Horizonte Académico
Revista Multidisciplinaria
Recibido:09/05/2025 Aprobado:10/06/2025

DOI: https://doi.org/10.70208/3007.8245.v5.n2.172

Análisis de variables meterorologicas en los humedales de la region de santa cruz de la sierra

Roberto Carlos Vera
robertormc@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-3335-9832
Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Evangélica Boliviana
Santa Cruz, Bolivia

Paola Mercedes Parra Rojas
https://orcid.org/0000-0001-7219-0040
Carrera de Ciencias Ambientales
Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno (UAGRM)
Santa Cruz, Bolivia

Daniel Andrés Galleguillos Pacheco
https://orcid.org/0009-0002-7993-2582
Carrera de Mecánica, Facultad Politécnica
Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno (UAGRM)
Santa Cruz, Bolivia

María Virginia Córdova Aramayo
https://orcid.org/0009-0004-0083-1178
Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca
Sucre, Bolivia

Isabel Delgado Janko
https://orcid.org/0009-0002-4807-030X
Facultad de Ciencias de la Salud
Universidad Autónoma "Tomas Frías" (UATF)

RESUMEN

Con el paso del tiempo la vulnerabilidad del clima no solo es por la consecuencia de la industria, sino también por la densidad poblacional que se evidencia en las ciudades capitales, donde las infraestructuras civiles de gran magnitud como los edificios, tiene su impacto de alterar las variables meteorológicas originando un microclima que desencadena en efectos en la biodiversidad. Ante esta situación se planteó el objetivo de Analizar las variables físicas de la meteorología y su interacción con los humedales de la región de Santa Cruz de la Sierra para observar los riesgos que se originan por causa del incremento de la densidad de edificios. Para esta situación se utilizó una metodología explicativa para observar los cambios que desencadenan en una zona donde la interacción del clima tiene influencia en los humedales. Los resultados evidencian que la región de Santa Cruz de la Sierra existe un incremento en la temperatura que supera el promedio anual, donde se observó el volumen perdido por la evaporación es de 1.77 m3/día en el humedal del CURICHI-UAGRM que se encuentra en el Distrito 1. Las conclusiones proponen aspectos técnicos que se deben aplicar a la conservación del pequeño humedal CURICHI-UAGRM donde el incremento de los grandes edificios, pueden seguir afectando a este humedal por las interacciones de las variables físicas

Palabras clave: humedales, meteorología, crisis climática, evaporación, UAGRM

Analysis of meteorological variables in the wetlands of the santa cruz de la sierra

ABSTRACT

Over time, climate vulnerability is not only a consequence of industry but also due to the population density evident in capital cities, where large-scale civil infrastructure, such as buildings, alters meteorological variables, creating a microclimate that impacts biodiversity. Given this situation, the objective was to analyze the physical variables of meteorology and their interaction with wetlands in the Santa Cruz de la Sierra region to observe the risks arising from increased building density. For this situation, an explanatory methodology was used to observe the changes they trigger in an area where climate interaction influences wetlands. The results show that in the Santa Cruz de la Sierra region there is an increase in temperature that exceeds the annual average, where the volume lost by evaporation was observed to be 1.77 m3/day in the CURICHI-UAGRM wetland located in District 1. The conclusions propose technical aspects that should be applied to the conservation of the small CURICHI-UAGRM wetland where the increase in large buildings may continue to affect this wetland due to the interactions of physical variables.

Keywords: wetlands, meteorology, climate crisis, evaporation, uagrm

INTRODUCCIÓN

Desde una perspectiva de análisis de la crisis del climática en el cual atravesamos, es un fenómeno global que está generando situaciones extremas que afectan principalmente a la biodiversidad y por ende al ser humano. Uno de los efectos más resaltantes que se observaron en estos últimos años es la disminución de los niveles de agua dulce, mismo que afectan al rendimiento de los cultivos, esto se debe también a la escasez de lluvias y/o sequías prolongadas. De acuerdo con documentos científicos se evidencia que: existen olas de calor extremas que afectan a la población especialmente en estos últimos años (2020 al 2024), mismos que afectan a la biodiversidad y al aumento del nivel del mar son consecuencias directas de este fenómeno. Estos efectos adversos son un claro llamado de atención que requiere acciones inmediatas por parte de todos los habitantes del planeta para mitigar sus efectos en nuestro entorno (Naciones Unidas-CEPAL, 2019).

De esta manera la disminución en la disponibilidad de agua dulce es especialmente preocupante en regiones que ya enfrentan el estrés hídrico, afectando tanto a comunidades humanas como a ecosistemas naturales, donde la agricultura, que depende en gran medida de patrones climáticos predecibles, se ve particularmente afectada, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria, la flora y fauna, que sufren cambios en los hábitats, con especies con la extinción (CSIC, 2020). Por lo tanto, a pesar de existir difusión en las redes social sobre la importancia de preservar los recursos naturales, las acciones de la educación y la sensibilización son consideradas como una herramienta fundamental para promover prácticas sostenibles que aseguren la conservación de estos recursos, considerando que la sostenibilidad de la vida en nuestro planeta y el bienestar de todas las personas a nivel mundial.

