



1  
INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA,  
(ILACVN)  
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS- ECOLOGIA E  
BIODIVERSIDADE

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE FLORACIONES  
ALGALES EN LAS ÁREAS DE RECREACIÓN DEL LAGO DE ITAIPU  
CON BASE EN DATOS SATELITALES**

**JULIÁN FELIPE AMADO SILVA**

Foz do Iguaçu  
2025



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA,  
(ILACVN)  
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS- ECOLOGIA E  
BIODIVERSIDADE**

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE FLORACIONES  
ALGALES EN LAS ÁREAS DE RECREACIÓN DEL LAGO DE ITAIPU  
CON BASE EN DATOS SATELITALES**

**JULIÁN FELIPE AMADO SILVA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto  
Latino-Americano de Ciências da Vida e  
da Natureza da Universidade Federal da  
Integração Latino-Americana, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Ciências Biológicas -  
Ecologia e Biodiversidade

Orientador: Prof. Dr. Cleto Kaveski Peres

Foz do Iguaçu

2025

**JULIÁN FELIPE AMADO SILVA**

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE FLORACIONES  
ALGALES EN LAS ÁREAS DE RECREACIÓN DEL LAGO DE ITAIPU  
CON BASE EN DATOS SATELITALES**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto  
Latino-Americano de Ciências da Vida e  
da Natureza da Universidade Federal da  
Integração Latino-Americana, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Ciências Biológicas -  
Ecologia e Biodiversidade

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Cleto Kaveski Peres

UNILA

---

Dr. Daniel Bartiko

ITAIPU BINACIONAL

---

Prof. Gustavo Henrique Jerônimo Alves

UTFPR - Santa Helena

Foz do Iguaçu, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

## TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): \_\_\_\_\_

Curso: \_\_\_\_\_

### Tipo de Documento

(.....) graduação (.....) artigo (.....) especialização (.....) trabalho de conclusão de curso (.....)  
mestrado (.....) monografia (.....) doutorado (.....) dissertação (.....) tese (.....) CD/DVD –  
obras audiovisuais (.....)

Título do trabalho acadêmico: \_\_\_\_\_

Nome do orientador(a): \_\_\_\_\_

Data da Defesa: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

### Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a): a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade. b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue. Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo. Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra gratuitamente e de acordo com a licença pública Creative Commons Licença 3.0 Unported.

Foz do Iguaçu, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Assinatura do Responsável

## AGRADECIMIENTOS

Para iniciar, quiero agradecer inmensamente a la señora Adriana por todo el apoyo y amor incondicional que me ha brindado durante todos estos años, ya que sin ella no hubiera sido posible siquiera venir a estudiar. Por eso y muchas más cosas que no se pueden resumir en un simple párrafo quiero decir que muchas gracias por todo, por ser mi mamá, mi amiga y mi apoyo diario. ¡Te quiero más!

También quiero agradecer a mi papá, Yesid, a mis hermanos Alejandro y Jhoel por haberme acompañado en este proceso de formación, por los consejos, las llamadas, las risas y todos aquellos momentos que hemos compartido a lo largo de nuestras vidas.

Quiero agradecer también mucho a mi Margarita, la chica que conocí jugando al basket y que ahora hace parte fundamental de mi vida,. Quiero agradecerte por todas las experiencias que hemos compartido juntos a lo largo de todos estos años, por escucharme todos los días hablar de cosas que me apasionan, por contarme tus metas, proyectos, tus planes de vida. Quiero seguir compartiendo contigo bellos momentos de aquí para siempre.

Por otro lado quiero agradecer a mis amigos que la vida, la universidad y el basquet me han dejado. Es difícil recordar a todas las personas que nos acompañan en nuestras jornadas, ya sea porque no se encuentran presentes o porque simplemente no se convive tanto con ellas en nuestro día a día, sin embargo quiero hacer mención a Marahis, Camilo, Anny, James, Santiago, Juli, Huguito, Gabriel, Natalia, André, Lara, Marquinhos y demás personas que quizá olvide de mencionar pero que han contribuido tanto en mi formación personal como profesional.

No podría dejar de mencionar a mi profesor orientador Cleto, quien ha sido parte fundamental de este trabajo, desde el momento que nos planteamos realizarlo, hasta la culminación del mismo. Quiero mencionar que la orientación del profesor ha sido la mejor, siempre estando presente y con disposición para solucionar mis dudas respecto a temas académicos como también personales. Estar rodeado de personas increíbles como él, con capacidades de solucionar las tareas del día a día sin inconveniente y siempre con una sonrisa y buena voluntad me motiva mucho para seguir adelante.

En estas páginas también quiero hacer un especial agradecimiento a todo el equipo de la ITAIPU Binacional, lugar donde realice mis prácticas y en el cual he aprendido mucho sobre los campos de actuación de un biólogo. Mis más sinceros agradecimientos van para Daniel-mi supervisor-, Jussara, Carol, Cris, Natasha, Bruno, Aline, Rosana, André, Cris y demás personas me han instruido mucho sobre mi formación profesional . No podría dejar pasar por alto un sincero agradecimiento a mis amigos del *estágio*, Bruna, Jorge, Nathalia, Beatriz, Caio, Bruno, Doris con quienes he compartido momentos increíbles en nuestras actividades diarias. Por eso y mucho más siempre los llevaré a todos y cada uno de ustedes en mi corazón como una etapa de mucho aprendizaje y buenas memorias.

Quiero agradecerle a la UNILA por haberme permitido estudiar un curso con muy buenos profesores, haciendo con que aprender sobre la biología sea algo que me apasiona todos los días, y que me dio un horizonte que quiero continuar con ello durante mi vida.

Debo agradecer también a mi perrito Dumbo, el cual me ha estado conmigo durante parte de mi vida, desde aquel día que nos conocimos y supimos que nos llevamos muy bien. Siento que aunque no pueda entender las palabras que estoy escribiendo en este texto, sé que estará conmigo en todo momento hasta que la vida nos lo permita.

Por último y no menos importante quiero darme las gracias a mí mismo por haber llegado hasta este momento, por no haberme rendido en el camino y siempre ver el lado bueno de las cosas, por querer aprender cosas nuevas todos los días, por enfrentarme a los desafíos de la mejor forma y, por haber formado un grupo de personas con las que puedo contar en las diversas situaciones que se nos presentan día a día.

Por eso y por todo más, MUCHAS GRACIAS.

“Todo lo bueno tarda”

**Alcolirykoz**

## RESUMEN

La eutrofización artificial y el cambio climático han incrementado la Frecuencia de Floraciones de Algas, las cuales pueden llegar a ser nocivas (FAN) en cuerpos hídricos, generando riesgos para la salud pública y los ecosistemas. Este estudio propone un sistema de monitoreo y alerta para 11 áreas de recreación (balnearios) en el Embalse de Itaipu (Brasil y Paraguay), utilizando la herramienta de teledetección *AlgaeMap* basada en datos del satélite Sentinel-2. Se analizaron datos históricos del período 2019-2025 para determinar patrones de Frecuencia, Recencia y Sazonalidad de las floraciones. Los resultados revelaron una heterogeneidad espacial significativa: mientras áreas como Entre Rios do Oeste y Balneário Ipiranga presentaron una Frecuencia de floración "Muy Alta" (>45%), otros puntos como Três Lagoas no registraron eventos. Se observó que la Estacionalidad no se limita a los meses cálidos, detectándose eventos en invierno en ciertos puntos. Con base en estos hallazgos, se desarrolló un árbol de decisiones para la clasificación del riesgo y se propuso un plan de monitoreo adaptativo y un sistema de señalización visual para alertar a los bañistas, alineado con las normativas ambientales de Brasil y Paraguay.

**Palabras clave:** eutrofización, floraciones de algas, sensoriamiento remoto, lago de Itaipu, gestión de riesgos.

## RESUMO

A eutrofização artificial e as mudanças climáticas aumentaram a frequência de Florações de Algas, as quais podem tornar-se nocivas (FAN) em corpos hídricos, gerando riscos para a saúde pública e para os ecossistemas. Este estudo propõe um sistema de monitoramento e alerta para 11 áreas de recreação (balneários) no Reservatório de Itaipu (Brasil e Paraguai), utilizando a ferramenta de sensoriamento remoto AlgaeMap, baseada em dados do satélite Sentinel-2. Foram analisados dados históricos do período de 2019 a 2025 para determinar padrões de frequência, Recencia e Sazonalidade das florações. Os resultados revelaram uma heterogeneidade espacial significativa: enquanto áreas como Entre Rios do Oeste e Balneário Ipiranga apresentaram uma frequência de floração "Muito Alta" (>45%), outros pontos, como Três Lagoas, não registraram eventos. Observou-se que a Sazonalidade não se limita aos meses quentes, sendo detectados eventos no inverno em certos pontos. Com base nesses achados, desenvolveu-se uma árvore de decisão para a classificação de risco e propôs-se um plano de monitoramento adaptativo e um sistema de sinalização visual para alertar os banhistas, alinhado com as normativas ambientais do Brasil e do Paraguai.

