Asesor de la FUNDALAGUNA. E-mail; leniscarolap@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0001-3642-0758.
[4] Exdirector y Asesor de INPARQUES. Mérida – Venezuela. E-mail: ecohabitat2023@gmail.com

Recibido: 23/06/2024 **Aceptado:** 07/11/2024

RESUMEN

El Monumento Natural Laguna de Urao, es conocido en los Andes centrales venezolanos por la precipitación de sesquicarbonatos de Na, K y Ca. Actualmente este sistema lacustre, está disminuyendo su espejo de agua y batimetría de manera alarmante, debido a diferentes causas como la disminución de la precipitación media anual, que se acentuó entre los años 2013 al 2015 con valores por debajo de 400 mm de media anual; construcción de un anillo urbanístico hacia la parte alta de la cuenca alimentadora de agua de la laguna con la consiguiente construcción de viviendas, vialidad y cloacas, que producen interrupción del flujo superficial y sub superficial de las aguas de lluvia, que deberían alimentar parcialmente al cuerpo de agua; el desvió de agua para la agricultura y la ganadería extensiva; la tala indiscriminado de las partes altas y medias de las microcuencas San Miguel y El Molino; así como los usos actuales del suelo no aptos para la preservación e higiene de este Monumento. Este conjunto de actividades resulta en fuerte desbalance hídrico. La disminución progresiva del espejo de agua de Laguna de Urao y de su espacio disponible para almacenamiento natural de agua causa

concentración de elementos fisicoquímicos que modifican su pH y, por ende, la sostenibilidad del frágil ecosistema que controla su vitalidad.

Palabras clave: Andes venezolanos, humedal, Geoloecología, uso del suelo.

SUMMARY

The Laguna de Urao Natural Monument is known in the central Venezuelan Andes for the precipitation of sesquicarbonates of Na, K and Ca. Currently, this lake system is decreasing its water mirror and bathymetry in an alarming way, due to different causes; decrease in the average annual rainfall, which was accentuated between 2013 and 2015 with values below 400 mm of annual average, construction of an urban ring towards the upper part of the water feeder basin of the Laguna de Urao Monument with the consequent construction of houses, roads and sewers, which produce interruption of the surface and subsurface flow of rainwater, which should partially feed the body of water and the use of water for agriculture and extensive livestock farming, as well as the indiscriminate felling of the upper and middle parts of the San Miguel and El Molino micro-basins, as well as the current uses of the land unsuitable for the preservation and hygiene of this Monument. This set of activities results in a strong water imbalance. The progressive decrease in the water surface of Laguna de Urao and its available space for natural water storage causes a concentration of physical-chemical elements that modify its pH and, therefore, the sustainability of the fragile ecosystem that controls its vitality.

Keywords: Venezuelan Andes, wetland, Geoecology, land use.

1. INTRODUCCIÓN

El Monumento Natural Laguna de Urao (Decreto N° 172, de fecha 18 de junio de 1979, publicado en Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 31 760, de fecha 19 de Junio de 1979), localizado en Lagunillas, Municipio Sucre, estado Mérida, Venezuela, posee un gran valor no solo por ser el asentamiento y parte de la historia de la génesis del pueblo aborigen de “Los Lagunillas” en el proceso de fundación y desarrollo como pueblo de indios en los periodos colonial - poscolonial y actual ciudad de Lagunillas, sino por tener, un sistema lacustre de aguas con sesquicarbonatos de Na, K y Ca (Urao – *Gaylissute*), único en nuestro país (Mazzarino, 2000).

Actualmente este sistema lacustre, está disminuyendo el espejo y lámina de agua de manera alarmante, debido a diferentes causas, entre otras, la disminución de la precipitación media anual, que se acentuó entre los años 2013 al 2016 con valores por debajo de 400 mm de media anual; sumándole el dinámico crecimiento demográfico, que ha requerido de grandes extensiones de terrenos urbanos para la construcción de los servicios básicos, llegando a afectar el territorio circundante de la laguna y su sistema de recolección de aguas torrenciales, así como la intervención por actividades antrópicas donde se asienta la ciudad y sus alrededores, que requiere ser restaurada por la profusa deforestación en las micro cuencas de las quebradas de El Molino y San Miguel para usos agropecuarios (Madroñero y Rojas, 2018).

Este conjunto de actividades antrópicas resulta en fuerte desbalance hídrico del flujo superficial y subterráneo del sistema lacustre de Laguna de Urao. La disminución progresiva del espejo y lámina de agua, causan concentración de las sales del agua, que modifican su pH y, por ende, la sostenibilidad del frágil ecosistema que controla su vitalidad (PROFORCA, 2002). Se exponen una serie de evaluaciones de monitoreo de la batimétricas y geoquímicas de las aguas del sistema lagunar para conocer el estado fisicoquímico y pronosticar las condiciones de sostenibilidad ambiental.

1.1. Localización del monumento natural Laguna de Urao

El complejo de humedales Laguna de Urao está localizado en el occidente de Venezuela, en los Andes venezolanos, parroquia Lagunillas capital del municipio Sucre del estado Mérida, a una distancia aproximada de 30 km al sureste de la ciudad de Mérida (capital del estado Mérida; Figura 1), entre las coordenadas geográficas 08°30´05” Latitud Norte y 71°23´32” Longitud Oeste, a una altitud de 1030 m s.n.m. (espejo de agua de laguna de Urao).

El Monumento Natural, se encuentra ubicado en el perímetro urbano de la población de Lagunillas. El toponímico que identifica a la parroquia capital del

municipio Sucre, se deriva justamente, de ese atractivo reservorio natural de agua, debido a que el conquistador español Juan Rodríguez Suárez, en las postrimerías del año 1558, bautizó a la población indígena allí asentada, con el nombre de "*La Lagunillas*" (Clarac 1981; Meneses et al., 2007).

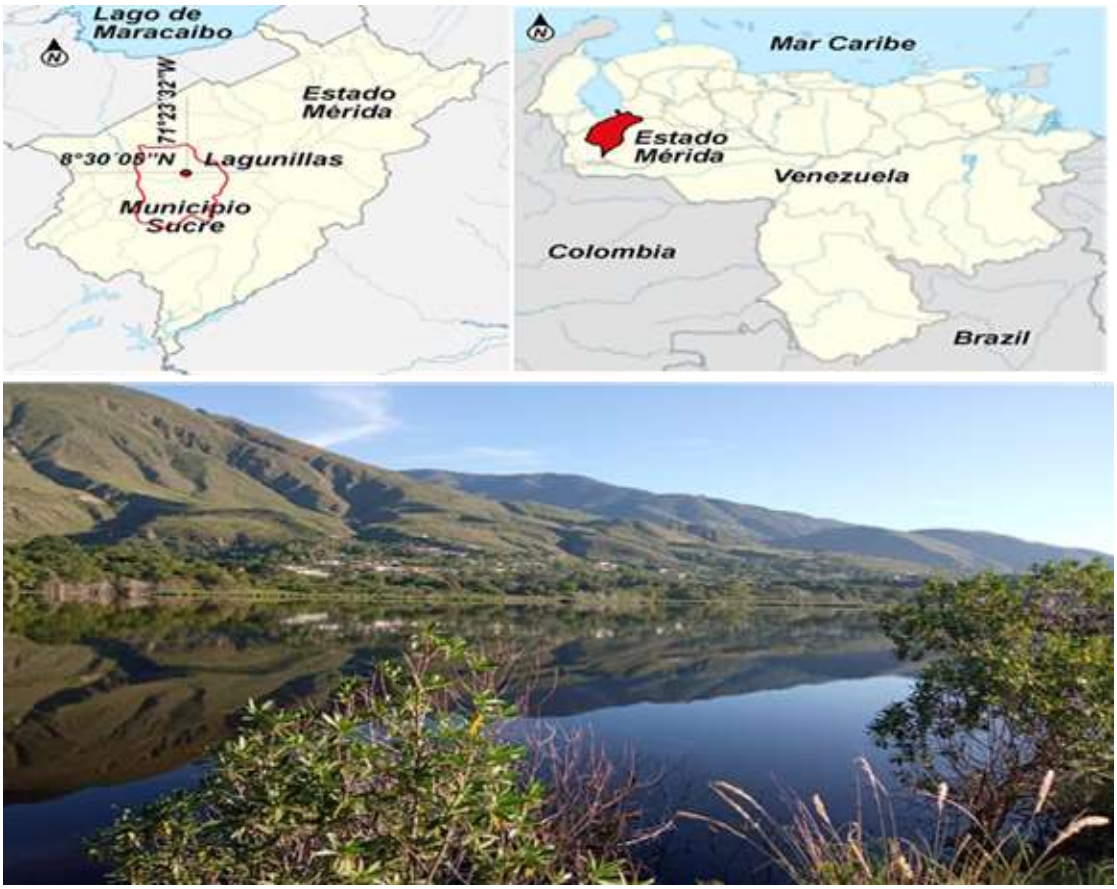


FIGURA 1. Localización del estado Mérida y municipio Sucre donde se localiza el complejo de humedales Monumento Natural Laguna de Urao – Mérida, Venezuela. Fuente: Guerrero y Contreras Miranda, 2018.