Es así que la preservación de los recursos naturales se ha convertido en una prioridad urgente. Científicos e investigadores climatológicos han documentado que el planeta Tierra, ha experimentado varias fases de calentamiento y enfriamiento a lo largo de su existencia. Sin embargo, la velocidad y magnitud del cambio climático actual son alarmantes y en gran medida, atribuibles a las actividades humanas. Las emisiones de gases de efecto invernadero, la deforestación, la urbanización descontrolada y la sobreexplotación de los recursos naturales están acelerando este fenómeno a un

ritmo sin precedentes, exacerbando sus consecuencias (CSIC, 2020). Desde el 2022, las Naciones Unidas celebran el Día Mundial de los Humedales, reconociendo la fragilidad de los ecosistemas, pese a solo cubrir cerca del 6% de la superficie terrestre, el 40% de todas las especies vegetales y animales viven o se reproducen en ellos, donde alrededor del 85% de los humedales presentes en 1700 se habían perdido en el año 2000 (ONU, 2022). Es evidente que la acción del hombre se ha transformado en una amenaza para la subsistencia de estos ecosistemas, donde los resultados de investigaciones evidencian que los humedales en todo el mundo, se redujo un 40%, los cuales afectan a las fuentes de agua para las poblaciones humanas y la biodiversidad (CyT-UNLP, 2024). Resaltando que de los humedales dependen, en distinta medida, la provisión de agua para la recarga y descarga de acuíferos; la protección de recursos de agua dulce contra la salinización; la mitigación de inundaciones; el control de la erosión; y la estabilización de microclimas, que se producen en las grandes ciudades.

Según Aponte y colaboradores (2021), observaron una variabilidad de los valores en la emisión gases de efecto invernadero, lo cual se explica por las diferencias en el tipo de suelo y la edad de la vegetación, donde se encontraron valores promedio del carbono, de: $6,27x10^{-6}$ petagramos de carbono (PgC) en el gramadal; $6,08x10^{-6}$ PgC en el juncal; $5,58x10^{-6}$ PgC en el totoral; $3,06x10^{-6}$ PgC en el totoral mixto; $9,79x10^{-7}$ PgC en el juncal mixto y $1,40 \times 10^{-7}$ PgC mostrando la importancia de los humedales en el carrizal de la región de costas de Perú (Aponte, Corvacho, Lertora, & Ramírez, 2021). Otro documento muestra la distribución espacial y la diversidad de los tipos de humedales en América del Sur, basados en la integración de fuentes de datos espaciales, los resultados indican que los humedales cubren el 13,5% de Argentina continental, destacando la importancia de las bases de datos locales existentes, para el mapeo de humedales de un país o región (Fabricante, Minotti, & Kandus, 2022). Con estos aspectos, los humedales son fundamentales para la mitigación de la crisis climática, ya que almacenan más carbono que cualquier otro ecosistema, lo que ayuda a disminuir el calentamiento global. Una demostración de ello es que la Convención de Ramsar de 1971 entró en vigor en Chile el 27 de noviembre de 1981 y 40 años después, de los miles de humedales existentes en nuestro territorio, solo 16 sitios están designados como Humedales de importancia Internacional (sitios Ramsar) y en otros

países son también de mucha importancia (Abarca Riveros, 2023). También es importante considerar que, a nivel global se ha perdido un 64% de los humedales desde 1970, donde la expansión del desarrollo urbano y la acuicultura son algunas de las principales causas de la degradación de estos ecosistemas, especialmente de los manglares, que cumplen una función clave en la mitigación del cambio climático. En Costa Rica, los humedales bajo inventario representan el 6.01% del territorio nacional, y aunque el país ha avanzado en su protección, con el 49% de los humedales bajo alguna categoría de área silvestre protegida, persisten desafíos, como la expansión agrícola, la ganadería y la sedimentación. En el plano mundial, la Convención Ramsar ha sido clave en los esfuerzos de conservación de humedales, con más de 2.57 millones km^2 protegidos. Sin embargo, se necesitan esfuerzos adicionales para mitigar las amenazas a estos ecosistemas, especialmente en el contexto del cambio climático. (Corrales Chaves, 2024)

En Bolivia y en específicamente para la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, la preservación del ecosistema local es crucial, tomando en cuenta que enfrenta desafíos significativos debido a la variabilidad climática, que incluye sequías prolongadas, las quemas indiscriminadas que afectan directa e indirectamente, los cuales derivan en efectos de los cambios en los patrones de precipitación. Estos cambios no solo afectan la biodiversidad y los recursos naturales, sino que también tienen un impacto directo en la agricultura, la seguridad alimentaria y la salud pública (Naciones Unidas-CEPAL, 2019). En este contexto, se ha identificado una problemática específica en la preservación del área de los humedales que se encuentran en esta ciudad capital. Tome en cuenta que los humedales que existen en el oriente boliviano y especialmente en la ciudad capital de Santa Cruz de la Sierra, están siendo alterada en sus microsistemas ecológicos, considerando que estas áreas son vitales que actúa como reguladores del clima local, generando una biodiversidad y además de ser fuente para la purificación del aire y la evapotranspiración (Fabricante, Minotti, & Kandus, 2022). La degradación de estas áreas, están siendo afectadas debido a la expansión urbana, la contaminación y la crisis climática, amenazan constantemente su capacidad originando un deterioro y/o pérdida de estos humedales, que no solo implica un deterioro ecológico significativo, sino también un impacto negativo en la calidad de vida de

los habitantes de Santa Cruz de la Sierra. Por lo que los humedales, desempeñan un papel crucial en la regulación del clima, la purificación del agua, el control de inundaciones y la recarga de acuíferos, además de ser hábitats vitales para una gran diversidad de especies (ONU, 2024). Bajo esta situación es importante considerar que las acciones emprendidas en la región de Santa Cruz de la Sierra, evidencian que la gestión sostenible de recursos naturales está en constante peligro por el crecimiento urbano, donde con el tiempo la contaminación afecta al ambiente saludable (GAMSZ, 2023). Es debido a esta situación que se planteó analizar las variables meteorológicas de manera retrospectiva para evidenciar el impacto de la crisis climática que está afectando a los humedales en esta región de Santa Cruz de la Sierra (Vera R. , 2017).