**Palavras-chave:** eutrofização, florações de algas, sensoriamento remoto, lago de Itaipu, gestão de riscos.

## ABSTRACT

Artificial eutrophication and climate change have increased the frequency of Algal Blooms, which can become harmful (HABs) in water bodies, posing risks to public health and ecosystems. This study proposes a monitoring and alert system for 11 recreation areas (beaches) in the Itaipu Reservoir (Brazil and Paraguay), using the *AlgaeMap* remote sensing tool based on Sentinel-2 satellite data. Historical data from the 2019-2025 period were analyzed to determine patterns of frequency, recency, and seasonality of the blooms. The results revealed significant spatial heterogeneity: while areas such as Entre Rios do Oeste and Balneário Ipiranga showed a "Very High" bloom frequency (>45%), other points like Três Lagoas registered no events. It was observed that seasonality is not limited to warm months, with events detected in winter at certain locations. Based on these findings, a decision tree for risk classification was developed, and an adaptive monitoring plan along with a visual signage system was proposed to alert bathers, aligned with Brazilian and Paraguayan environmental regulations.

**Keywords:** eutrophication, algal blooms, remote sensing, Itaipu lake, risk management.

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 1:</b> Problemas hacia la salud humana causados por las diferentes toxinas generadas por cianobacterias.....	17
<b>Figura 2:</b> Ubicación geográfica del Lago de Itaipu junto a los puntos de monitoreo.....	22
<b>Figura 3:</b> Puntos de monitoreo seleccionados en el estudio.....	23
<b>Figura 4:</b> Puntos de monitoreo seleccionados en el estudio.....	24
<b>Figura 5:</b> Patrón de observación en los balnearios para Presencia o Ausencia.....	25
<b>Figura 6:</b> Evento de lectura marginal.....	26
<b>Figura 7:</b> Presencia de nubes sobre el área de recreación.....	26
<b>Figura 8:</b> Sistema modelo de Alertas para Floraciones de Algas en el Estado de Nevada-USA .....	28
<b>Figura 9:</b> Diagrama de Gantt para visualización de datos de floración de algas a escala diaria con aplicación de reglas condicionales.....	31
<b>Figura 10:</b> Mapa de calor para cada área de recreación con floración de algas para cada estación del año desde el período de 2019-2025.....	34
<b>Figura 11:</b> Sistema modelo de Alertas y prevención para los bañistas y moradores de la áreas de recreación en presencia o ausencia de Floraciones de Algas.....	35
<b>Figura 12:</b> Árbol de decisión sobre riesgo de floraciones algales en los balnearios del Lago de Itaipu .....	37

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Eventos relacionados con las FAN, impactos al ecosistema y la salud humana en América Latina y Caribe .....	16
<b>Tabla 2:</b> Categorización de crecimiento de floraciones de algas para los ejes de Frecuencia y Sazonalidad. ....	27
<b>Tabla 3:</b> Observaciones totales (presencia, ausencia, sin lectura) para las diferentes áreas de recreación durante el período 2019-2025 .....	29
<b>Tabla 4:</b> Análisis de Frecuencia para las áreas de recreación en el periodo de observación de 2019-2025 junto con escala de clasificación de riesgo.....	32
<b>Tabla 5:</b> Eventos de Recencia en las áreas de recreación del Lago de Itaipu para el período de Junio de 2024 - Junio de 2025 junto con escala de clasificación de riesgo.....	33
<b>Tabla 6:</b> Propuesta de monitoramento de cianobacterias de acuerdo a su clasificación de riesgo.....	37

## **Lista de Abreviaturas y Siglas**

BR	Brasil
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
FA	Floración de Algas
FAN	Floración de Algas Nocivas
GEE	Google Earth Engine
HABS	Harmful Algal Bloom
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PY	Paraguay
SEAM	Secretaría de Medio Ambiente

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	15
2.	<b>METODOLOGÍA</b> .....	21
2.1.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	21
2.2.	DEFINICIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO.....	22
2.3.	CRITERIOS DE MUESTREO DE DATOS.....	24
2.4.	ANÁLISIS DE PATRONES TEMPORALES.....	26
2.5.	CLASIFICACIÓN DE RIESGO Y PLAN DE MONITOREO.....	28
3.	<b>RESULTADOS</b> .....	29
3.1.	SÍNTESIS DE DOS DATOS OBTENIDOS .....	29
3.2.	PADRONES TEMPORALES.....	30
3.2.1.	Frecuencia.....	32
3.2.2.	Recencia.....	33
3.2.3.	Sazonalidad.....	34
3.3.	CLASIFICACIÓN DE RIESGO Y PLAN DE MONITOREO.....	35
4.	<b>DISCUSIÓN</b> .....	39
5.	<b>CONCLUSIÓN</b> .....	42
	<b>REFERENCIAS</b> .....	43

## 1.INTRODUCCIÓN

El agua, es un recurso vital para el correcto funcionamiento del planeta, además de una fuente de desarrollo social, cultural y económico para la humanidad (Zaragoza-Martí, 2021), ofreciendo distintos servicios los cuales son utilizados diariamente a grande escala por toda la población tales como: abastecimiento para consumo, acuicultura y pesca, navegación, turismo, actividades de recreación, industria, entre otras.

Sin embargo, con el constante aumento de la población mundial y el crecimiento urbano (ONU, 2024), se ha ejercido presión sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos (FAO, 2021) conllevando a una alteración en el ambiente. Dichas alteraciones afectan de manera significativa los cuerpos hídricos, generando una sobrecarga de nutrientes en el ambiente, conocido como Eutrofización (Gadelha; Marcionílio, 2022).

Los procesos de eutrofización pueden ser naturales o artificiales. Este primero está relacionado a un proceso lento y continuo el cual genera un aporte de nutrientes los cuales son transportados por las lluvias hasta las fuentes hídricas. Sin embargo, debido a las diversas actividades humanas que generan aporte de nutrientes a los cuerpos de agua, este proceso pasa a ser denominado de eutrofización artificial (Esteves, 1998), el cual está relacionado a diversas fuentes de contaminación tales como: aguas residuales domésticas e industriales no tratadas, además de actividades agrícolas, pecuarias y minería. (Tundisi; Tundisi, 2008).

El proceso de eutrofización dadas las actividades humanas genera diferentes efectos negativos para el ambiente, como lo son: alteración del pH, aumento o disminución de la temperatura del agua, reducción del oxígeno disuelto, deterioro de actividades como pesca o recreación (dado el incremento de la producción primaria), acumulo de sedimentos, modificación de los ciclos bioquímicos relacionados al fósforo y nitrógeno produciendo más materia orgánica de la que el ecosistema puede consumir y descomponer de manera que se genera una pérdida de biodiversidad local y/o regional por asfixia, además de la floración de algas en el cuerpo hídrico (Esteves, 1998).

Debido a estas perturbaciones en los ecosistemas, generadas principalmente por el ingreso de nutrientes a los medios acuáticos (*e.g.* ríos, lagos, mares, represas), se ha generado un aumento en la Floración de Algas las cuales pueden llegar a ser Nocivas (FAN) o *Harmful Algal Bloom* (HABs) en las diferentes fuentes hídricas (Paerl et al., 2016; Paerl; Barnard, 2020), la cual está estrechamente relacionado con el aumento de la

temperatura a nivel global. (Griffith; Gobler, 2020). En este contexto, se realizó un levantamiento de datos sobre las FAN en aguas continentales de América Latina por medio de trabajos académicos publicados. Así tenemos un panorama general sobre los primeros eventos ocurridos a través de los años en la región y el impacto de las floraciones de algas en el ecosistema, en la salud humana como observado en la tabla 1, además de los prejuicios económicos intrínsecamente ligados a las FAN.

**Tabla 1:** Eventos reportados relacionados con la Floración de Algas Nocivas (FAN), sus impactos al ecosistema y la salud humana en América Latina

País	Año de estudio	Lugar de estudio	Usos principales de la fuente hídrica	Conclusiones del estudio	Autores
Argentina	1997-2000	Embalse San Roque	Recreación y abastecimiento para 1,8 millones de personas	Presencia de cianobacterias en el embalse principalmente en verano y otoño	Ame et al., 2003
Brasil	1996-1999	Lago Jacarepaguá	Santuario para la biodiversidad	Acumulo de microcistinas en peces con potencial de consumo	Magalhães et al, 2001
Chile	1998	Lago Tres Pascualas	Lago urbano sin uso dada su contaminación	Aumento de floraciones de algas y presencia de hepatotoxinas en la fuente hídrica	Neumann et al., 2000
Colombia	1994	Ciénaga Grande de Santa Marta	Pesca artesanal	Mortalidad masiva de peces dada la presencia de <i>Anabaenopsis</i> sp.	Mancera y Vidal, 1994
México	2008-2020	Laguna del Carpintero	Albergue de biodiversidad como aves migradoras	Crecimiento desmesurado de cianobacteria <i>Microcystis aeruginosa</i>	Rodriguez et al, 2008
Uruguay	1980-2016	Rio Uruguay	Usos múltiples del agua	Presencia de poblaciones tóxicas de microcistinas a lo largo de todo el gradiente del cuerpo hídrico	Kruk et. al, 2015