El Monumento Natural tiene un área de 29,7 ha., aunado al área de 5 562 ha decretada por el Juzgado con competencia en lo ambiental del estado

Mérida, como zona de protección de zona de recarga de los acuíferos de laguna de Urao (Figura 2).

Las micro cuencas hidrográficas que alimentan al sistema lacustre laguna de Urao tienen un área de 8,37 km^2 y sus altitudes varían desde los 2 200 m en el punto más alto hasta los 1 030 m de la orilla de la laguna. Su forma, vista en planta, es sub triangular, siendo uno de sus vértices el punto más alto y, el lado opuesto, el bloque levantado de la falla que limita el sistema lagunar por el sur. Sus otros dos límites laterales, son dos quebradas o arroyos, la del Molino al oeste y la de San Miguel al este.

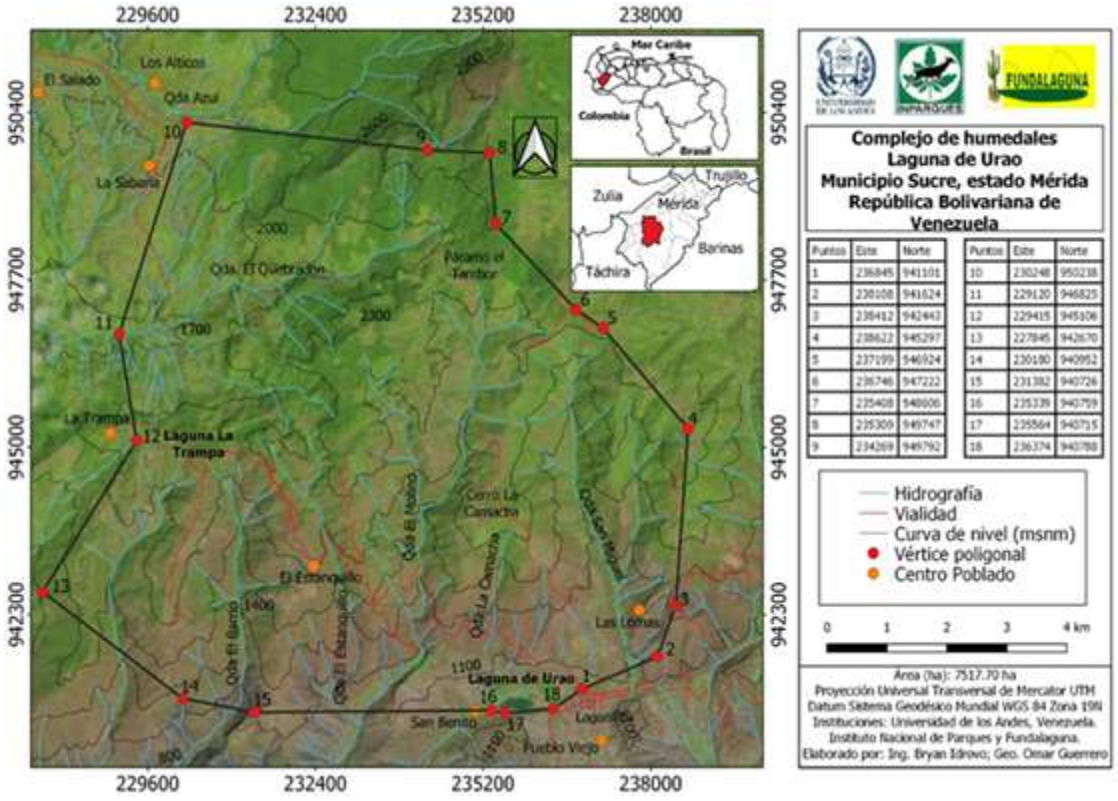


FIGURA 2. Poligonal del área propuesta para complejo de humedales laguna de Urao, decretada por el juzgado con competencia en lo ambiental del estado Mérida, 2018. Fuente: Elaboración propia con datos de INPARQUES y FUNDALAGUNA.

Dentro de la cuenca de drenaje se distingue una zona de relieve en la parte norte y una zona de cuenca deprimida en la parte sur. El límite entre estas dos zonas lo conforman la traza norte de la falla de Boconó, la cual limita por el norte la cuenca de *pull apart* de Lagunillas (Medina et al., 2008; Huerta et al., 2012). Dentro de esta cuenca se distingue la zona de margen dominada por depósitos de abanicos aluviales y la zona lacustre (Figura 3).

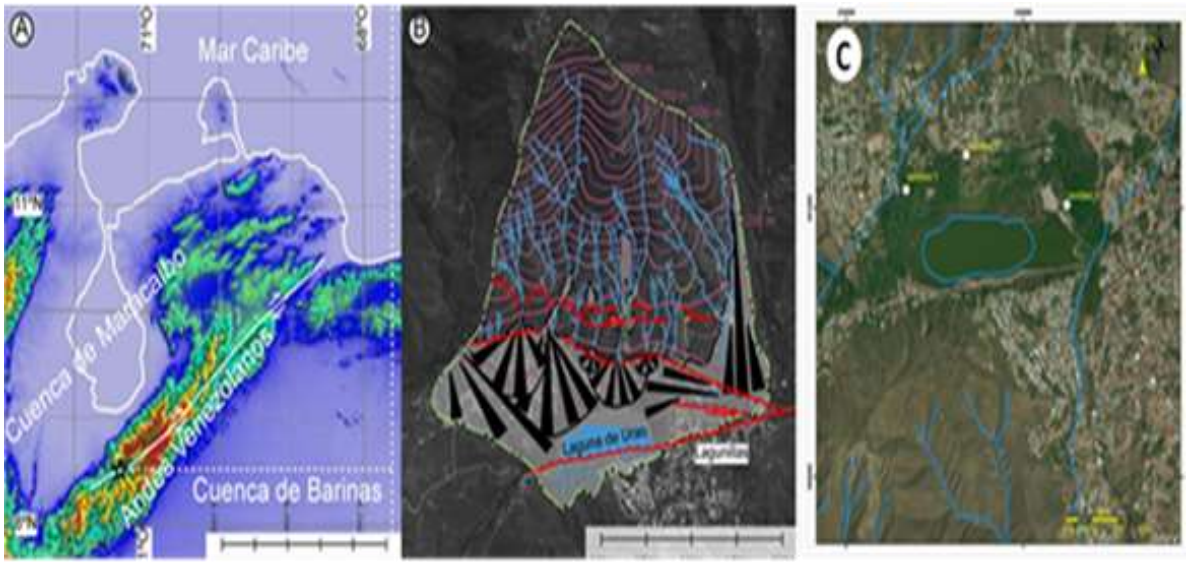


FIGURA 3. Localización de laguna de Urao, dentro del contexto geomorfológico y estructural del occidente de Venezuela. Fuente: Huerta et al. (2012).

1.2. Algunos aspectos geoecológicos del humedal laguna de Urao

El complejo de humedales laguna de Urao, se encuentra dentro de la cuenca media del río Chama, siendo una de sus características geológicas y geoquímicas principales, la de contener sesquicarbonatos de sodio y calcio (Urao o Trona). Además, se deposita en su seno el mineral de gaylussita (*gaylussite*), que es un carbonato sodio-cálcico pentahidratado ($Na_2Ca(CO_3)_2{\cdot}5H_2$), descubierto en Lagunillas (estado Mérida, Venezuela) en 1826 siendo dedicado su nombre al químico francés Joseph Louis Gay-Lussac

por los investigadores Jean-Baptiste Boussingault y Mariano Rivero. Las referencias del mineral pueden consultarse en: Palache, Berman y Frondel (1951); Fahey (1962); Menchetti (1968), citados más recientemente en Klein y Hurbult (1996).

Estos depósitos sedimentarios de sales carbonatadas y sódicas, han sido utilizados desde antaño por los habitantes originarios de esas localidades, como condimento en su dieta diaria, en la elaboración del chimó, definido como: una jalea preparada con hojas de tabaco cocido (Moó), harina de trigo, agua y urao en forma de salitre y como producto medicinal y cosméticos en los baños de medicina terapéutica por sus propiedades farmacéuticas (Burguera, 1983; Huerta et al., 2012; Guerrero y Guerrero Camargo, 2017; Guerrero et al., 2020).