Bajo este argumento, se consideran las bases de los modelos matemáticos que permiten analiza los fenómenos en áreas de estudio considerando las variables dinámicas que existen en las corrientes atmosféricas (Lezaun, 2024). Por lo que se consideran las fuerzas reales que actúan e interaccionan sobre la región, en base a; el empuje debido a las diferencias de presión, la fuerza gravitatoria y la fuerza de rozamiento de la atmosfera del aire, considerando os principios físicos de la atmosfera:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \boldsymbol{g} - 2\boldsymbol{\Omega} \times \boldsymbol{v} + \boldsymbol{F}_r \qquad (1)$$

Donde; p, es la presión en la parcela de aire,

ρ, la densidad de la parcela o área de estudio

$\boldsymbol{\Omega}$, la velocidad angular de la rotación terrestre.

En esta ecuación (1), el primer miembro es la aceleración de área o parcela respecto al sistema de referencia que gira con la Tierra y el segundo contiene las fuerzas por unidad de masa: el primer término es la fuerza gradiente de presión, el segundo la aceleración gravitatoria aparente g, que agrupa la aceleración gravitatoria real y la centrífuga. Además, $-2\boldsymbol{\Omega} \times \boldsymbol{v}$, es la aceleración de Coriolis y la fuerza de rozamiento de la parcela del aire con el resto de la atmósfera. Es importante también tomar en cuenta, el segundo principio general de la ley de conservación de la masa, tomando en cuenta que cuando se observa una región o parcela de aire con su movimiento, la masa de la parcela se conserva, que se refiere al principio de continuidad expresada por:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \boldsymbol{v} \cdot \nabla \rho = -\rho \nabla \cdot \boldsymbol{v} \quad (2)$$

Por lo tanto, para completar estas ecuaciones se considera el principio de la conservación de la energía, considerando la zona o parcela de aire en estudio, tomando en cuenta que el calor suministrado en esta región puede aumentar la energía interna con el fin de producir trabajo de dilatación.

$$C_v \frac{dT}{dt} + \rho \frac{d\alpha}{dt} = Q \quad (3)$$

Donde: Cv, Calor especifico del aire a volumen constante.

T, es la temperatura.

P, densidad del aire

$\frac{d\alpha}{dt}$, cambio de la expansión térmica en relación al tiempo.

Q, la tasa de calor por unidad de masa emitida (absorbida) debido a la condensación (evaporación), congelación (fundición), calentamiento solar y calentamiento infrarrojo.

Estas propiedades permiten analizar y comprender el fenómeno de la atmosfera en una determinada parcela. A esto también es importante considerar la evapotranspiración (E_{vt}), la misma que puede estimarse usando la fórmula de Penman-Monteith, la que describe: La evapotranspiración (E_{vt}) representa la pérdida de agua por evaporación desde el suelo y transpiración de las plantas, está relación matemática combina factores climáticos (radiación solar, temperatura, humedad, viento) y características del cultivo para estimar E_{vt} con precisión, integrando energía disponible y resistencia aerodinámica en un modelo físico-matemático ampliamente utilizado en hidrología y agricultura (Jaque & Aguirre de Cárcer, 2002).

$$E_{vt} = \frac{0.408 * \Delta * (R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T - 273} * u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma * (1 - 0.34 * u_2)}$$

Donde:

Δ, Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C),

R_n, Radiación neta (MJ/m2),

G, Flujo de calor del suelo (MJ/m2),

γ, Constante psicrométrica (kPa/°C),

T, Temperatura promedio (°C),

u_2, Velocidad del viento a 2 m (m/s),

e_s-e_a, Déficit de presión de vapor (kPa).

En base a esta descripción, la misma que nos permite tener una evidencia científica y técnica que hoy atravesamos, donde la crisis del cambio climático trae serias consecuencias a nivel regional siendo este un desafío global que afecta profundamente a los ecosistemas naturales, y la preservación de los recursos naturales se ha convertido en una preocupación urgente en todo el mundo. En este contexto, el estudio se enfocó en el análisis del comportamiento de las variables meteorológicas más principales para observar el impacto que ocurre en los humedales dentro del Distrito 1 de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra. Tomando en cuenta que estos humedales están siendo degradados por la creciente demanda de construcción de obras civiles con infraestructuras grande que influyen a estas.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de los principios de conservación de humedales en diferentes partes del planeta y tomando en cuenta que estas zonas o áreas son regiones que permiten controlar los gases de efecto invernadero generados por las diferentes acciones industriales y comerciales generadas por el ser humano. Ante esta situación la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, es una zona tropical con una gran riqueza natural, como también considerada una gran zona industrial, donde su población ha tenido un crecimiento exponencial que sobrepasa los 2.5 millones de habitantes, donde las políticas ecológicas, están bien definidas bajo un marco legal con leyes y normas que permiten la preservación. Sin embargo, a pesar de todas estas directrices existe una influencia de las obras civiles que están afectando a los humedales de esta ciudad, es así que de esta manera se consideró los siguientes procedimientos para el análisis.

- Observar el comportamiento de la temperatura de superficie para la gestión 2024.
- Identificación de la zona o área de estudio, con imagen satelital utilizando la plataforma Google Earth-Pro.
- Observación del área de influencia con obras civiles en su entorno.