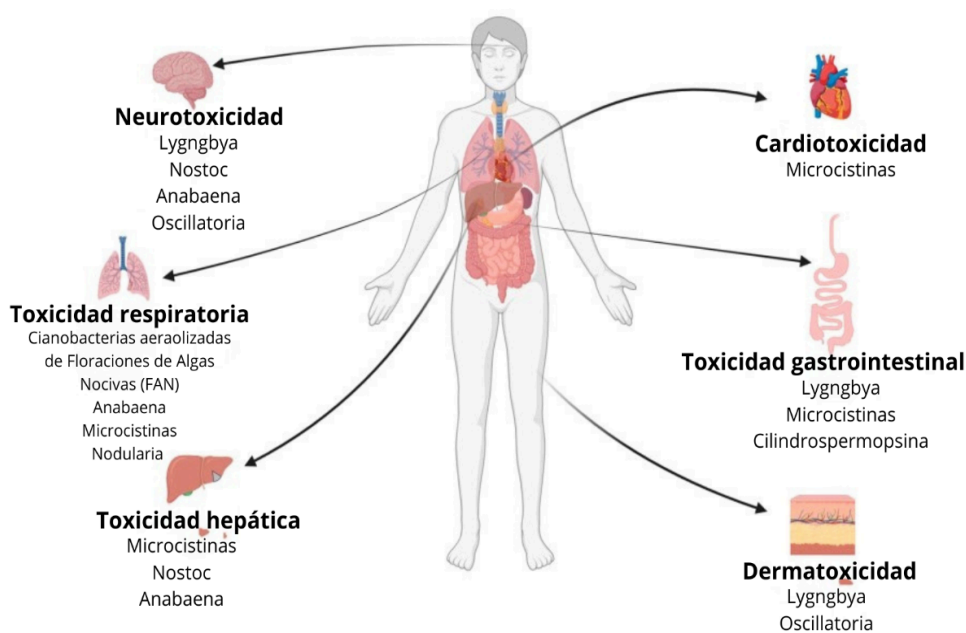
**Fuente:** Autor

A su vez, la Floración Algas Nocivas, representa innúmeros problemas para los ecosistemas acuáticos tales como: acidificación del agua, aumento del CO<sub>2</sub> en el ambiente y el fenecimiento de especies acuáticas dada la hipoxia del ambiente (Igwaran *et al.*, 2024; Paerl *et al.*, 2016). Además de los problemas ambientales, las FAN presentes en los

cuerpos hídricos representan serios problemas a la salud humana, debido a la liberación de cianotoxinas.

Las cianotoxinas son compuestos tóxicos presentes como metabólicos secundarios de las cianobacterias presentes en los ambientes eutrofizados principalmente, las cuales tienen diferentes actividades biológicas y/o bioquímicas al interactuar con el ecosistema (Bláha; Babica; Maršálek, 2009; Pérez; Soraci; Tapia, 2008). Entre las principales cianotoxinas se encuentran hepatotoxinas, neurotoxinas, dermatotoxinas, cardiotoxinas, toxinas respiratorias e intestinales (Figura 1). Estas toxinas al entrar en contacto con los humanos estimulan el desarrollo de enfermedades hepáticas, neurodegenerativas, problemas intestinales y respiratorios, irritación en la piel y mucosas (Al Haffar et al., 2024; Bláha; Babica; Maršálek, 2009; Morris; Stommel; Metcalf, 2025).

**Figura 1:** Problemas hacia la salud humana causados por las diferentes toxinas generadas por cianobacterias.



**Fuente:** Adaptado de: Al Haffar, 2024

Por otro lado, la probabilidad de contraer enfermedades causadas por las cianotoxinas se da por diferentes vías de exposición como el contacto directo con las FAN, ingestión accidental y/o propagación de las toxinas aerosolizadas (Genitsaris; Kormas; Moustaka-Gouni, 2011; Shi *et al.*, 2023).

El proceso de propagación de toxinas aerosolizadas se da al final de los procesos de floración de algas, cuando las cianobacterias mueren y comienza su proceso de descomposición, liberando así al medio ambiente las cianotoxinas. Estos metabólicos penetran burbujas de aire que son formadas en el cuerpo hídrico las cuales irán a entrar en contacto con la superficie, acumulándose y formando capas de espuma en el agua. Una vez formadas estas capas, la acción de las olas y vientos harán que las burbujas se desintegren, liberando las toxinas al ambiente. Además de ello, actividades humanas como navegación y uso de motos acuáticas pueden aumentar la turbulencia en el ambiente, liberando así los aerosoles que serán transportados por el viento a grandes distancias (Plaas; Paerl, 2021). Según May *et al.*, (2018), en su estudio han demostrado que partículas contaminantes aerolizadas son capaces de recorrer distancias de más de 25 Km si las condiciones climáticas son favorables, de esta manera existe una seria preocupación para la salud humana, debido a que pueden ser causados serios problemas a comunidades locales cercanas a las fuentes hídricas (Igwaran *et al.*, 2024)

En este contexto, con la modificación de los ecosistemas terrestres y acuáticos en las últimas décadas, además del cambio climático observado a nivel mundial, de acuerdo con Hallegraeff, 2010: Glibert *et al.*, 2014: Gobler *et al.*, 2017 *apud* (Griffith; Gobler, 2020) se espera que la aparición de las FAN sea cada vez más frecuente conllevando a un mayor riesgo para la salud humana.

Como ejemplo de las grandes floraciones de algas se puede citar el caso el lago Woods localizado entre Ontario (Canadá) y Minnesota (USA) observando floraciones de algas en 2004 y 2011 cubriendo hasta 80% del total de la superficie del lago (Binding *et al.*, 2023) En América del Sur, podemos evidenciar episodios de floraciones de algas como lo ocurrido en 2015 en el lago Titicaca (Bolivia-Perú) donde más del 50% de la superficie del cuerpo hídrico se vio afectada (Achá *et al.*, 2018) En Norteamérica, el lago Erie registró en 2011 su mayor evento histórico, afectando más de 2500 km<sup>2</sup> del lago (Stumpf *et al.*, 2012)

En paralelo, además de la problemática ambiental generada se le suma los prejuicios económicos, dada la gran demanda de recursos humanos para el manejo y monitoreo además del control y remoción de las algas de los biomas acuáticos, especialmente en embalses, los cuales poseen mucha presión por el uso constante del agua para actividades humanas (Esteves, 2011)

El monitoreo de las floraciones de algas de modo clásico se realiza por medio de muestreo en campo en regiones visiblemente afectadas, pudiendo usar herramientas como

el disco de Secchi para determinar la transparencia del agua, o para análisis más específicos son realizados usando diversas metodologías como medición de parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, oxígeno disuelto, cantidad de nutrientes, turbidez) por medio del uso de sondas multiparamétricas. También pueden ser realizadas colectas que pasaran por análisis laboratoriales como microscopía, uso de cromatografía o pruebas moleculares para la identificación de las algas y su concentración en el cuerpo hídrico (Roset *et. al.*, 2001)

En este contexto, a pesar de la eficiencia de estos métodos existe una gran dificultad en el monitoreo constante *in situ* de las fuentes hídricas, esto en razón a que los procesos convencionales de análisis del estado trófico demandan mucho tiempo, además de recursos económicos y humanos dada la colecta de datos y los ensayos laboratoriales que deben realizarse para la determinación de la presencia de algas (Lamparelli, 2015). A esto se le suma la dificultad del acceso a las áreas con susceptibilidad a la aparición de las Floraciones en razón al espacio ocupado por los cuerpos hídricos, especialmente embalses, los cuales ocupan extensiones de territorio muy grande (Machado, 2016). No obstante, con el avance de la tecnología, herramientas de bajo costo se han desarrollado para la medición de la calidad del agua, las cuales sirven como complemento de las actividades realizadas en campo.

Dentro de este marco, el monitoreo de los embalses es fundamental para la preservación de los recursos naturales y sus múltiples usos. Este monitoreo se encuentra en sintonía con la Ley nº 14.066/2020 (Brasil, 2020), la cual exige un control estricto sobre las áreas de influencia de las centrales hidroeléctricas. Al respecto, herramientas tecnológicas como Sensoriamento Remoto han ganado espacio y se muestran como una opción eficaz para el control de los recursos hídricos y la calidad del agua.

La aplicación *AlgaeMap* (Lobo *et al.*, 2021) es una herramienta tecnológica integrada a *Google Earth Engine* (GEE), la cual ofrece de forma agradable e intuitiva la obtención de imágenes satelitales con datos históricos para la determinación de los brotes de algas y/o cianobacterias algas en los cuerpos de agua indicando el estado trófico del ambiente, lo que ayuda en el constante monitoreo de Floraciones de alga en las diferentes fuentes hídricas del continente.

De esta forma, la aplicación de monitoreo *AlgaeMap* surge como una alternativa para el monitoreo de las fuentes hídricas de forma satelital. De acuerdo a Simões y colaboradores (2024) fue comprobado la eficiencia del uso de la herramienta digital para la

estimación de clorofila en el embalse de *Arroio Chasqueiro* en Rio Grande do Sul, Brasil cuando comparada con datos obtenidos *in situ*. Por otro lado, en el estudio de Santos (2021) para la *Lagoa Mirim* (RS) en el periodo de 2018 a 2020 fue posible observar que existe mayor concentración de clorofila en el sistema hídrico en las regiones próximas a áreas agrícolas.