Según la clasificación de humedales de RAMSAR (2006), podemos considerar, que el humedal laguna de Urao, se clasifica como **QSpUZk(b),** eso indica un humedal tipo **Q**: Lagos permanentes salinos/salobres/alcalinos. **Sp:** Pantanos/esteros/charcas permanentes salinas/salobres/alcalinos. **U:** Turberas no arboladas; incluye turberas arbustivas o abiertas (“bog”), turberas de gramíneas o carrizo (“fen”), bofedales, turberas bajas y **Zk(b):** Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos, continentales.

El complejo de humedales Laguna de Urao, permite la existencia de diversos ambientes geoecológicos, que lo transforman en un refugio natural, tanto para la fauna silvestre local y migratoria, como para la flora de esta subregión semiárida. Aranguren et al. (2015), lo describen como un Bosque xerófilo, excluyendo otro tipo de comunidades vegetales. Según características fisionómicas y estructurales, describe cinco formaciones: peladal, *rassicauletum* (tunal o comunidades de *Opuntia* y cardonal), espinares (enanos, medios y arborescentes) y matorrales (altos, medios y bajos) (Figura 4).

FIGURA 4. Vistas del Monumento Natural Laguna de Urao. Fuente: FUNDALAGUNA, 2024.

La disminución del espejo de agua de laguna de Urao y el cambio de su composición fisicoquímica a condiciones más ácidas han representado la disminución drástica de poblaciones de caracoles, peces y aves, además de especies vegetales hidrófilas asociadas a la misma. Por otra parte, representa la pérdida del hábitat para las especies migratorias, que se mueven por el valle del río Chama desde los llanos de Barinas y del sur del lago de Maracaibo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las evaluaciones para determinación geoquímica del humedal Laguna de Urao permitieron evaluar tanto la batimetría como las condiciones de algunos elementos químicos. Se aplicó geoquímica isotópica de agua para determinar su huella geoquímica (2δH-Deuterio y 18/16δO). El equipo

utilizado fue un Espectroscopio Laser de Inyección Automática (analizador DLT-100) del laboratorio de agua y suelo del CIDIAT. También se procesaron muestras con equipo de ICP-AES bajo método titulimétrico en el laboratorio de mineralogía de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes. La batimetría se realizó con equipo de bote inflable y sonda batimétrica marca Himax Sounder y fueron los datos procesados con programa libre QGIS.

2.1 Fase de investigación documental y registro de campo geológico: Lo crítico de su sostenibilidad Geoecológica

El primero reporte de exploración subacuática de la laguna de Urao (Lagunillas, estado Mérida) fue publicado por Drusini et al. (1985) con fines arqueológicos, se realizaron varias incursiones de buceo en la lámina de agua de laguna de Urao, reportando profundidad máxima promedio de 4,5 m., presencia de madera, clavos y restos de un antiguo muelle. Así como, abundante cantidad de sedimentos en suspensión que limitaba la visibilidad (visibilidad máxima promedio 30 cm,) y el espesor de sedimento en el fondo lagunar fue entre 20 y 40 cm,, haciendo imposible cualquier reconocimiento de objetos en el fondo y los estratos fangosos se apoyan sobre capas arcillosas de espesores variables.

La primera batimetría y monitoreo geoquímico de lámina y espejo de agua de laguna de Urao fue realizada por el equipo de la ULA – Grupo Terra en junio 2011, y reporto un área de espejo de agua de 184 618,4 m^2y una profundidad de lámina de agua en promedio de 4,9 m., con depocentro (máximo batimétrico) de 11,75 m., lo que sitúa su fondo en la cota 1 017,7 m s.n.m. (Figura 5).

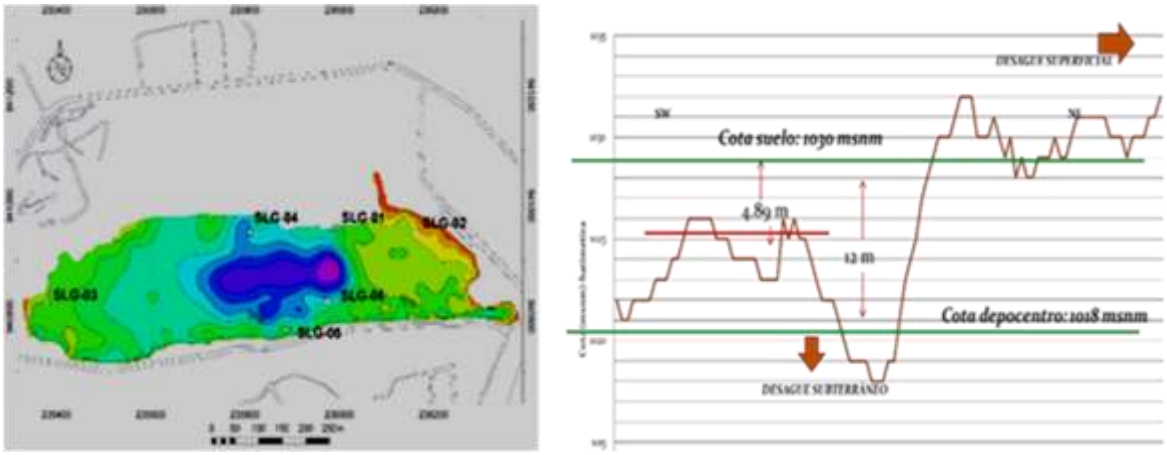


FIGURA 5. Mapa y perfil de batimétrico de laguna de Urao medido en el año 2011. Las cotas del fondo están indicadas en metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.). Se ha considerado que la superficie de la laguna está a 1 030 m. Fuente: Huerta et al. (2012).

Los máximos niveles batimétricos o depocentros, se distribuyen de forma alargada paralela a la dirección de la falla sur con un gradiente marcado de dirección NNO-SSE situado al este, las zonas más profundas. La temperatura media anual en la zona es de 20°C a 1000 m s.n.m. (mientras que, la laguna de Urao se encuentra a 1030 m s.n.m.). La precipitación media anual alcanza como máximo a 500 mm promedio, por lo que se considera, que esta área tiene un clima semiárido seco (Guerrero et al., 2020) (Figura 6).

La estación lluviosa en la región va desde el mes de marzo hasta octubre, siendo estación seca el resto del año. La Sierra de la Culata situada al norte, ejerce un efecto orográfico, impidiendo la entrada de vientos húmedos procedentes del Caribe (Alisios del NE); y los vientos locales provenientes de la Sierra Nevada de Mérida, dificultando así la formación de precipitaciones en la zona formando un paisaje semiárido seco por efecto Föehn (Medina et al., 2001).

REVISTA ECODISEÑO & SOSTENIBILIDAD (RES)
DOI: https://doi.org/10.53766/ECOSOS/ - ISSN-1856-9552
Sede Institucional: Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño ULA-UPV, Laboratorio Nacional de Productos Forestales.
Galpón Principal. Tercer Piso. Avenida Principal hacia Chorros de Milla. Conjunto Forestal. Mérida 5101, Venezuela.
Teléfonos: +58-4121269540 / +58-4247370411. E-mail: revecodisostenibilidad@gmail.com revecodiseno@ula.ve
WEB: http://erevistas.saber.ula.ve/ecodiseno

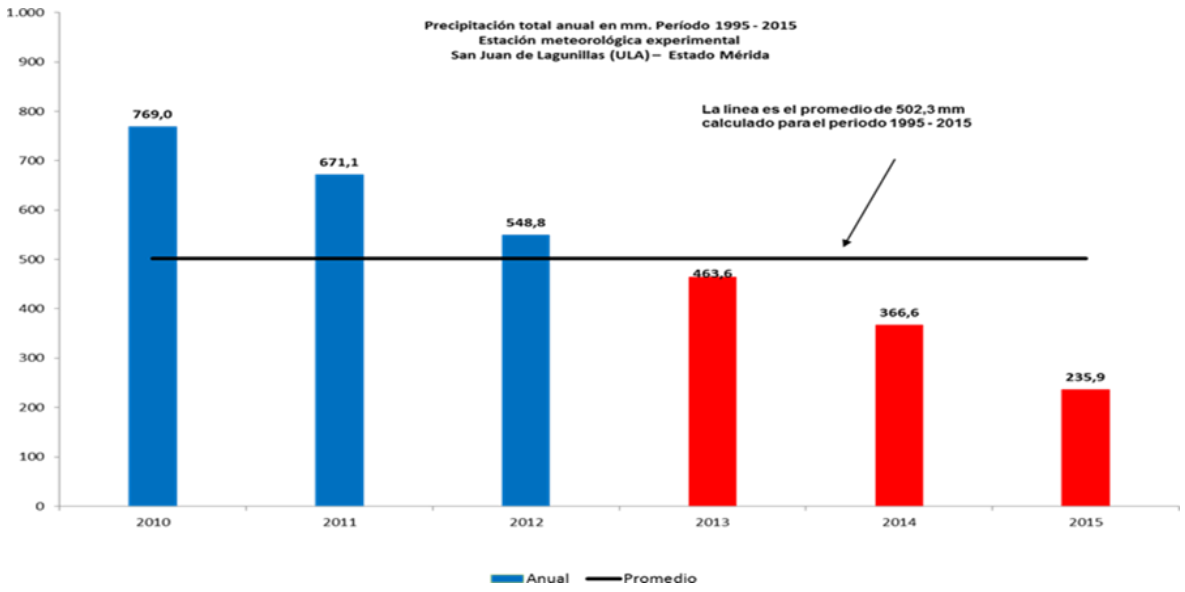


FIGURA 6. Datos de precipitaciones medias 1995 – 2015, se muestra un descenso importante en el periodo 2010 – 2015. Fuente: Elaboración propia basado en datos de la estación meteorológica experimental de San Juan de Lagunillas de la Universidad de Los Andes.