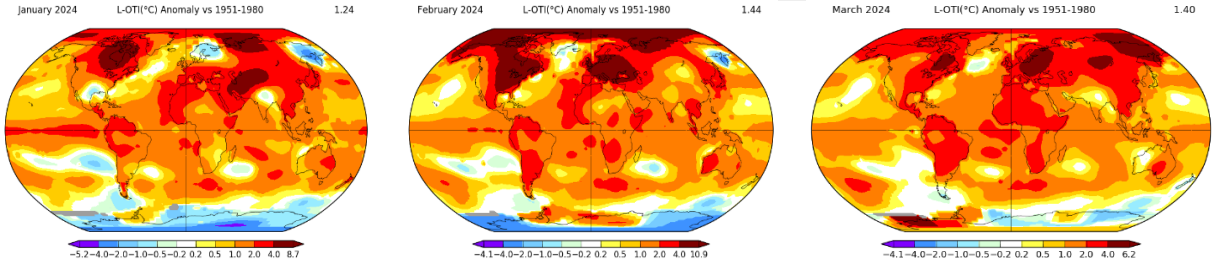
- Análisis histórico de las variables meteorológicas en la región para evidencia el promedio del grado o nivel de evaporación.

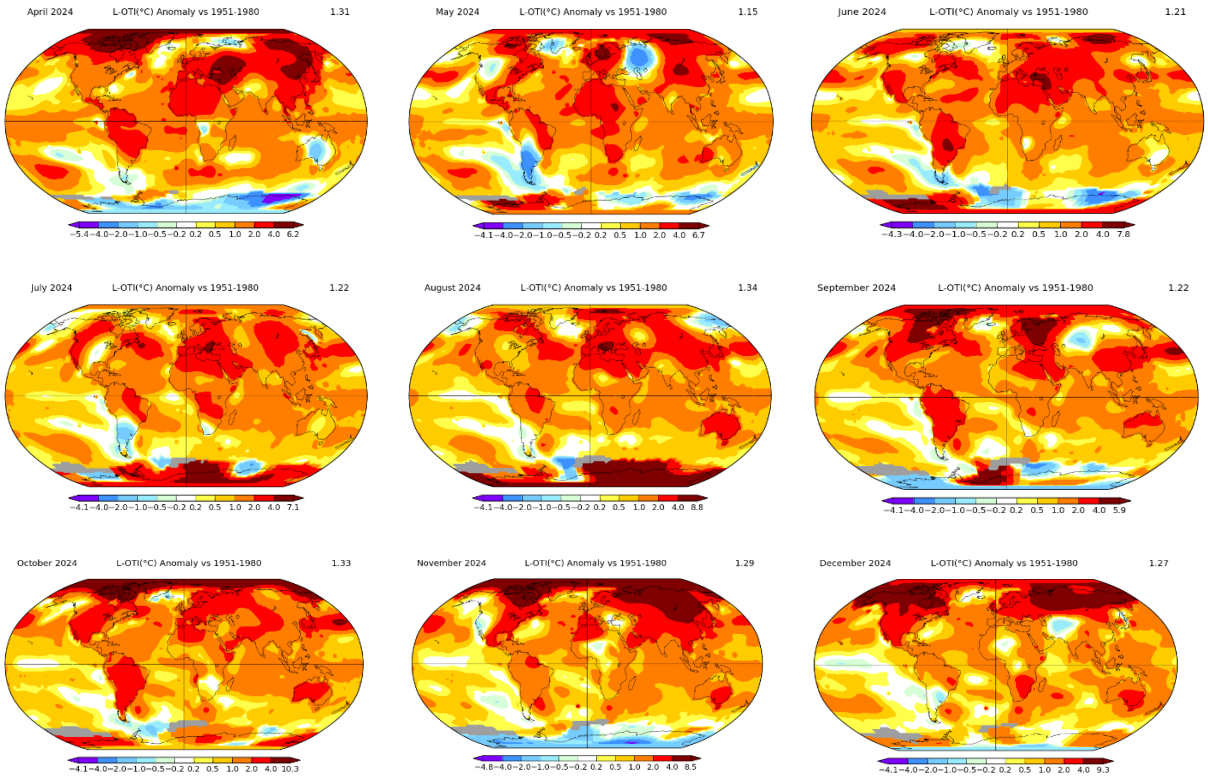
Bajo estos criterios y considerando un enfoque cuantitativo y una metodología explicativa misma que busco comprender las causas y los efectos de los cambios de clima, más allá de simplemente describirlos estas acciones ante las acciones de la crisis climática que ocurren en este tiempo, para ello también se hace uso de la plataforma del conjunto de imágenes y datos sobre temperatura (DATASETS AND IMAGES-NASA https://data.giss.nasa.gov/), permitiendo evidenciar el análisis de temperatura superficial del GISS (v4)-NASA. Bajo estos parámetros de evidencia se consideró un corte longitudinal con el fin de observar las anomalías de las variables meteorológicas en esta región.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El fenómeno de comportamiento del clima en todo el planeta siempre ha tenido variaciones, pero a partir del crecimiento industrial y el incremento de la población mundial en las últimas décadas, han originado diferentes comportamientos meteorológicos que afectan directa e indirectamente a todo ser vivo del planeta. Se han demostrado que el incremento de la temperatura en estas décadas pasadas como las que viene seguirán incrementando esto debido a la emisión de gases de efecto invernadero como es el CO_2 (Dióxido de Carbono), CO (Monóxido de Carbono), CH_4 (gas metano) y otros que afectan a la isotropía de las variables meteorológica en diferentes regiones, originando un calentamiento global por esta razón se analizó las anomalías de la temperatura para la gestión 2024, bajo las imágenes satelitales proporcionadas por GISS(v4)-NASA (GISS-NASA, 2024), para observar el comportamiento de la temperatura en la planeta.