No obstante, en el continente Suramericano no existe un sistema de monitoreo espacio temporal y/o alertas constantes que permitan entender los patrones de Floración de Algas en los cuerpos hídricos, impidiendo que medidas de contingencia y control sean tomadas a tiempo, generando así afecciones a la salud humana y a los ecosistemas. Con el pasar de los años, las constantes presiones ambientales para la agricultura, el crecimiento demográfico acelerado y el cambio climático, por ello el Lago de Itaipu se ha convertido en un ambiente propicio para la floración masiva de algas.

Por consiguiente, el objetivo principal de este trabajo consiste en usar la aplicación de monitoreo remoto *AlgaeMap* para verificar las Floraciones de Algas en los balnearios en el Lago de Itaipu ocurridos en el periodo comprendido entre 2019-2025, determinando si existe algún patrón para el apareamiento de los brotes en el cuerpo hídrico. Además de la creación de un sistema de alertas el cual permita informar a la población sobre los *Blooms* de algas, ayudando en la prevención evitando así problemas de salud a las poblaciones humanas que hacen uso del recurso hídrico como recreación o que viven en regiones cercanas a estas áreas.

Como objetivos secundarios se propone:

- I. Analizar datos satelitales de los últimos seis años en cada una de las áreas recreativas, evaluando los parámetros de Frecuencia, Recencia y la Estacionalidad de las floraciones;
- II. Proponer un mapa de calor (*heatmap*) que pueda utilizarse como referencia en áreas recreativas;
- III. Adaptar un programa mínimo de monitoreo para cada área establecida, con base en la legislación y los datos analizados.
- IV. Desarrollar un árbol de decisiones basado en los datos analizados para su uso dinámico en la región estudiada.

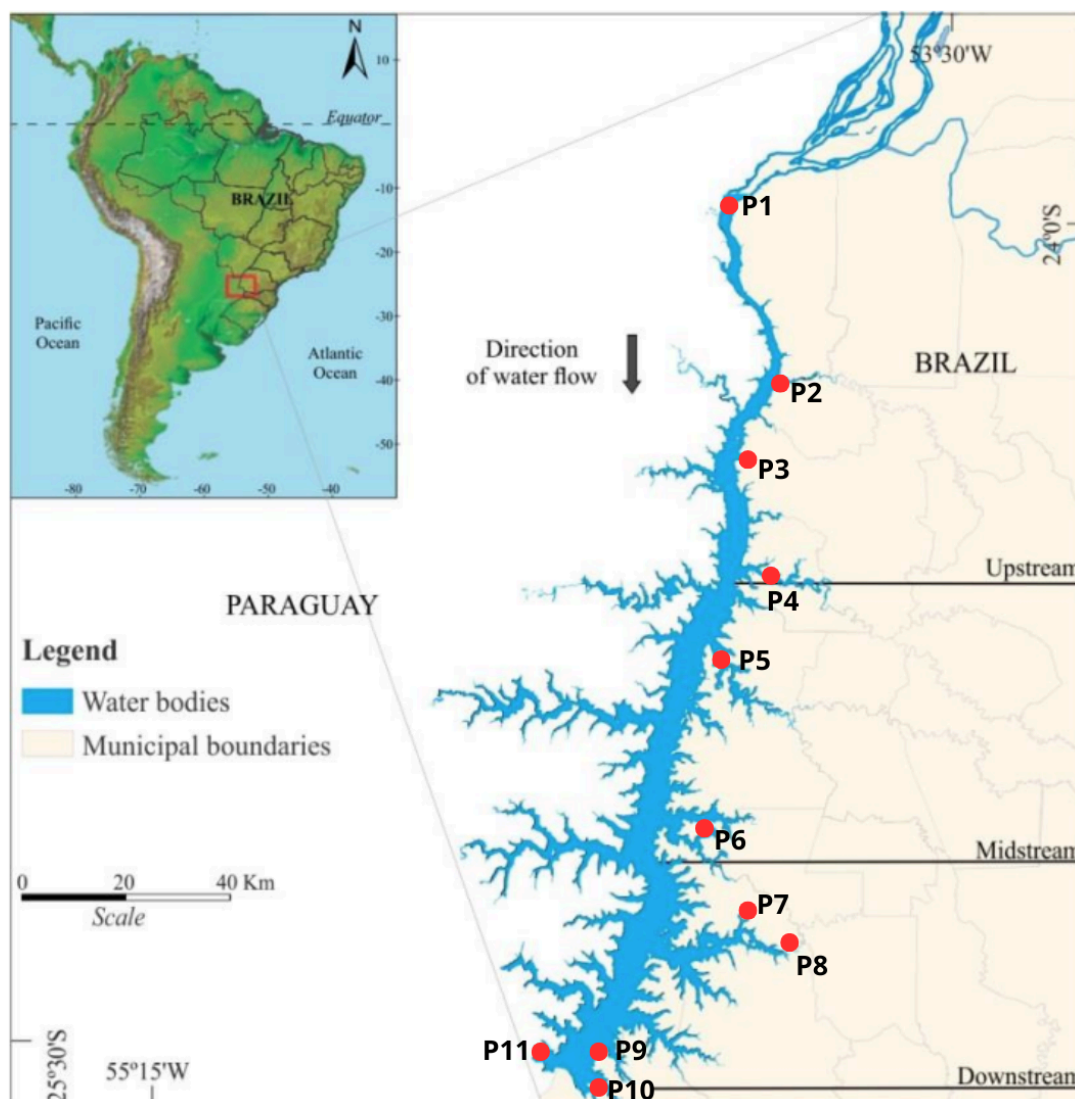
## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El lago de Itaipu es un cuerpo hídrico de gran tamaño, que surge como una frontera entre Brasil y Paraguay, este cuerpo de agua cuenta con un área de 1.350 Km<sup>2</sup>, divididos en 770 Km<sup>2</sup> del lado brasileiro y 580 Km<sup>2</sup> del lado paraguayo. El lago se encuentra localizado entre los municipios de Foz do Iguçu (PR) - Guaíra (PR) y Hernandarias (Paraguay) - Saltos del Guairá (Paraguay). Este embalse puede ser encuadrado entre los paralelos 25 15' 19.21" y 54 33' 47.71" Sur y 25 28' 36.94" y 54 42' 56.17" Oeste (Figura 2)

La Usina Hidroeléctrica de Itaipu, inicialmente preveía como uso del cuerpo hídrico la generación de energía eléctrica de Brasil, representando aproximadamente el 10% del país y más del 80% de la demanda energética de Paraguay (ITAIPU BINACIONAL, [2025]). Actualmente, el embalse es usado para diversos fines como lo son (Abastecimiento hídrico, turismo, recreación, navegación, pesca, acuicultura, irrigación, entre otros).

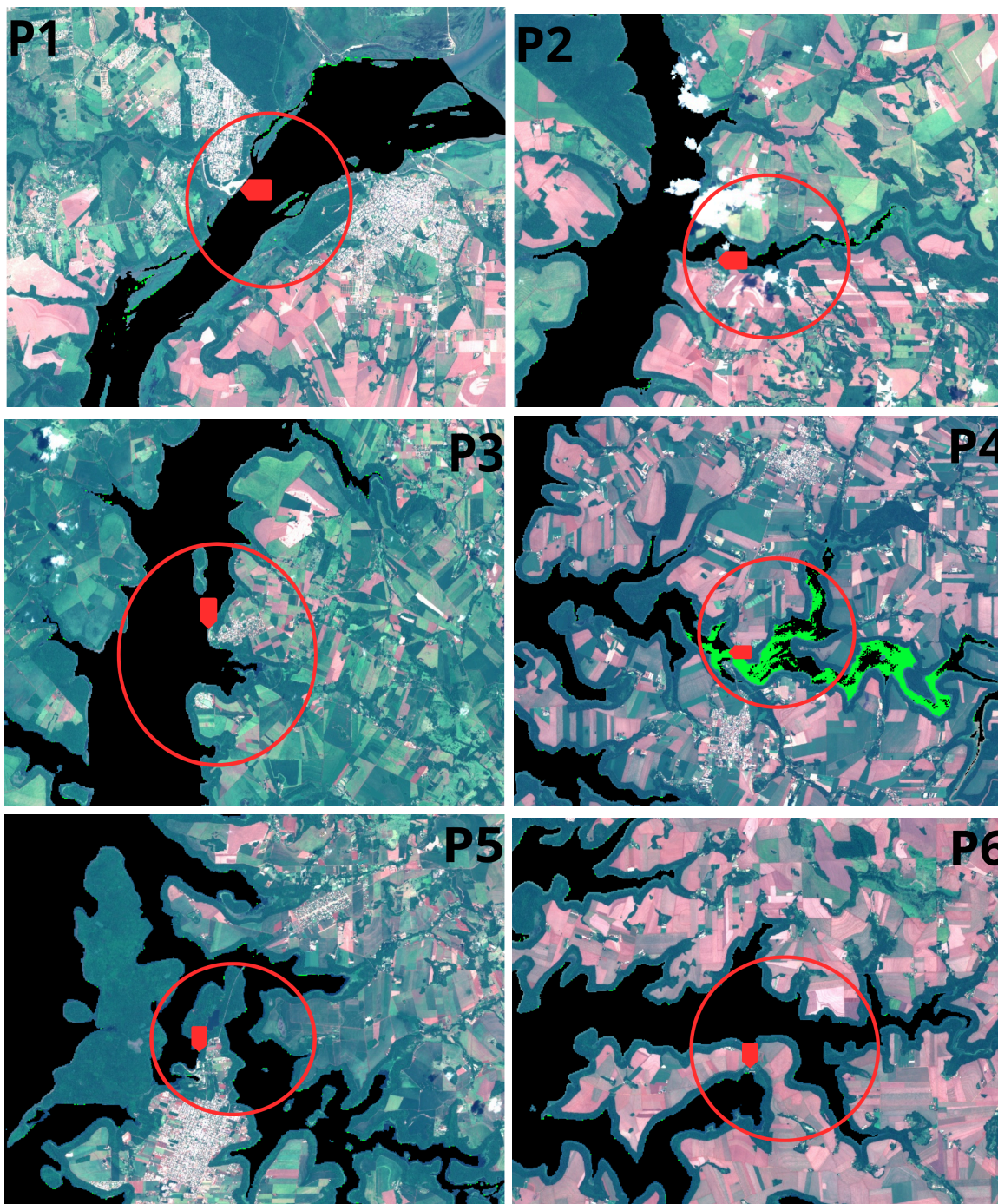
**Figura 2:** Ubicación geográfica del Lago de Itaipu junto a los puntos de monitoreo.