Las mediciones batimétricas realizadas en el mes de agosto del año 2016 (Figura 7), determinaron una disminución significativa de la profundidad de la lámina y del espejo de agua que, al compararse con la obtenida en el año 2011, representa una pérdida del 36,7 %, con una profundidad promedio de lámina de agua de 0,61 m. y depocentro de 1,40 m. aproximados.

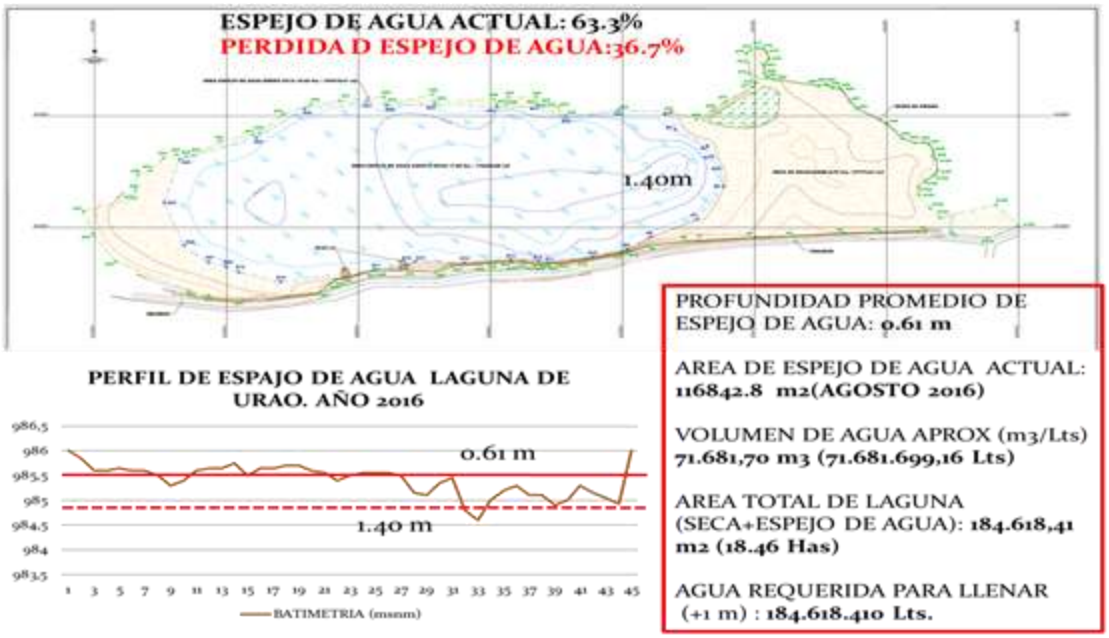


FIGURA 7. Condiciones batimétricas de laguna de Urao, se discrimina el área de espejo de agua (m^2) y la zona seca para lecturas realizadas; enero 2013 (1^{era}), las medidas de agosto 2016 (2^{da}) y junio 2017 (3^{era}), son las medidas iniciales cuando se aplicó las técnicas de recuperación de espejo de agua, a través de reactivación y restauración de los afluentes de sus manantiales. Fuente: Guerrero y Contreras, 2018.

Esta pérdida del área inundada y su eventual exposición a la radiación solar directa, produjo una importante deshidratación del material granular (arcilla + limos), que trajo como consecuencia formación de polígonos de encogimientos y un incremento de porosidad por agrietamiento en los sedimentos, así como un crecimiento de la infiltración y percolación del agua a los niveles inferiores del horizonte de los suelos (Figura 8).

Los resultados promedio de batimetría de la lámina de agua de Laguna de Urao para el año agosto de 2016, indican que existe una situación de balance hídrico crítico (Guerrero y Contreras Miranda, 2018), pues la profundidad

promedio de la lámina de agua fue de 0,61 m., siendo la profundidad batimétrica mayor (depocentro) de 1,40 m. Mientras que, el volumen de agua estimado fue de 71 681,70 m^3 (71.681.699,16 l.).

FIGURA 8. Áreas expuestas por retiro del espejo lagunar antes del inicio de los trabajos de recuperación en el año 2016. Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Considerando las condiciones geoecológicas presentadas en los apartados anteriores, se plantea la aplicación de un protocolo de evaluación geológica de campo para realizar un diagnóstico que nos permitiera establecer medidas de mitigación, en principio se propuso un plan de recuperación del espejo y lámina de agua de laguna de Urao: fundamentado en que la crisis es un proceso cíclico.

Debido a la situación de crisis de balance hídrico y la pérdida del espesor de lámina y espejo de agua de la zona inundada de la laguna de Urao, se

procede a localizar fuentes de agua (manantiales) y evaluar del sistema hidrogeológico en la zona (Figura 9). Aplicando medidas de mitigación para disminuir el impacto negativo e hidratar las zonas secas de los alrededores de la laguna, a través del siguiente procedimiento:

a) Localizar y evaluar los aportes de caudales naturales. Fueron medidos en los siete (7) puntos de manantiales adyacentes a laguna de Urao (desviados para otros fines por las viviendas, que habitan en las cercanías de la laguna). Se registran para mediciones realizadas en los años 2016 y 2017, un caudal promedio de 6,61 litros/s. Para periodos secos (enero–marzo), la disminución se estima en un 43% del caudal para periodos de lluvias (Tabla 1).

FIGURA 9. Localización de los manantiales que suministran agua al sistema de laguna de Urao. Fuente: Elaboración propia a partir de imagen Google Earth (2023). Manantiales: 1. Pozo los invernaderos; 2. Pozo vivero Luis Terán; 3,4 y 5. Los Cocos; 6. Finca Familia García; 7. Fundación del Niño.

b) Estimular el ascenso del nivel freático de las zonas secas. Se estimó un área de 67 775,61 m^2. A través del dragado de material en área de 30 m. x

10 m. y profundidad de 1 m. (Figura 10), con el propósito de extraer un volumen de 300 m^3 de material sedimentario.

TABLA 1. Mediciones de caudal promedio realizados en los manantiales que surten a laguna de Urao para los meses de agosto (2016) y septiembre (2017). Fuente: Elaboración propia.

Agosto 2016				Septiembre 2017		
Medidas (promedio)	**Tiempo (s.)**	**Litros (l)**	**Caudal promedio (l/s.)**	**Tiempo (s.)**	**Litros (l)**	**Caudal promedio (l/s.)**
1	8,00	13,5	1,69	8,00	13,5	1,69
2	10,45	18	1,72	10,50	18,00	1,72
3	3,57	4,83	1,36	5,46	8,60	2,93
4	17,56	2,94	0,17	27,15	3,00	0,28
					Total Q (l/s):	6,61

c) Estos espacios (calicatas). Fueron rellenados con agua proveniente de las fuentes y manantiales, que contienen agua de las mismas propiedades fisicoquímicas. Con el propósito de nivelar la mesa de agua o nivel freático en el subsuelo a través de la hidratación y posterior relajación de los sedimentos (limos + arcillas esencialmente motmorillonitas sódicas), incrementando el espacio disponible para almacenar más agua.

d) Resultados obtenidos de los sondeos eléctricos verticales. Permitieron determinar las siguientes características en el subsuelo de las adyacencias de laguna de Urao (Figura 11):

d.1) Se obtuvieron cuatro (4) horizontes de sedimentos y un basamento metamórfico. Los horizontes de sedimentos corresponden a; estrato de gravas y arenas secas, arenas saturadas, arcillas y acuífero somero.

d.2) La profundidad del acuífero somero se localiza a cinco metros (5 m), de la superficie del suelo. Pero se estima que el acuífero más profundo

está limitado por arcillas e interrumpido por el estrato de gravas y arenas, por lo que se estima que toda la unidad está saturada con agua.

d.3) La profundidad del basamento se estima entre 21 – 30 m., con respecto al nivel del suelo.