Figura 1. Temperatura del aire en la superficie terrestre GISS (v4) 2024





Fuente: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/

Estas imágenes de la figura 1, permiten observar que la temperatura superficial durante el año 2024, basándose en datos del modelo GISS (Goddard Institute for Space Studies) de la NASA, donde las áreas de color rojo son las más intensas y las de color naranja son leves, basados en el promedio histórico, además que las zonas de color azules son las de menor temperatura. Asimismo, estas imágenes permiten comprender los patrones climáticos que suelen ocurrir en todo el planeta y específicamente a la región Bolivia, considerando que en esta región existe una continua deforestación que va creciendo cada año por la población y los famosos chaqueos, que influyen en las variables meteorológica el cual tiene una gran influencia en la región especialmente en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra que afectan a los humedales de esta capital.

Figura 2. Imágenes Satelitales de área ecológica de la ciudad de SCZ (a) y Distrito 1 próximo a la zona ecológica de la ciudad de SCZ (b)



(a)



(b)

Fuente: Google Earth-Pro, 2024

A partir de estas imágenes de la figura 2, se demuestra que la densidad poblacional va creciendo más cada año y con ello se evidencia el incremento de las construcciones de nuevos edificios, los cuales indirectamente afectan a las variaciones del clima y desencadenan un efecto indirecto en los humedales que se tiene en esta región, principalmente en la zona del cordón ecológico, donde la urbanización de estas obras civiles, afectan a los patrones meteorológicos de la región creando microclimas que afectan a la biodiversidad. Por esta razón, observando la particularidad de las áreas de conservación dentro del Distrito 1, donde se encuentra el cordón ecológico denominado *El Curichi la Madre* y otro de menor dimensión que se encuentra en la Universidad Autónoma Gabriel Rene, donde estas áreas o zonas son importantes para el sistema ecológico, identificado que existen amenazas en su preservación como la contaminación ambiental vertida por la mano del hombre, los cuales tienen un aspecto negativo e inciden sobre el equilibrio del clima. Esta situación permitió evidenciar una realidad del contexto bajo la incidencia de los cambios bruscos en el clima que afectan a estas áreas de los humedales, es así que enfocados en el análisis explicativo se analizó la zona del humedal denominado CURICHI-UAGRM, donde las variables meteorológicas y del clima afectan la conservación de la biodiversidad y el equilibrio ecológico de su entorno a causa de las construcciones civiles como son los edificios los cuales originan una mayor difracción de la radiación incrementando la temperatura como también creando una serie de choches de viendo que crean turbulencias fuertes entre el medio de estas edificaciones. Estas acciones inciden sobre estos microsistemas ecológicos, alterando al humedal en sus propiedades

intrínsecas como: aumento de la sedimentación que se da por el calor, aumento en el grado de evaporación, además este minimiza su acción en la regulación del microclima local, es por ello que bajo este análisis el micro humedal de la UAGRM, está en un riesgo elevado para cumplir con las funciones regulatorias que aportan a la regulación en esta zona.

Figura 3. (a) UAGRM, (b) Humedal: Curichi-UAGRM

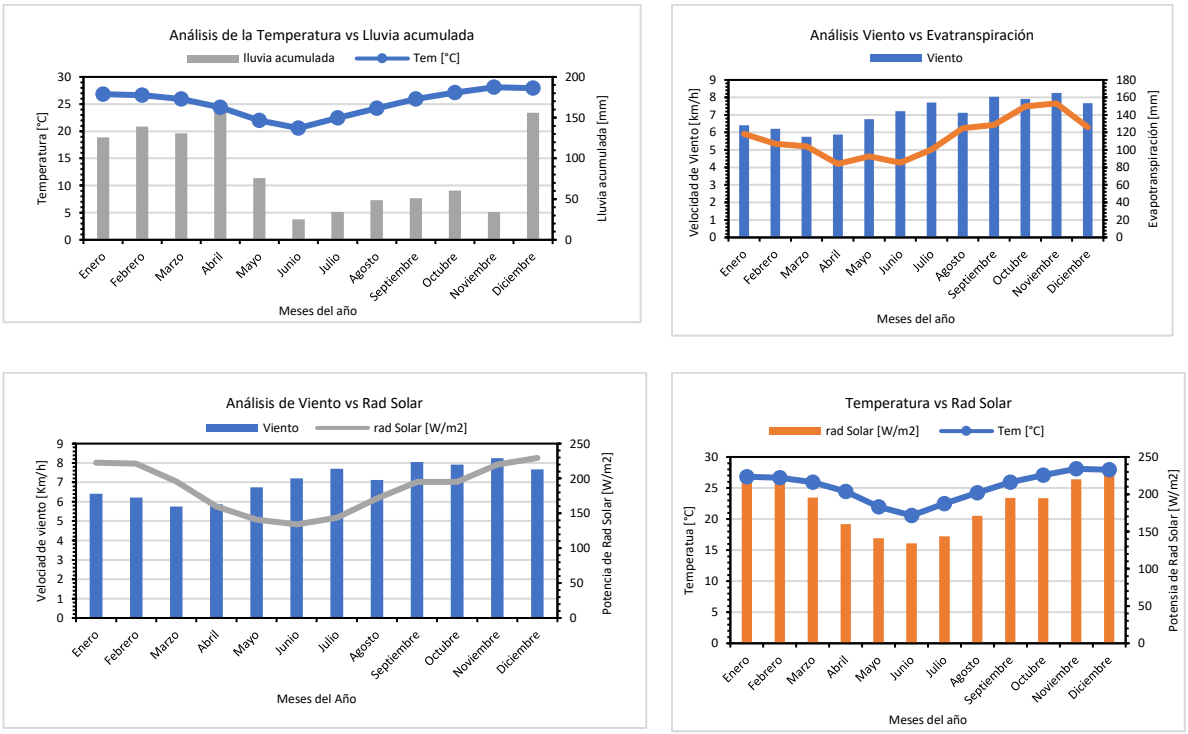


(a) (b)