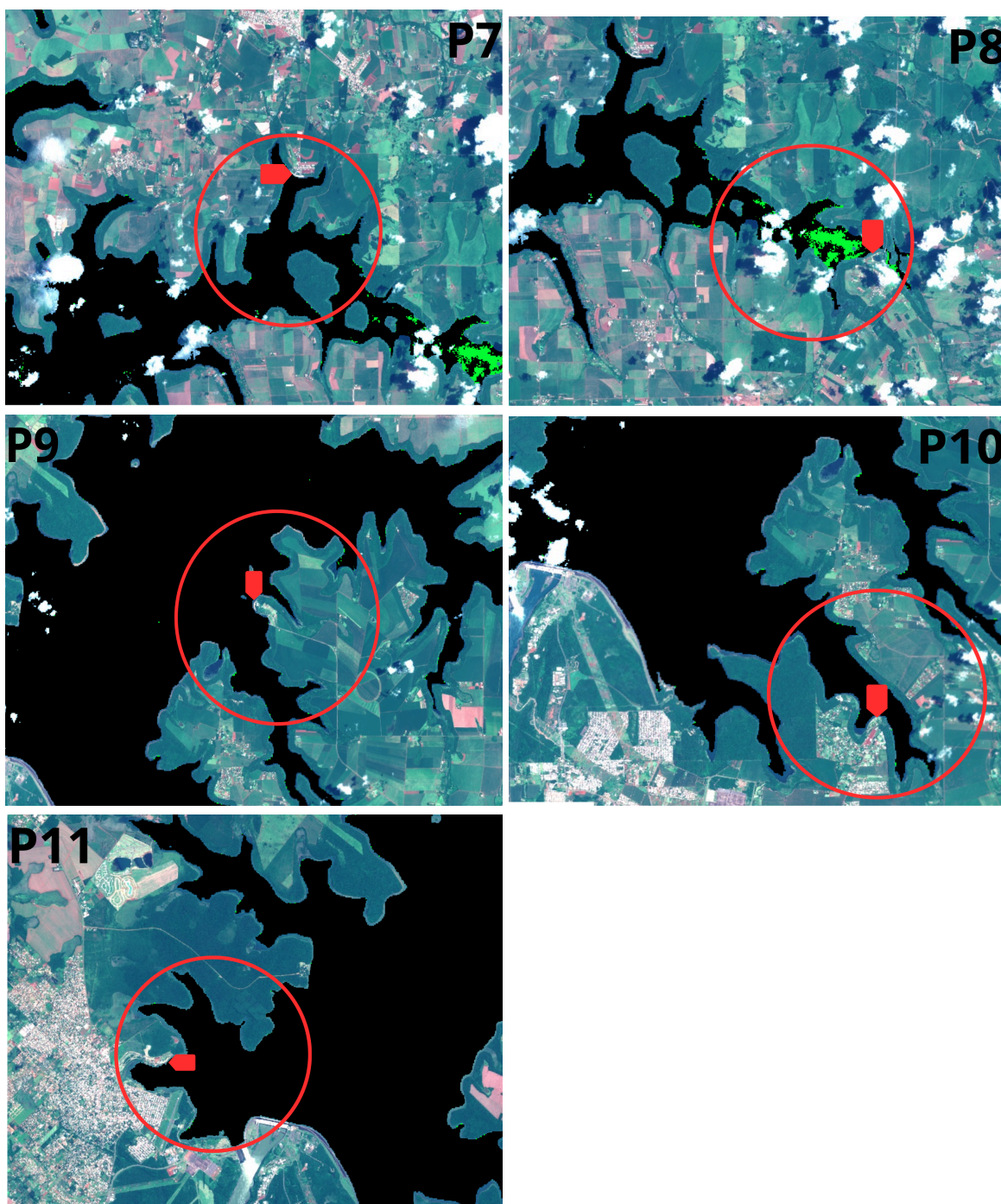
**Fuente:** Adaptado de Facco et. al., 2021. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1899302>

## 2.2. DEFINICIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO

Fue definido un total de 11 puntos de muestreo los cuales comprenden las áreas de recreación o playas artificiales presentes en el lago de Itaipu (Figura 2). Para cada punto de recreación fue delimitado un diámetro de 6 Km en el cual se vería comprendido el balneario y una región del cuerpo hídrico, predominantemente en dirección hacia los brazos del lago (Figura 3 y 4).



**Figura 3:** Puntos de monitoreo seleccionados en el estudio. **P1**-Playa Costanera (PY), **P2**-Parque de Lazer Arroio Guaçu (BR), **P3**-Parque de Lazer Annita Wanderer (BR), **P4**-Parque de Lazer Entre Rios do Oeste (BR), **P5**-Balneário Terra das Águas (BR), **P6**-Vila Natal (BR). Marcador indica la posición donde se encuentra el área de recreación.



**Figura 4:** Puntos de monitoreo seleccionados en el estudio **P7**-Prainha Jacutinga (BR), **P8**-Balneário Ipiranga (BR), **P9**-Prainha Alvorada do Iguaçu (BR), **P10**-Prainha Três Lagoas (BR), **P11**-Playa Tacurú Pucú (PY). Marcador indica la posición donde se encuentra el área de recreación.

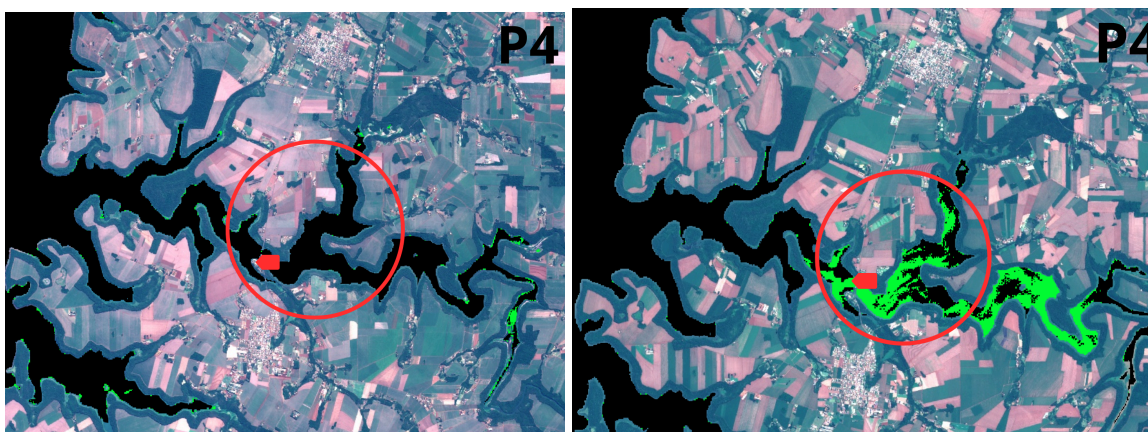
### 2.3. CRITERIOS DE MUESTREO DE DATOS

El monitoreo de algas en el lago de Itaipu se realizó por medio de la determinación directa de floraciones en el cuerpo hídrico. Fue utilizada la herramienta tecnológica de sensoriamento remoto *AlgaeMap* la cual usa datos del satélite Sentinel-2/MSI con una

resolución de 30m (Lobo et al., 2021). -. En cada uno de los 11 puntos seleccionados se recopilaban todos los datos disponibles en la plataforma durante el período de 2019-2025, totalizando seis años de monitoreo. Los datos fueron observados y registrados como eventos binarios de floración (Presencia o Ausencia) para cada una de las áreas monitoreadas, dada la lectura satelital la cual ocurre aproximadamente cada cinco días.