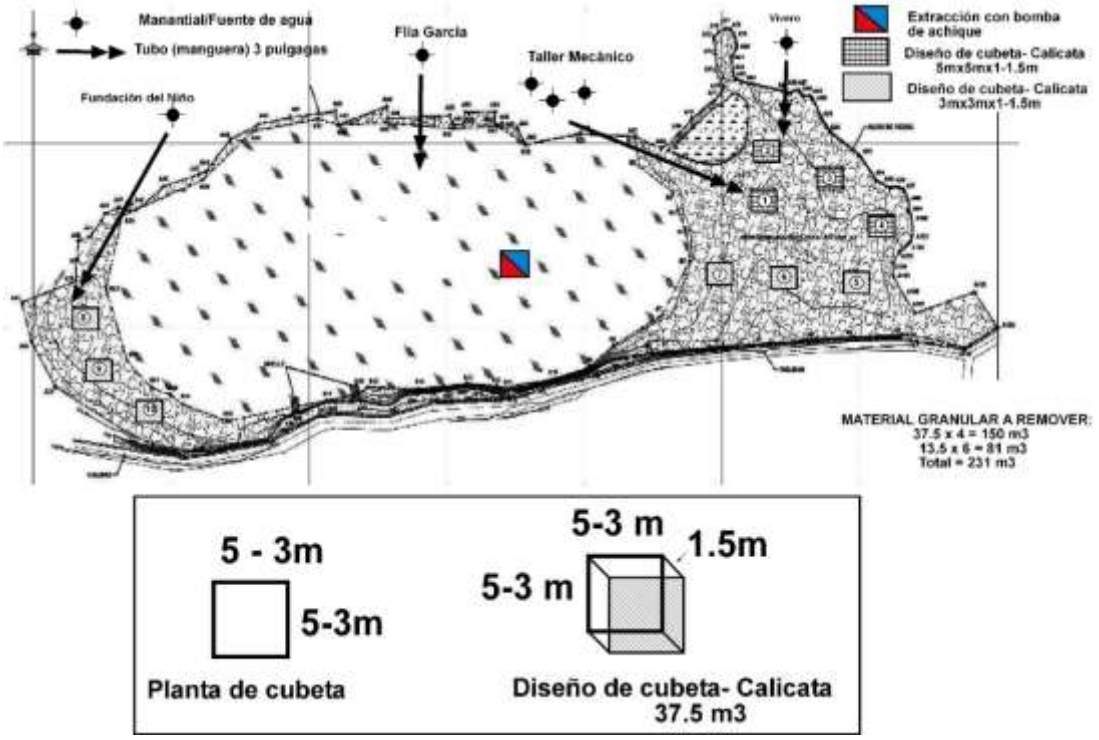


FIGURA 10. Laguna de Urao: propuesta dragado selectivo con calicatas para estimular el ascenso del nivel freático y mejorar la hidratación de los sedimentos, diseño de dique-toma, puntos de manantiales y localización aproximada de cubeta de llenado. Fuente: Elaboración propia.

d.4) Realizar las gestiones a corto y mediano plazo de la construcción de una perforación de agua subterránea exclusiva para el llenado de la laguna de Urao, la cual debe estar bajo la supervisión del INPARQUES; además se requiere que se instale una estación meteorológica digital para medir las variables climáticas, colocar en diferentes sitios de la

laguna de Urao reglas de medición de aforo, para conocer el nivel del espejo de agua y controlar los periodos secos.

e) Aplicar la normativa sobre monumentos naturales para establecer los cambios de usos actuales no permitidos a la que está siendo sometida los sectores aledaños a Laguna de Urao, que han producido efectos de pérdida de porosidad por compactación de las zonas, contaminación de las aguas y desvió de las aguas de los manantiales para otros usos no autorizados, así como, la extracción no controlada de aguas subterráneas para usos agropecuarios en las partes altas de los sectores La Camacha, San Miguel y La Calera.

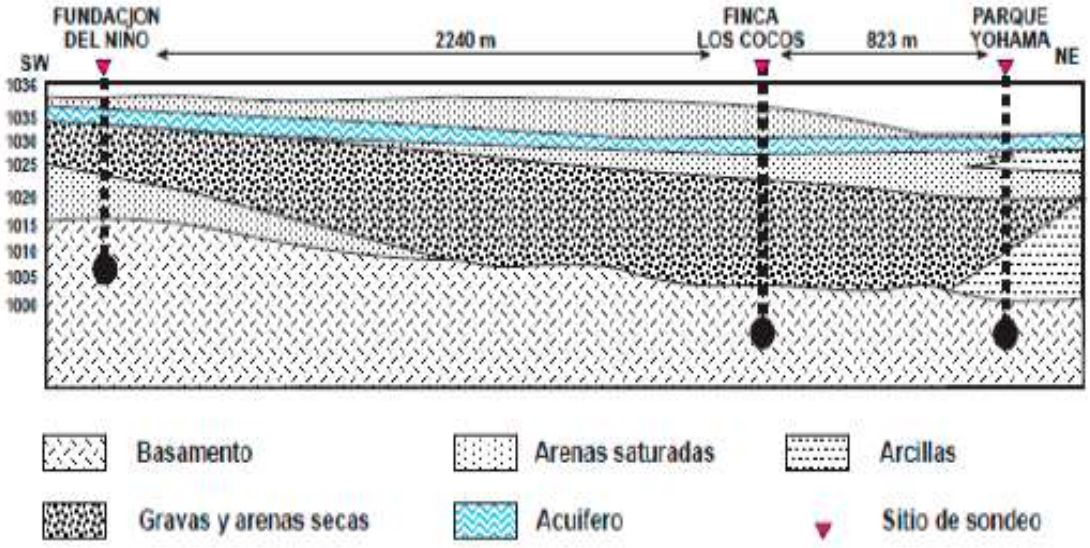


FIGURA 11. Resultados e interpretación de los sondeos eléctricos verticales realizados en la adyacencia de la laguna de Urao. Fuente: Elaboración propia.

3.1. Crisis sostenible del balance hídrico: las batimetrías de los años 2019 y 2023

La batimetría realizada en septiembre año 2019 (mes húmedo), mediante la toma de un total de 50 puntos de muestreo de manera aleatoria sobre el cuerpo lagunar tratando en lo posible de mantener cierta cercanía con los puntos de coordenadas correspondientes a las mediciones batimétricas realizadas en el año 2016 (Figura 12).

Los resultados batimétricos arrojan una profundidad promedio de lámina de 72,12 cm. (0,72 m.). Mientras que, la profundidad máxima fue de 2,10 m. Estos valores estiman que la profundidad promedio de la lámina de agua, se incrementó en 11 cm. con respecto al levantamiento batimétrico efectuado el año 2016. Mientras que, la profundidad máxima se incrementó en 70 cm. al pasar de 1,40 m. obtenida en el año 2016 a 2,10 m.

FIGURA 12. Puntos de coordenadas para la determinación de la batimetría. Nótese que los puntos de mayor profundidad se encuentran hacia el extremo Este. Fuente: Google Earth, (2018). Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados demuestran que, las actividades de dragado selectivo y extracción de material sedimentario con saturación de agua proveniente de los manantiales aledaños, desarrolladas desde el año 2017 en aras de la

recuperación del espejo lagunar del Monumento Natural Laguna de Urao, generaron efectos positivos de manera sostenida.