Fuente: Google Earth-Pro2024

En base a estas imágenes satelitales (figura 3), se evidencia que el micro humedal denominado CURICHI-UAGRM, ubicado dentro del campus universitario de la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno (UAGRM), es un ecosistema que desempeña un papel fundamental en la regulación ambiental permitiendo así el equilibrio ecológico de su entorno. Es importante observar que este espacio natural actúa como un reservorio de agua de manera natural que contribuye a la regulación del microclima local. Sin embargo, los asentamientos de las construcciones civiles están teniendo una gran influencia sobre esta área acelerado y condiciones climáticas cambiantes, donde las especies de flora y fauna, están siendo alteradas a causa de estas edificaciones que originan un microclima generado. Bajo esta situación se realizó un análisis estadístico de las medias en las variables principales de la meteorología, tomando en cuenta estaciones meteorológicas en proximidad a este lugar, de esta manera basados en la información proporcionada por la empresa PROFEL-CLIMA, se tienen los siguientes resultados como una media entre el periodo del 2019 al 2024.

Figura 4. Variables meteorológicas para la región de Santa Cruz de la Sierra promedio de 2019 al 2024

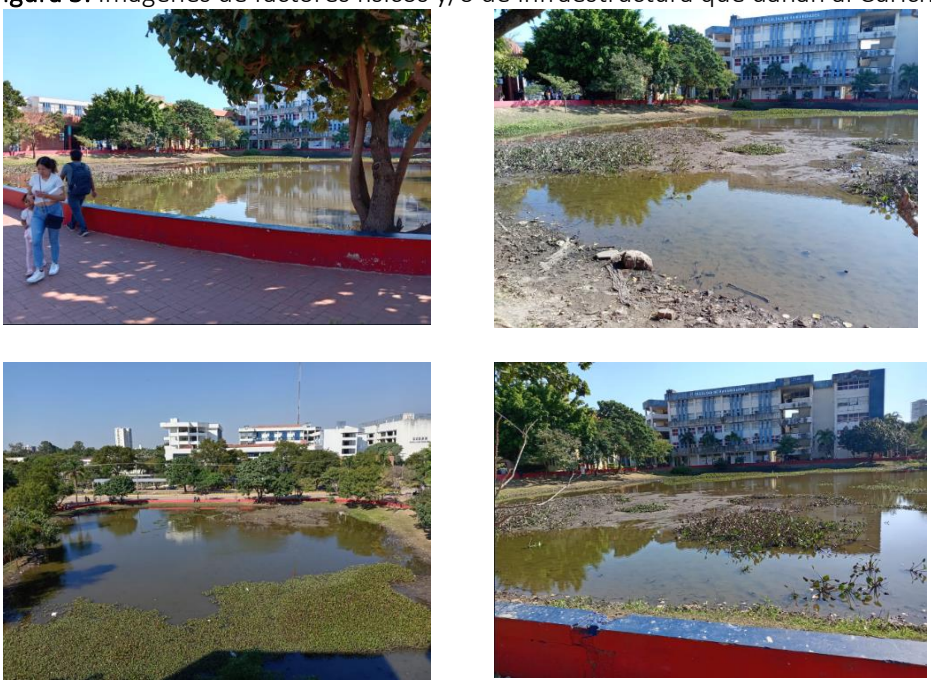


Fuente: PROFEL-CLIMA

Dentro del análisis efectuado en estas gráficas de la figura 4, se evidencia el impacto que tiene la urbanización descontrolada alrededor del campus de la UAGRM, el cual tienen un impacto significativo en el CURICHI-UAGRM. La evidencia de los datos recolectados demuestra que la temperatura en esta zona ha tenido un incremento por las condiciones ópticas de la luz, mismo que tiene una acción directa que provoca el incremento de la temperatura y la sensación de calor, estas acciones físicas originan que la acumulación de lluvia y el grado de evaporación tengan una estadística que se va acumulando temporalmente y además presenta una desviación a lo largo del tiempo durante los meses del año. Asimismo, los datos de la velocidad del viento y la incidencia de la radiación solar en esta zona, muestran que existe una serie de flujos turbulentos que se crean por el choque en la interacción con los grandes edificios que existe en esta área siento que esta origine un choque de temperatura y caiga sobre la superficie del humedal donde se evidencia el incremento de la energía de evaporación y aumentando la sedimentación de suelo o la creación de lodo disminuyendo así el nivel de agua de este sitio lo que altera el ciclo hidrológico del humedal.

Estas evidencias de las variables meteorológicas evidencian la pérdida de áreas de amortiguación, como zonas verdes que rodeaban al Curichi, mismos que incrementó su vulnerabilidad a la contaminación y a los cambios en el flujo de agua, es por ello que existe una fragmentación del ecosistema, causada por la construcción de edificios que tienen este impacto, los cuales han interrumpido las conexiones entre el Curichi-UAGRM y otros ecosistemas cercanos, limitando el movimiento de especies y afectando la biodiversidad. Esta es la explicación a la situación evidenciada en el 2024, la misma que seguirá siendo un tema de análisis de las consecuencias más graves del deterioro del Curichi-UAGRM, con la reducción del nivel de agua, la contaminación y la urbanización que origina la pérdida de hábitats esenciales para muchas especies acrecentados en este humedal, donde las aves utilizaban a este punto como un punto de descanso.