En este sentido, fueron definidos parámetros los cuales auxiliaron para una correcta recolección de datos:

- *Presencia/Ausencia de floración de algas*: En el cuerpo hídrico por medio de la aplicación *AlgaeMap* es posible observar con facilidad un evento de floración, indicando así un estado Supertrófico o Hipertrófico (Lobo et al., 2021) en el área de recreación, por otro lado, en vista de no presencia de algas en la región será contabilizado como ausencia (Figura 5)



**Figura 5:** Patrón de observación en los balnearios para Presencia o Ausencia. *Parque de Lazer Entre Rios do Oeste*. Ausencia (Izquierda) observada en 10/05/20. Presencia (Derecha) observada en 14/05/25.

- *Lectura Marginal*: Un evento que fue observado es la presencia del indicador de *bloom* en las regiones circundantes al área de recreación, cubriendo gran parte de la zona litoral o región ecotonal (Figura 6). Este evento se consideró como una falsa lectura de la clorofila-a en el ambiente virtual dada posiblemente por algas perifíticas; organismos fotosintéticos que no son considerados en la categoría de floración de algas fitoplanctónicas.



**Figura 6:** Evento de lectura marginal, posiblemente algas perifíticas en la región litoranea en el área de recreación *Praia Alvorada do Iguaçu* observada el 30/04/21

- *Sin lectura:* Fueron cuantificadas las observaciones de nubes las cuales se encontraban sobre la área de recreación, imposibilitando así la correcta lectura de la presencia/ausencia de algas en la región (Figura 7 y Apéndice A)



**Figura 7:** Presencia de nubes sobre el área de recreación. *Parque de Lazer Entre Rios do Oeste* el 26/10/24 con nubes imposibilitando la determinación de floración de algas en la región.

#### 2.4. ANÁLISIS DE PATRONES TEMPORALES

Para la identificación de los patrones temporales de los eventos de floraciones de algas en los balnearios del Lago de Itaipu fueron definidos tres ejes de observación (Frecuencia, Recencia, Sazonalidad):

**1) Frecuencia:** Esta métrica fue dada por medio de las observaciones efectivas de presencia y ausencia de los eventos de floración. De esta forma, la presencia de algas fue dividida por el total de observaciones efectivas realizadas, estimando así el porcentaje (0 a 100%) de *blooms* para las áreas de recreación durante todo el período de observación.

2) **Recencia:** Para calcular si un balneario sufrió un evento de floración de algas recientes, se cuantifican las veces que hubo presencia de algas dividido por el total de observaciones efectivas realizadas en el último año, el cual está comprendido desde Junio de 2024 hasta Junio de 2025, determinando así el porcentaje (de 0 a 100%) de Recencia para eventos de floración.

3) **Sazonalidad:** Para el eje de Sazonalidad fue realizada una comparación visual directa de la cuantificación de eventos de floración dadas las estaciones del año, esto se hace con el fin de encontrar patrones que explican la variación sazonal y el crecimiento de algas en los balnearios del Lago de Itaipu en todos el período de observación. Se observó una clara falta de patrones estacionales, por lo que no fue necesario realizar pruebas estadísticas adicionales.

Para la Frecuencia y Recencia, una vez obtenidos sus valores porcentuales, los datos fueron transformados en una escala de crecimiento ordinal con 5 categorías buscando traducir grados de intensificación biológica. (Tabla 2). Estos intervalos representan una función monotonica por tramos, en la cual el aumento del porcentaje de observaciones en la serie de tiempo se traduce en saltos discretos de riesgo entre las clases, de forma a distinguir eventos ocasionales de floraciones frecuentes y recurrentes, siguiendo los estándares internacionales de escala de riesgo (USEPA, 2000, 2003).

**Tabla 2:** Categorización de crecimiento de floraciones de algas para los ejes de Frecuencia y Sazonalidad.

Frecuencia y Recencia	Escala
Muito Alto	>45%
Alto	>15 - 45%
Medio	>5 - 15%
Bajo	>0 - 5%
Ausente	Ninguna detección

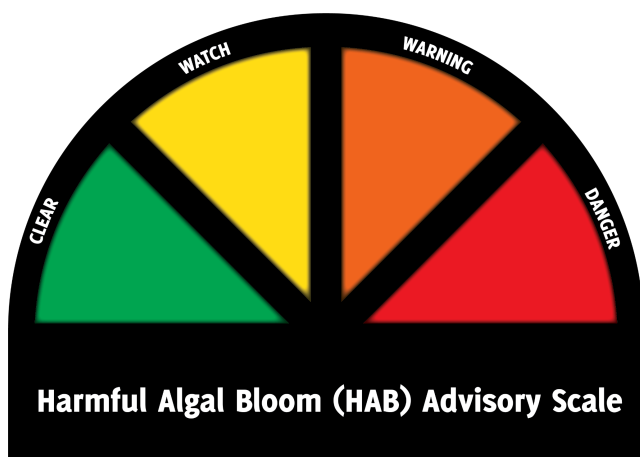
Fuente: Autor

## 2.5. CLASIFICACIÓN DE RIESGO Y PLAN DE MONITOREO

Fue estructurado un árbol de decisión basado en los principios clásicos de clasificación jerárquica propuestos en modelos de árboles de decisión (Brieman et. al., 1984) adaptados para evaluación de riesgo ambiental de acuerdo a modelos recomendados por la USEPA (2000, 2003).

Además, se elaboró una propuesta basado en las directrices del Departamento de Protección al Medio Ambiente de Nevada-USA, el cual es un sistema basado en mapa de calor y una serie de placas informativas sobre el uso del recurso hídrico en regiones afectadas por *bloom* de algas. (Figura 8)

**Figura 8:** Sistema modelo de Alertas para Floraciones de Algas en el Estado de Nevada-USA



**Fuente:** Nevada Division of Environmental Protection 2025. Disponible en: <https://ndep.nv.gov/water/rivers-streams-lakes/water-quality-monitoring/harmful-algal-bloom-program>

De esta forma, el sistema de colores adoptados tanto en árbol de decisión cuanto en placa siguen los principios consolidados de comunicación de riesgo, los cuales siguen las directrices internacionales de seguridad y salud (WHO, 1999; ISO 3864, 2011)

Al mismo tiempo se establece un plan de monitoreo de acuerdo a la legislación brasileña *Portaria n° 888/2021 - Ministerio de Salud* (Brasil, 2021) estableciendo Frecuencia mínima de toma de muestras, en las diversas áreas las cuales se encuentran susceptibles a la floración de algas, basado en el árbol de decisión anteriormente descrito. Este plan de monitoreo será clave para consolidar y dinamizar la aplicación del árbol de decisiones.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. SÍNTESES DE DOS DATOS OBTENIDOS

Fue realizada la inspección visual de las floraciones de algas en el ambiente virtual *AlgaeMap*, totalizando 4245 observaciones, de las cuales 397 (9,37%) corresponden a presencia de algas en el cuerpo hídrico, 2421 (57,16%) se encuadran en la categoría de ausencia y 1417 (33,45%) correspondientes a no lectura dada la presencia de nubes sobre el área de observación (Tabla 3).

**Tabla 3:** Observaciones totales (presencia, ausencia, sin lectura) para las diferentes áreas de recreación durante el período 2019-2025

Punto	Nombre Área de Recreación	Municipio	Presencia	% Presencia	Ausencia	Sin Lectura	Total
P1	Playa costanera	Salto del Guairá (PY)	0	0	250	135	385
P2	Parque de Lazer Arroio Guaçu	Mercedes (BR)	9	2,3	242	136	387
P3	Parque de Lazer Annita Wanderer	Marechal Cândido Rondon (BR)	25	6,4	228	133	386
P4	Parque de Lazer Entre Rios do Oeste	Entre Rios do Oeste (BR)	141	36,4	121	125	387
P5	Balneário Terra das águas	Santa Helena (Br)	26	6,7	242	116	384
P6	Balneário Vila Natal	Missal (BR)	12	3,1	243	131	386
P7	Prainha Jacutinga	Itaipulândia (BR)	23	5,9	234	130	387
P8	Balneário Ipiranga	São Miguel do Iguaçu (BR)	121	31,3	136	129	386
P9	Praia Alvorada do Iguaçu	Santa Terezinha de Itaipu (BR)	10	2,6	240	137	387
P10	Prainha Três Lagoas	Foz do Iguaçu (BR)	0	0	250	134	384
P11	Playa Tacurú Pucú	Hernandarias (PY)	30	7,7	235	121	386
	<b>Total</b>		397	9,3	2421	1417	<b>4245</b>

Fuente: Autor. BR: Brasil, PY: Paraguay.