La campaña de mediciones batimétricas y monitoreo geoquímico de agua, realizadas en octubre de 2023, arrojaron como resultados una profundidad máxima de lámina de agua (depocentro batimétrico) de 2,30 m. y profundidad promedio de lámina de agua de 1,21m. El área estimada de espejo de agua 198 492 m^2. Siendo el volumen estimado de agua máximo: 456 531,6 m^3 para el embalse y volumen estimado de promedio: 240 175,32m^3. El tratamiento cartográfico de los datos batimétricos, nos permiten determinar los siguientes aspectos adicionales del relieve interno de Laguna de Urao (Figura 13);

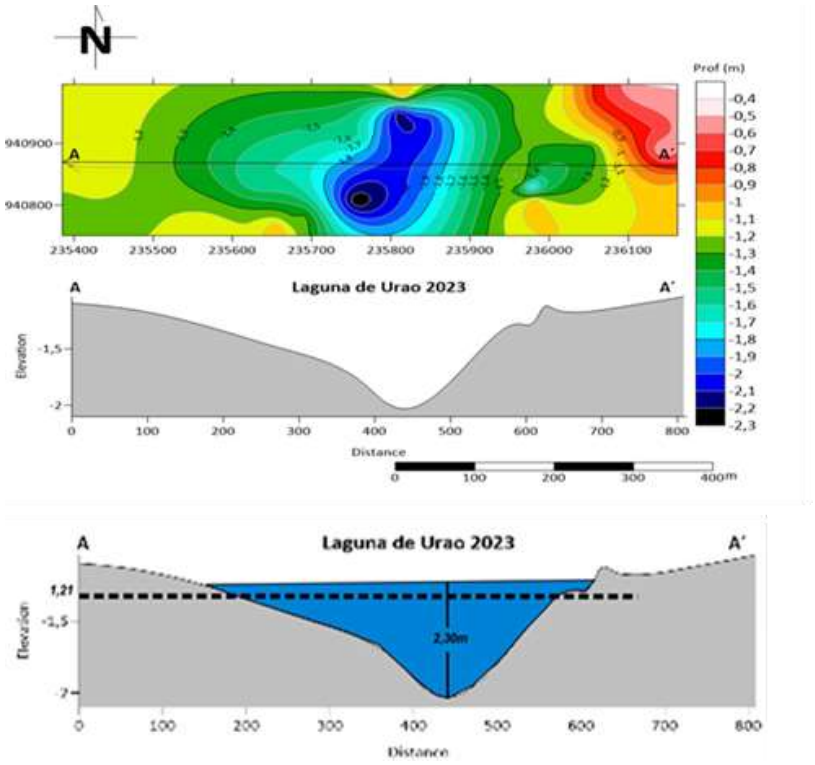


FIGURA 13. Esquemas y perfiles de la batimetría de la laguna de Urao. Profundidad máxima 2,30 m. y profundidad promedio 1,21 m. Fuente: Elaboración propia.

Considerando que la profundidad promedio de la lámina de agua de la laguna de Urao es de 1,21 m., la misma no es sostenible para el periodo de sequía (enero – marzo), debido a elevada evapotranspiración en la zona.

Con el propósito de mitigar efectos de pérdida de espejo y lámina de agua y similares a los ocurridos en los años 2015 – 2016 y mantener, tanto el espejo como la lámina de agua con niveles hídricos ecológicamente mínimos para conservar el ecosistema, se recomienda:

a) Hacer inspección de los manantiales existentes en la zona norte de laguna de Urao (siete manantiales; (Figura 7), los mismos deben ser despejados y direccionado al espejo de agua de la laguna de Urao.

b) Eliminar los usos del suelo actuales no acordes con la normativa establecida para la conservación y protección de los monumentos naturales.

c) Reactivar la extracción selectiva de material de sales de Urao con técnicas de utilizada por los artesanos de las sales de Urao o con aplicación de la realizada en las zonas descubiertas de la laguna de urao para los años 2016-2017 (Figura 14).

d) Se estima 3 gramos de sal de Urao por litro de agua, dato importante para extraer material de sales de urao, y disminuir la sedimentación en el fondo lagunar, pues la sedimentación y colmatación de este material granular y la materia orgánica, disminuyen sustancialmente el espacio disponible para la acumulación y mantenimiento del agua y de esta manera mitigar el impacto de la sequía.

Las mediciones batimétricas de la lámina y espejo de agua en la laguna de Urao, realizando una comparación de las mediciones realizadas en el periodo 2011-2023, se expone en la tabla 2.

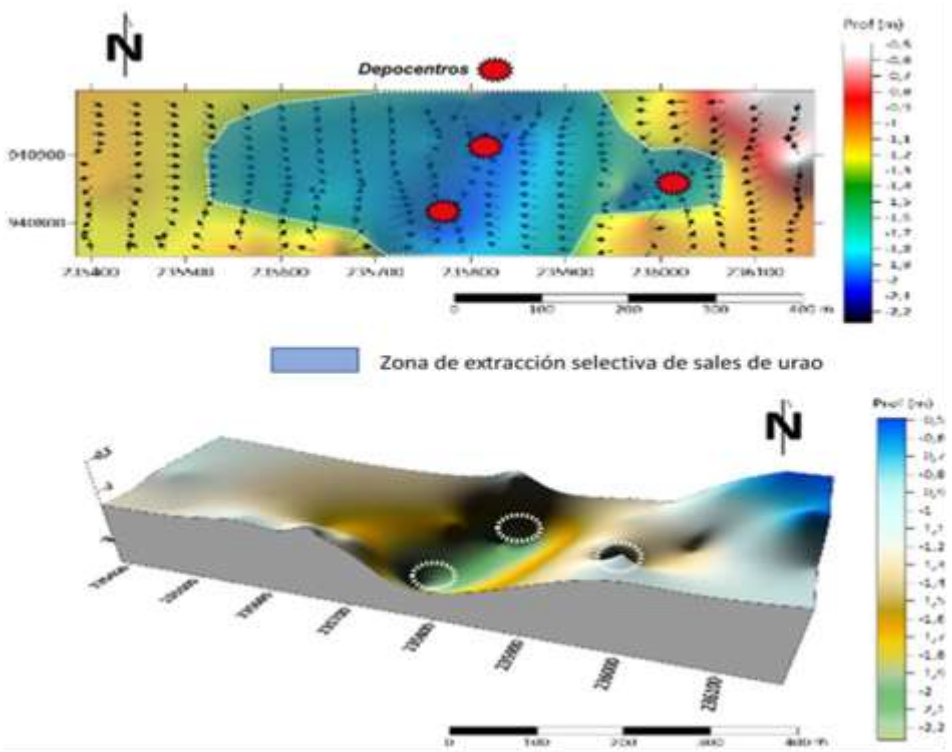


FIGURA 14. Localización de los depocentros batimétricos de laguna de Urao y zona estimada de extracción selectiva de sales de urao. Fuente: Elaboración propia.

TABLA 2. Datos comparativos de las variaciones batimétricas de lámina y espejo de agua de Laguna de Urao 2011 – 2023. Fuente: Elaboración propia.

Año de observación	Profundidad promedio de lámina de agua (m)	Depocentro máximo (m)	Área de espejo de agua (ha).
2011	4,9	11,75	18,46
2016	0,61	1,40	11,68
2019	0,72	2,10	11,30
2023	1,21	2,30	24,38

3.2. Composición Geoquímica del Agua de la Laguna de Urao: Sostenibilidad en Mengua

El primero análisis de la composición mineral de laguna de Urao fue realizado por Rivero y Boussingault en el año 1824, según los primeros ensayos, se puede considerar la presencia de urao (trona), como un carbonato de sodio puro; por consiguiente 68,48 partes, que deja el urao después de su calcinación, no pueden ser sino de carbonato de sodio privado de agua; lo que da 41,20 de sosa y 27,28 de ácido carbónico. Se ve pues, que el urao está compuesto de: ácido carbónico: 0,3900; sosa: 0,4122; agua 0,1880 y materias extrañas 0,0098. Pérdida 1,0000.

Según Klaproth (1943, en Baroni Urbani, 1989), analizó un carbonato de sodio que viene de la provincia de Sukena, cerca de Fézzan en África, y tiene mucha analogía con el urao de la laguna de Urao, como se puede apreciar en su composición química (Tabla 3), pues esta sal contiene más ácido carbónico, que el carbonato y menos que el bicarbonato.

TABLA 3. Resultados de los ensayos químicos en Urao y Trona según Klaproth (1943).

Composición química	Urao	Trona
Acido	0,3900	0,3900
Carbónico	0,4122	0,3800
Sosa	0,1880	0,2300
Agua	0,0098	0,0000
Pérdida	1,0000	1,0000

Drusini et al. (1985), realizaron ensayos de espectroscopia por fluorescencia de rayos X (EDS, XRF) y análisis de microscopio de luz polarizada y microscopia electrónicos (SEM Cambridge stereoscan 250) del mineral de urao. Los resultados se presentan en la tabla 4.

TABLA 4. Resultados del análisis químico de laguna de Urao.
Fuente: Drusini et al. (1985).