Figura 5. Imágenes de factores físicos y/o de infraestructura que dañan al Curichi-UAGRM



Estas imágenes de la figura 5, evidencia la situación de este microhumedal del Curichi-UAGRM, evidenciando los signos de degradación ambiental, donde los factores físicos y de infraestructura que contribuyen a su deterioro, como acumulación de sedimentos, aguas estancadas y vegetación invasiva, posiblemente debido a la falta de mantenimiento y manejo adecuado. Además, la urbanización circundante y/o en tránsito de estudiantes podría estar afectando indirectamente su capacidad de

retención hídrica y filtración natural, agravando la pérdida de biodiversidad y el equilibrio ecológico. Este fenómeno también está relacionado con actividades humanas que alteran los flujos de agua, contaminación, lo que resalta la urgencia de implementar medidas de conservación y restauración para preservar este ecosistema vital, con base a estas observaciones y tomando en cuenta los datos meteorológicos se considera que:

- **Temperatura y lluvia acumulada:** Se observó una relación inversa entre la temperatura elevada y la escasez de precipitaciones, especialmente entre junio y agosto, donde en estos períodos críticos coinciden con la máxima tasa de evaporación, aumentando la vulnerabilidad del humedal a la sequía. La implementación de sistemas de retención y almacenamiento de agua puede ayudar a mitigar esta pérdida hídrica.
- **Velocidad del viento y evapotranspiración***:* La velocidad del viento, elevada entre julio y septiembre, incrementa la pérdida de agua por evapotranspiración, donde el viento es un recurso energético clave, su uso en el sistema debe equilibrarse con estrategias para reducir su efecto desecante.
- **Radiación solar y temperatura:** La radiación solar, máxima en los meses más cálidos, representa una fuente energética estable pero también contribuye al aumento de la temperatura del agua y suelo, intensificando la evaporación. La implementación de paneles solares flotantes puede reducir este efecto al proporcionar sombra sobre el agua.

Ante esta descripción se realizó el cálculo de la evapotranspiración aplicando la fórmula de Penman-Monteith (anteriormente mencionada), la que representa la pérdida de agua por evaporación desde el suelo y transpiración de las plantas, en esta zona de análisis con parámetros promedios para la región de Santa Cruz de la Sierra considerando los siguientes datos promedios anuales en la zona analizada:

Figura 6. Área de estudio CURICHI-UAGRM y datos promedio recolectados en la zona



Datos calculados:

R_n=15.2MJ/m^2(Radiación neta)

G=0.1MJ/m^2 (Flujo de calor del suelo)

T=28°C (Temperatura promedio)

u_2 =2.5m/s (Velocidad del viento a 2 m)

e_s-e_a =1.2kPa (Déficit de presión de vapor)

γ=0.066kPa/°C (Constante psicrométrica)

Δ=0.188kPa/°C (Pendiente de la curva de presión de vapor)

$$E_{vt}$$

$$= \frac{0.408 * 0188\text{kPa/°C} * (15.2\text{MJ/m2} - 0.1\text{MJ/m2}) + 0.066\text{kPa/°C} * \frac{900}{28°C - 273} * 2.5\text{m/s}\ (1.2\text{kPa}\ )}{0.188\text{kPa/°C} + 0.066\text{kPa/°C} * (1 - 0.34 * 2.5\text{m/s}\ )}$$

$$E_{vt} = \frac{1.75057\text{mm}}{0.3101\text{día}}$$

$$E_{vt} = 5.64\frac{mm}{día}$$

A partir de este resultado particular del humedal en el Curichi-UAGRM, se calcula el volumen de agua perdido por lo cual esto es:

$$V_{perdido} = E_{vt} * A_{humedal.UAGRM}$$

Donde, $A_{humedal.UAGRM,}$ es el área del humedal (m^2)

Para la región del curichi-UAGRM es:

$$V_{perdido} = 0.000564\text{m/día} \cdot 3153m^2$$

$$V_{perdido} = 1.778m^3/\text{día}$$

Considere que este es un valor es extremo que mismo que es debido a las corrientes de flujo de aire cálido del humedal generado o incidente por la energía solar y la refracción de la zona. Por esta razón y

en evidencia de estos resultados, se resalta la importancia de integrar tecnologías limpias en estrategias de conservación, para la protección de este micro ecosistema mismo que con el tiempo puede extinguirse.

CONCLUSIONES

El Curichi-UAGRM constituye un humedal de alta importancia para la biodiversidad, donde el ecosistema desempeña funciones esenciales como la regulación del microclima, mismo que alberga una diversidad biológica significativa que incluye especies de flora y fauna propias de la región, lo que lo convierte en un patrimonio natural valioso para la UAGRM. Sin embargo, el análisis realizado evidenció que este ecosistema enfrenta amenazas significativas principalmente por la interacción de las variables meteorológicas con los grandes edificios que se encuentran alrededor observando la expansión urbana descontrolada, que tiene un impacto en la pérdida de cobertura vegetal y el impacto del cambio climático, factores que comprometen su sostenibilidad a largo plazo.

Se constató que el cambio climático constituye uno de los principales factores que afectan negativamente a los micro-humedales de la región como es el CURICHI-UAGRM, con el aumento de las temperaturas, los patrones irregulares de precipitación y los eventos climáticos extremos, como sequías prolongadas y lluvias intensas, han alterado el equilibrio hídrico del humedal.

Es importante considerar que, desde un punto de vista de la salud ambiental, estos sistemas ecológicos tienen una gran función tanto para la ecología como para la salud de las personas, considerando que estas áreas o zonas son las que permiten controlar la temperatura del medio, como también controlar el exceso de los niveles de polución que se generan los cules pueden derivar en consecuencias para la salud del ser humano.