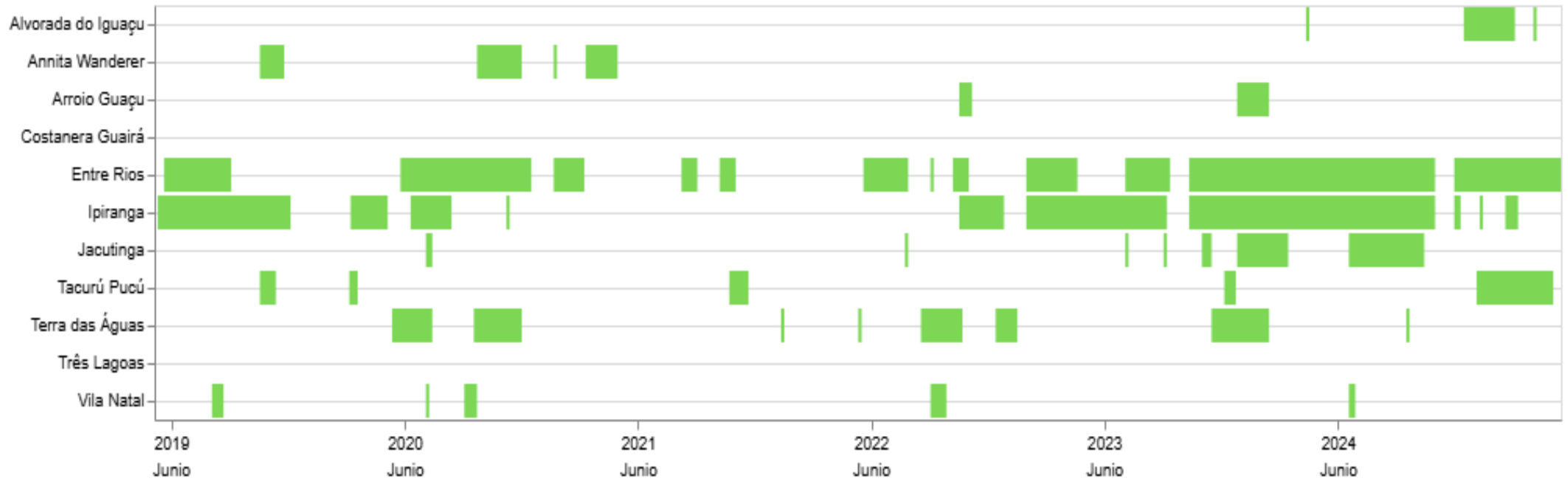
#### 3.2 PATRONES TEMPORALES

Una vez obtenidas todas las lecturas correspondientes al periodo de observaciones, se analizó cada uno de los balnearios presentes en el lago de Itaipu para así determinar sus patrones temporales, obteniendo de esta forma que algunas de las áreas de recreación

como *Prainha Três Lagoas* (Foz do Iguaçu) y *Playa Costanera* (Saltos del Guairá) no fue detectado ningún evento de floración de algas durante el período analizado. Caso contrario es observado en lugares como *Parque de Lazer Entre Rios do Oeste* (Entre Rios do Oeste) y *Balneario Ipiranga* (São Miguel do Iguaçu) donde la presencia de *blooms* fue constante durante el período de observación (Tabla 3).

De este modo, una vez cuantificados todos los datos, fue realizado un diagrama de Gantt (Figura 9) el cual permitió la visualización de las floraciones de algas en una escala de tiempo continua durante todo el período de observación. Por lo tanto, se realizó un ajuste por medio de reglas condicionales para la representación visual de la cronología, obteniendo así un criterio de continuidad temporal basado en un umbral de 30 días. De esta forma, los registros puntuales de presencia de algas se agrupan en un único bloque continuo siempre que el lapso entre detecciones consecutivas no supere dicho periodo. Por el contrario, una interrupción visual en la barra indica que transcurrió más de un mes sin registros positivos, lo que se interpreta como la finalización de un evento y el inicio de uno nuevo e independiente en las diferentes áreas de recreación.

**Figura 9:** Diagrama de Gantt para visualización de datos de floración de algas a escala diaria con aplicación de reglas condicionales manteniendo intervalos continuos de 30 días para cada evento de floración.



**Fuente:** Autor

## Frecuencia

Los datos sobre Frecuencia de floraciones algales mostraron resultados bastante variables, considerando que todos provienen del mismo reservorio, desde localidades sin floraciones detectadas hasta localidades con floraciones que cubren prácticamente la mitad del período analizado (Tabla 4).

**Tabla 4:** Análisis de Frecuencia para las áreas de recreación en el periodo de observación de 2019-2025 junto con escala de clasificación de riesgo.

Punto	Nombre Área de Recreación	Presencia	Ausencia	Total lidos	Frecuencia (%)	Escala*
P1	Playa costanera	0	250	250	0	Ausente
P2	Parque de Lazer Arroio Guaçu	9	242	251	3,6	Bajo
P3	Parque de Lazer Annita Wanderer	25	228	253	9,9	Medio
P4	Parque de Lazer Entre Rios do Oeste	141	121	262	53,8	Muy alto
P5	Balneário Terra das águas	26	242	268	9,7	Medio
P6	Balneário Vila Natal	12	243	255	4,7	Bajo
P7	Prainha Jacutinga	23	234	257	8,9	Medio
P8	Balneário Ipiranga	121	136	257	47,1	Muy alto
P9	Praia Alvorada do Iguaçu	10	240	250	4	Bajo
P10	Prainha Três Lagoas	0	250	250	0	Ausente
P11	Playa Tacurú Pucú	30	235	265	11,3	Medio

\* Escala según la tabla 03 de este estudio.

Fuente: Autor

De este modo podemos observar que en regiones como *Playa Costanera* y *Prainha Tres Lagoas* al no haber sido detectada ninguna floración de algas, su Frecuencia es de 0, encuadrados en la categoría de Ausente. En paralelo a esto, regiones como *Parque de Lazer Entre Rios do Oeste* y *Balneário Ipiranga* presentaron una Frecuencia muy alta siendo así (53,8%) y (47,1%) respectivamente, lo que nos indica que estas regiones son fuertemente afectadas por los eventos de floración de algas.

## Recencia

Los eventos de Recencia en el lago de Itaipu fue analizados teniendo en cuenta los registros observados de presencia/ausencia que ocurrieron en el último año (Jun/24 - Jun/25) para todos los puntos de recreación (Tabla 5)

Es posible observar, que lugares como *Playa Costanera* y *Prainha Tres Lagoas* son mejor encuadradas en la categoría de ausencia, patrón que se repite en los análisis de Frecuencia, sin embargo, podemos notar que regiones como *Parque de Lazer Arroio Guaçu* y *Parque de Lazer Annita Wanderer* en el último período de observaciones no tuvieron ningún evento de floración de algas, lo genera un contraste si se compara con la Frecuencia que corresponde al 3,6% y 9,9% (Bajo y Medio, respectivamente).

A su vez, regiones como *Alvorada do Iguaçu* y *Playa Tacurú Pucú* pasaron de tener una Frecuencia Baja y Media para un patrón de Recencia Alto en ambas localidades, lo que indica que en el último período analizado, los eventos de floraciones de algas para dichas regiones se vio incrementado.

Por otro lado, es posible observar que en áreas de recreación como *Parque de Lazer Entre Rios do Oeste* y *Balneário Ipiranga* permanecen con grandes eventos de floraciones de algas durante todo el período analizado (2019-2025) con una Frecuencia muy alta, como también una Recencia bastante marcante durante el último año de análisis Jun/24 - Jun/25

**Tabla 5:** Eventos de Recencia en las áreas de recreación del Lago de Itaipu para el período de Junio 2024 a Junio 2025 junto con escala de clasificación de riesgo

Punto	Nombre Área de Recreación	Presencia	Ausencia	Total lidos	Recencia (%)	Escala*
P1	Playa Costanera	0	35	35	0	Ausente
P2	Parque de Lazer Arroio Guaçu	0	33	33	0	Ausente
P3	Parque de Lazer Annita Wanderer	0	34	34	0	Medio
P4	Parque de Lazer Entre Rios do Oeste	36	4	40	90	Muy alto
P5	Balneário Terra das Águas	1	39	40	2,5	Bajo
P6	Balneário Vila Natal	2	42	44	4,5	Bajo
P7	Prainha Jacutinga	8	30	38	21	Alto
P8	Balneário Ipiranga	18	20	38	47,3	Muy alto

Continuación Tabla 10						
Punto	Nombre Área de Recreación	Presencia	Ausencia	Total lidos	Recencia (%)	Escala*
P9	<i>Praia Alvorada do Iguaçu</i>	9	26	35	25,7	Alto
P10	<i>Prainha Três Lagoas</i>	0	38	38	0	Ausente
P11	Playa Tacurú Pucú	16	22	38	42,1	Alto