Composición química	Urao X	Urao Y
Na_2O	60	67,6
SiO_2	2,3	-
Cl	1	3
K_2O	0,7	0,7
CaO	3,5	1,5
MnO	Trazas	-
FeO	0,1	0,2
BrO	100 ppm	100 pm
SrO	200 ppm	-
ZrO	-	500ppm
P	Trazas	Trazas

Los análisis fueron realizados por el Laboratorio LARSA de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, en el mes de abril del año 2012, sobre análisis fisicoquímico del agua de la laguna de Urao realizado por Huerta et al. (2012); se demuestra que la precipitación de los elementos químicos contenidos en el agua de dicha laguna, es la responsable de la sedimentación del complejo de sesquicarbonatos de sodio y, por ende, se acuña un origen hidrogeoquímico por migración subterránea de aguas con altos contenidos de minerales de calcio, sodio, potasio y magnesio existentes en unidades geológicas (Paleozoicas, Jurásicas y Cretácicas), que conforman la vertiente derecha del Sistema Laguna de Urao y corresponde con la distribución hidroquímica expuestas en la tabla 5.

TABLA 5. Resultados de los análisis fisicoquímicos del agua de la Laguna de Urao (abril, 2012). Fuente: Huerta et al. (2012).

Parámetro	LURAO1-0212	LURAO2-0212	LURAO3-0212	LURAO4-0212	(Unidad)	Método Analítico
Cloruros	83,4 ± 0,34	86,81 ± 0,34	84,76 ± 1,50	22,47 ± 0,68	mg/L	Método Titulimétrico
Alcalinidad Total	764,75 ± 3,99	770,07 ± 9,31	748,79 ± 3,99	335,16 ± 2,17	mgCO3/L	
Alcalinidad Fenolftaleínica	210,14 ± 2,66	228,76 ± 10,64	204,82 ± 7,98	-	mgCO3/L	
Sulfatos	17,01 ± 1,78	28,49 ± 1,12	22,82 ± 1,54	18,29 ± 0,01	mg/L	
Sodio	341,05 ± 0,22	339,84 ± 0,34	341,41 ± 0,66	99,73± 0,14	mg/L	ICP-AES
Magnesio	11,48 ± 0,01	11,20 ± 0,02	11,66 ± 2x10-3	5,64 ± 4x10-3	mg/L	
Potasio	12,73 ± 0,01	12,95 ± 6x10-4	14,61 ± 0,01	5,68 ± 1x10-3	mg/L	
Calcio	10,85 ± 0,02	10,87± 0,02	11,00 ± 0,02	52,50± 0,03	mg/L	
Silicio	24,60 ± 0,02	24,79 ± 0,06	24,34 ± 0,04	12,12 ± 0,02	mg/L	

El monitoreo físico - químico de las aguas de Laguna de Urao in situ, se realizado en 2016, con sonda multiparamétrica portátil para medir calidad de agua Eureka Manta+, se determinó un color marrón amarillento, el pH varía entre 9.2 (febrero, mes seco) y 9.6 (julio, mes húmedo). La temperatura del agua, en superficie, es de 28°C en febrero y 29°C en julio, sin cambios importantes en profundidad. Un dato importante medido *in situ*fue la concentración de Ca^{2+}, que varía entre unos 5 y 42 ppm de febrero a junio según registros del año 2016; mientras que, el Na^{+}, varía entre 40 y 260 ppm, para el mismo periodo.

La última revisión geoquímica del agua de laguna de Urao, realizada en octubre de 2023 (Tabla 6) en el laboratorio de análisis físico-químico de agua del CIDIAT - ULA, arroja resultados de agua con dureza (mg/L CaCO3) medianamente dura, alcalinidad que se encuentra dentro del rango de aceptabilidad según las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos/ Gaceta Oficial de Venezuela Extraordinario 5.021 del 18 de diciembre de1995.

TABLA 6. Resultados parámetros químicos en muestra de agua. Fuente: Laboratorio fisicoquímico de agua. CIDIAT-ULA.

Parámetros Químicos	Muestra (S5)	Muestra (S17)	Muestra (S22)	Muestra (S30)	Promedio	Límite o rango máximo
Dureza Total (mg/L CaCO3)	186,6	182,3	193,6	195	189,4	500 (mg/L CaCO3)
Alcalinidad (mg/L CaCO3)	99	96,01	110	105,33	102,6	30<Alcalinidad<200**
HCO-3 (mgCaCO3/L)	77,98	95,66	109,995	105,328	97,2	
CO=3 (mgCaCO3/L)	22,08	16,318	27,713	16,366	20,6	
Calcio (mg/L)	67,82	69,84	68,54	64,21	67,6	250-100 (mg/L)**
Magnesio(mg/L)	69,14	68,19	70,25	69,52	69,3	50-30 (mg/L)**
Cloruros (mg/L)	45,33	62,6	69,36	59,34	59,2	600 (mg/L)

*Decreto 883 Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de Los Cuerpos de Agua y Vertidos o fluentes Líquidos
** Determinaciones realizadas siguiendo a Standard Methods for Examination of Water and wastewater. Edition 21.

Los valores de conductividad eléctrica son considerablemente altos, indicando de esta manera que los sedimentos lacustrinos tienen altas concentraciones de sales, las cuales están disueltas en el agua estudiada (Tabla 7).

Los valores de metales como calcio y magnesio están en concentraciones significativas, y el cloruro está en valores dentro del rango de aceptabilidad, según la norma. Por lo observado en el lugar, el grado de turbidez es alto debido a constante biodegradación de materia orgánica proveniente de la gran cantidad de vegetación invasora. Esta vegetación obstruye las fuentes alimentadoras de agua y la recirculación por lo que disminuye la oxigenación, creando zonas de estancamiento produciendo olores y una capa negra de material vegetal en descomposición (Tabla 8).

TABLA 7. Resultados de parámetros físicos obtenidos para fuente de agua estudiada. Fuente: Elaboración propia.

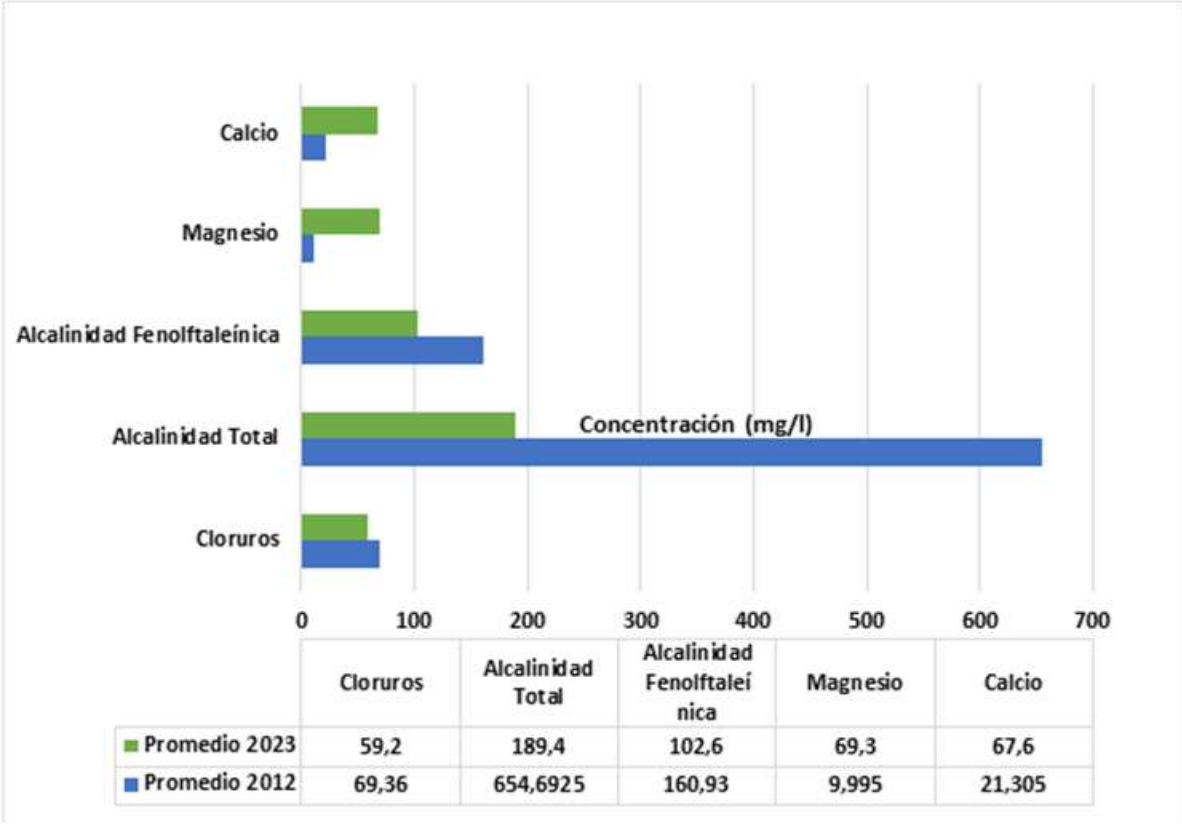
Parámetros Físicos				Límite o rango máximo	
Muestra	**T °C**	**pH**	**Cond. µs/cm**	**pH**	**Cond. µs/cm**
S5	21,63	7,63	456,36	*mínimo 6,0 y máximo 8,5	**400-600
S17	21,70	7,56	423,00	*mínimo 6,0 y máximo 8,6	**400-600
S22	21,69	7,84	489,36	*mínimo 6,0 y máximo 8,7	**400-600
S30	21,98	7,82	456,67	*mínimo 6,0 y máximo 8,8	**400-600
Promedio	**21,75**	**7,71**	**456,35**		

*Decreto 883 Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de Los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos
** Determinaciones hechas siguiendo Standard Methods for Examination of Water and wastewater. Edition 21.