Ante esta descripción es importante tomar estrategias para la conservación del sistema ecológico donde se deben aplicar proyectos de conservación los cuales mitiguen la contaminación y contribuyan al humedal de esta zona de estudio. Por ello es importante que en esta área se pueda planificar proyectos de sistemas de energías limpias necesarias para la preservación del CURICHI-UARGM permitiendo que

estas acciones fortalecieran la resiliencia del ecosistema frente a las amenazas actuales y futuras, garantizando su sostenibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abarca Riveros, J. (2023). Humedales para el futuro. *Idesia (Arica), 41*(1). doi:10.4067/S0718-34292023000100003

Agencia-EFE. (15 de Septiembre de 2020). *Áñez anuncia la declaración de emergencia por los incendios en el oriente boliviano*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2020, de https://www.efe.com/efe/america/sociedad/anez-anuncia-la-declaracion-de-emergencia-por-los-incendios-en-el-oriente-boliviano/20000013-4343436

Aponte, H., Corvacho, M., Lertora, G., & Ramírez, D. (2021). Reserva de carbono en un humedal del desierto costero de Sudamérica. *Gayana. Botánica*, 184-190. doi:10.4067/S0717-66432021000200184

Banco Mundial. (19 de febrero de 2024). *Actualización sobre la seguridad alimentaria*. Obtenido de https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/brief/food-security-update

CAF. (2017). Recuperado el Septiembre de 2021, de Agua y Saneamiento en el estado plurinacional de Bolivia: https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1081/Agua_y_saneamiento_en_el_Estado_Plurinacional_de_Bolivia.pdf

Cengel, Y., & Cimbala, J. (2012). *Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones.* México D.F.: McGraw Hill.

Corrales Chaves, L. (2024). ¿Estamos perdiendo los humedales más rápido de lo que podemos restaurarlos? *Revista de Ciencias Ambientales, 59*(1). doi:10.15359/rca.59-1.9

CSIC. (6 de Noviembre de 2020). *Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua*. Obtenido de Guia para la ventilacion de Aulas: http://bit.ly/3dStV92

CyT-UNLP. (Marzo de 2024). *Humedales: reservas de vida en peligro de extinción.* Obtenido de https://unlp.edu.ar/investiga/especiales/humedales-17562-22562/

De Nevers, N. (1998). *Ingeniería de Control de la contaminacion del Aire.* México: McGRAW Hill.

Elmer Leandro Valencia Bautista, R. J. (2022). Una revisión del suministro de energía renovable y las tecnologías de eficiencia energética. *Polo del Conocimiento, 7*(4), 2012-2046. doi:10.23857/pc.v7i4.3934

Fabricante, I., Minotti, P., & Kandus, P. (2022). Mapeo de la distribución espacial de los humedales en Argentina (Sudamérica) a partir de una fusión de bases de datos nacionales. *ResearchGate, 74*(3), 286-300. doi:10.1071/MF22111

Fundación Heinrich Böll. (2020). *Cambio Climático y los Derechos de Mujeres, Pueblos Indígenas y Comunidades Rurales en las Américas.* Bogotá, Colombia: Florian Huber.

GAMSZ. (13 de febrero de 2023). *Curichi la Madre*. Obtenido de https://gmsantacruz.gob.bo/curichi-la-madre/

GISS-NASA. (2024). *Análisis de temperatura superficial del GISS (v4)*. Obtenido de imagenes Satelitales: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/

Gobernación. (13 de Julio de 2020). *Autonomía Departamental de Santa Cruz*. Obtenido de http://www.santacruz.gob.bo/sczautonomia/dialogo/es/contenido/2885/20028#ancla

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2019). *Metodologia de Investigación* . México: McGraw-Hill.

IPCC. (2021). *Cambio Climatico 2021: Bases Físicas.* Obtenido de https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf

Jaque, F., & Aguirre de Cárcer, Í. (2002). *Bases de la física medioambiental.* Barcelona: Ariel Ciencia.

Lezaun, M. (Junio de 2024). *Matemáticas de los Fluidos: El Clima y Tiempo.* Obtenido de Universidad del País Vasco: https://www.divulgameteo.es/uploads/Matem%C3%A1ticas-fluidos.pdf

Naciones Unidas-CEPAL. (20 de Diciembre de 2019). *Cambio Climático y Derechos Humanos.* Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44970/4/S1901157_es.pdf

National Library of Medicine. (Agosto de 2022). *Efectos del calor extremo en America* . Obtenido de https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3734498/

Noticias ONU. (10 de Marzo de 2020). *El Cambio Climático es más Mortal que el Coronavirus.* Obtenido de https://news.un.org/es/story/2020/03/1470901

ONU. (febrero de 2022). *Cambio climático y medioambiente.* Obtenido de https://news.un.org/es/story/2022/02/1503462

ONU. (8 de Enero de 2024). *Cumbre sobre la Ambición Climática.* Obtenido de https://www.un.org/es/climatechange/climate-ambition-summit

Tejeda Martínez, A. (2018). *La Humedad en la Atmosfera: Bases Físicas, instrumentos y Aplicaciones.* México: Universidad de Colima. Obtenido de http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/La-humedad-en-la-atmosfera_466.pdf

Vera, R. (2017). Evaluación de los niveles de radiación no ionizante en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra (Distrito 1). *I3+, 3*(2), 26-49. doi:10.24267/23462329.217

Vera, R. (Agosto de 2023). *Las Olas de Calor en Bolivia y su afeccion en la Salud: Medidas de Prevención*. Obtenido de https://www.facebook.com/share/p/iuXewKp6wRXEBWrP/?mibextid=oFDknk

Vera, R., & Quinteros, G. (20 de Noviembre de 2020). El Cambio Climatico y la Variación del Campo Magnético Terrestre en tiempos de Pandemia del COVID-19 en la ciudad de Santa Cruz de la Siera. *Ciencia y Tecnología*, 5-15. Obtenido de https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019?gclid=Cj0KCQjwgtWDBhDZARIsADEKwgMynSY8r9t-TM0_iYM_e8AaIPEufXemoZBUJsAH_RCVpO1KVuy6HWkaAiZFEALw_wcB