TABLA 8. Resultados de sólidos encontrados en la fuente de agua estudiada. Fuente: Elaboración propia.

Parámetros Físicos					Límite o rango Máximo	
Muestra	**Sólidos Totales (mg/L)**	**Sólidos Disueltos Totales (mg/L)**	**Sólidos suspendidos Totales (mg/L)**	**Sólidos Sedimentables (mg/L)**	**Sólidos Totales (mg/L)**	**Sólidos Disueltos Totales (mg/L)**
S5	90,370	32,450	56,900	1,020	1500-1000	1000-500
S17	27,597	89,230	103,090	0,980		
S22	33,180	86,170	110,840	0,630		
S30	40,333	87,654	107,320	1,200		
Promedio	**47,870**	**73,876**	**94,538**	**0,958**		

Un análisis comparativo entre los resultados de los estudios fisicoquímicos del agua de la laguna de Urao en 2011 y 2023, para algunos parámetros revelan una disminución sustancial en la actualidad de los parámetros químicos de alcalinidad, cloruros y un incremento del contenido de magnesio y calcio (Figura 15).



	Cloruros	Alcalinidad Total	Alcalinidad Fenolftaleínica	Magnesio	Calcio
Promedio 2023	59,2	189,4	102,6	69,3	67,6
Promedio 2012	69,36	654,6925	160,93	9,995	21,305

FIGURA 15. Comparación en el contenido de algunos parámetros químicos de los resultados obtenidos en 2012 y 2023.Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las variaciones del espejo, lámina de agua y composición química del agua almacenada en laguna de Urao, reflejan un proceso de sostenibilidad crítico del proceso de recuperación ambiental de este ecosistema único en los Andes venezolanos y el país.

La presencia de altos contenidos de sílice, magnesio y de sólidos (disueltos y sedimentables) en las aguas determinan un proceso de colmatación importante, que alimentada con el proceso de erosión laminar superficial y sub superficial, producen una pérdida importante de los niveles batimétricos y por ende, una disminución sustancial de la capacidad de almacenamiento del agua del sistema palustre del humedal laguna de Urao. Así como una pérdida de las condiciones de alcalinidad por incremento sostenido del SiO_2 (óxido de sílice) y sílice (Si), que ocasionan una progresiva disminución de la cristalización de la *gaylussita* (carbonato sodio-cálcico pentahidratado, fórmula $Na_2Ca(CO_3)^2{\cdot}5H_2$) por el isomorfo analcima (alumino silicato de sódico hidratado, fórmula $Na(Si_2Al)\ O_6{\cdot}H_2O$), aspecto químico que refleja las condiciones de sostenibilidad crítica del sistema hidrogeoquímico de laguna de Urao.

Recuperar las condiciones fisicoquímicas y geoecológicas ideales del monumento laguna de Urao, requiere de:

- Aplicar medidas de mitigación involucran aspectos de mejoramiento de la cobertura vegetal en las zonas de fuentes de aguas hidrogeológicas localizadas en la trampa y a lo largo de las cuencas altas y medias de las micro cuencas de las quebradas El Molino y San Miguel.
- Aplicar la normativa legal vigente que protege los monumentos naturales y corregir el descontrol urbano que existe en la zona de La Camacha y San Benito.
- En general, los cambios de usos de suelo actuales no permitidos a la que están siendo sometidos los sectores aledaños a laguna de Urao,

han producido efectos de pérdida de porosidad por compactación de las zonas, contaminación de las aguas y desvío de las aguas de los manantiales para otros usos no autorizados; así como, la extracción no controlada de aguas subterráneas para usos agropecuarios en las partes altas de los sectores La Camacha, San Miguel y La Calera.

5. AGRADECIMIENTOS

A los miembros de la Fundación Salvemos a Laguna de Urao-FUNDALAGUNA y a los profesionales de los laboratorios de mineralogía, sedimentología y análisis de agua y suelo de las Facultades de Ingeniería, Ciencias y CIDIAT de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aranguren, A., Costa, M., Guevara, J., y Carrero, O. (2015). Phytobiogeography of the species associated with dry intermountain valleys in the Chamariver middle basin, Mérida, Venezuela. Acta Botoànica de Venezuela, 38, (1): 63-85.

Baroni Urbani, C. 1989. Phylogeny and behavioural evolution in ants, with a discussion of the role of behaviour in evolutionary processes. Ethology Ecology and Evolution 1:137-168.

Burguera, R. (1983). Aguas termales del estado Mérida. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida, Venezuela. 71 p.

Clarac de Briceño, J. (1981). Dioses en exilio: representaciones y practicas simbólicas en la cordillera de Mérida, ensayo antropológico. Editorial FUNDARTE. Colección Rescate (Fundación para la Cultura y las Artes del Distrito Federal. Caracas, Venezuela.

Drusini, A. Businaro, F. Calliari, I. y Furlan, C. (1985). Informe sobre la exploración subacuática de la Laguna de Urao, Mérida. Espectroscopia por fluorescencia de rayos x del urao, microscopia electrónica del urao. Boletín Antropológico N°14. Enero - mayo 1988. http://saber.ula.ve/boletin_antropologico/

Guerrero, O. Toro, R. Uzcátegui, S. M. Jégat, H. y Cerrada M. (2020). Evaluación de la recarga de laguna de Urao con aplicación de técnicas isotópicas. Lagunillas, estado

Mérida, Venezuela. Revista Latino-Americana de Hidrogeología. Número especial. 102-117.

Guerrero, O. y Contreras Miranda, W. (2018). Laguna de Urao: ¿Monumento Natural? Revista Digital Fundación Academia de Mérida. Año 1, (1), 5. Mérida, Venezuela. 12 p.

Guerrero, O. y Guerrero Camargo, G. (2017). Aguas termo-minerales del estado Mérida Venezuela: Aspectos geoquímicos y proyección geoturística. Publicaciones de la Universidad de los Andes Mérida – Venezuela. 104p.

Huerta, P., Guerrero, O., Cuevas, R., Armenteros, I., F. A. Audemard, F. A. y Paredes, J. (2012). Caracterización sedimentológica de Laguna de Urao (Andes de Mérida, Venezuela). Geo-Temas, 8, 6: 12 - 17.

Klein, A. y Hurbult, B. (1996). Manual de mineralogía de Dana. 4a Edición. Reverta. 392p.

Madroñero, C., y Rojas, E. (2018). Estudio Geológico e Hidrogeomorfológico de las Microcuencas Hidrográficas que componen el Sistema Laguna de Urao, con la finalidad de Recuperar su Espejo de Agua Actual. Parroquia Lagunillas, Municipio Sucre del estado Mérida. Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Geólogo (Tutor: Dr. Omar Guerrero). ULA, Mérida-Venezuela.

Mazzarino, M. (2000). Clay and evaporite-mineralogy in the Holocene of Venezuela. Master Thesis, Universite de Massachusetts Amherst, Amherst. 82p.

Medina, J., Reyes, Y., y Guerrero, O. (2001**).** Estudio Geológico Aplicado a la Exploración de Aguas Subterráneas en el Área de Lagunillas. Municipio Sucre del estado Mérida. Tesis de Grado para Optar al Título de Ingeniero Geólogo. ULA, Mérida-Venezuela (Trabajo inédito). 172 p.

Meneses Pacheco, L., Gordones, G. y Clarac de Briceño, J. (2007). Lecturas antropológicas de Venezuela. Consejo Nacional de la Cultura (CONAC): Universidad de los Andes, Museo Arqueológico Gonzalo Rincón Gutiérrez.

PROFORCA. (2002). Caracterización Ambiental del Monumento Natural Laguna de Urao; Estudio base para la Formulación del Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso. Productos Forestales CA PROFORCA.

RAMSAR. (2006). Manual de la Convención de RAMSAR: Guía a la Convención sobre los Humedales (RAMSAR, Irán, 1971), 4a. edición. Secretaría de la Convención de RAMSAR (Gland, Suiza).