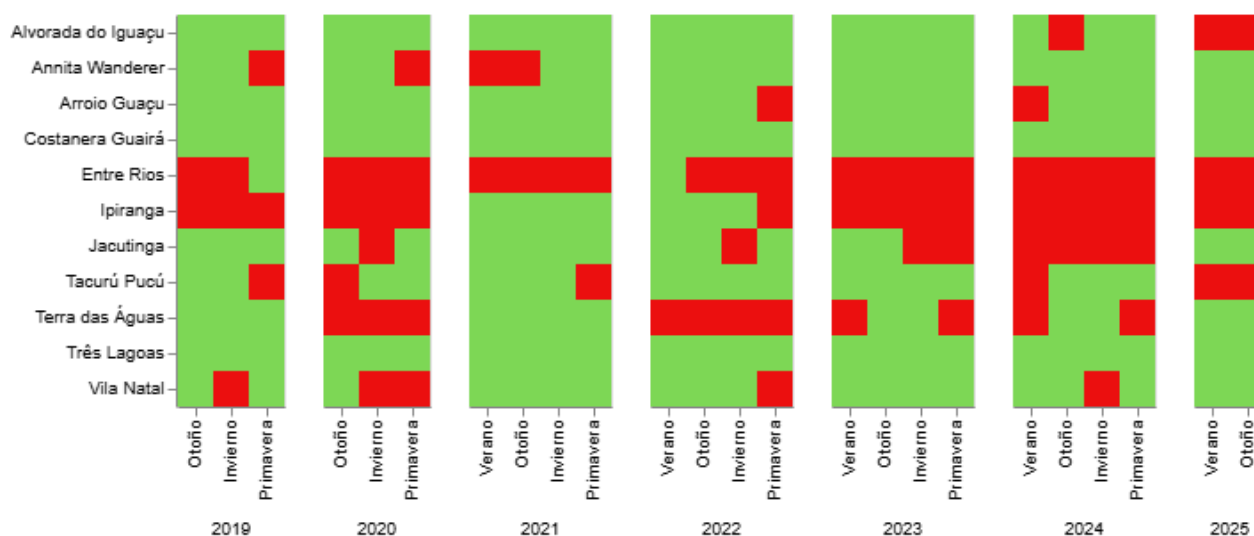
\* Escala determinada según la tabla 03 de este estudio.

Fuente: Autor

### Sazonalidad

Una vez después de analizadas las categorías de Frecuencia y Recencia para las áreas de recreación se comparó visualmente si existía algún patrón de Sazonalidad que estuviera relacionado con las floraciones de algas. Se observó por medio del mapa de calor (Figura 10), en donde se analizó una a una las diferentes áreas, su estación del año y si existió un evento de *bloom* en la región.

**Figura 10:** Mapa de calor para cada área de recreación con floración de algas para cada estación del año desde el período de 2019-2025



\*Verano de 2020 no fue cuantificado debido a la ausencia de lectura de datos para ese periodo.

Fuente: Autor

De esta forma, dadas las observaciones tenemos que, *Balneário Vila Natal* presentó floraciones de algas durante 3 de los 5 periodos más fríos del año, lo mismo ocurre en la *Prainha Jacutinga* que tuvo sus eventos de floración en el invierno durante 4 años, siendo interrumpido únicamente en invierno de 2019 y 2021, con énfasis especial para el año 2024, que hubo presencia de algas durante todas las estaciones del año.

Para otras regiones como: *Parque de Lazer Entre Rios do Oeste y Balneário Ipiranga*, no fue posible determinar un patrón de Sazonalidad definido, esto en razón de que las floraciones de algas están presentes durante todo el período de observación sin seguir ningún patrón de específico, pudiendo estar influenciado por otros factores como lo pueden ser el ingreso de nutrientes en el cuerpo hídrico o condiciones del agua.

### 3.3. CLASIFICACIÓN DE RIESGO Y PLAN DE MONITOREO

Dada la importancia sobre un plan de monitoreo constante en las diversas regiones afectadas por floraciones de algas las cuales pueden conllevar a problemas sobre la salud humana (Hlavsa *et. al.*, 2014), se propone el uso de un sistema de alertas. De esta forma, con los resultados observados anteriormente es posible determinar que existen áreas de recreación mayormente susceptibles a floraciones de algas. Por ello, se establece un sistema de alertas regional, el cual está comprendido por un mapa de calor para los balnearios del Lago de Itaipu. Además de ello, este sistema se acompaña de placas informativas, las cuales tienen como fin advertir a la población que hace uso de las áreas de recreación sobre la calidad del agua y ofrecer recomendaciones de seguridad frente a la presencia de algas. (Figura 11)

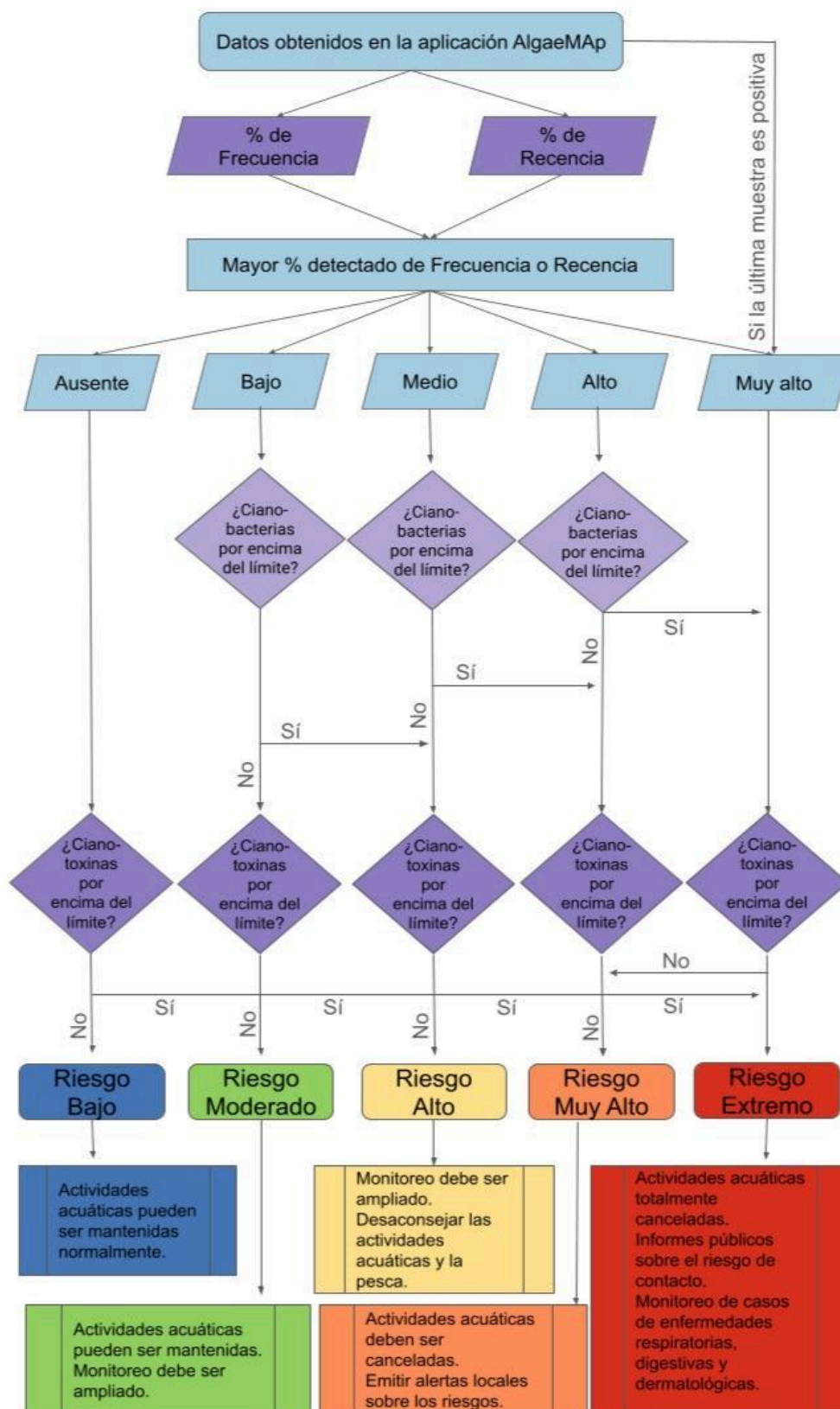
**Figura 11:** Sistema modelo de Alertas y prevención para los bañistas y moradores de las áreas de recreación en presencia o ausencia de Floraciones de Algas



**Fuente:** Autores

Por otro lado, llevando en consideración la susceptibilidad de las áreas de recreación para presentar floraciones de cianobacterias las cuales pueden llegar a ser nocivas para la salud humana (Lévesque, 2014) y de acuerdo a las resoluciones n° 274/2000 (Brasil, 2000) y n° 357/2005 (Brasil, 2005) del Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAMA-Brasil), como también la resolución n° 222/2002 (Paraguay, 2002) de la Secretaría del Ambiente (SEAM-Paraguay) que establecen las clases de agua y su destinación, se propone un sistema de monitoreo *in situ* con Frecuencia definida la cual se encontrará regida por la clasificación de riesgo y el árbol de decisión (Figura 12) para cada una de las áreas mencionadas basándose en los límites mínimos de periodicidad (Tabla 6) los cuales son definidos en la *Portaria* n° 888/2021 del *Ministerio de Saúde* (Brasil, 2021) la cual determina parámetros de calidad en la potabilidad del agua, así como también la frecuencia de monitoreo. No obstante, se hace un paralelo hacia esa normativa dado que actualmente no existe ninguna legislación que contemple clasificación de riesgo, frecuencia de monitoreo y acciones de prevención para las floraciones de algas con potencial nocivo en aguas de recreación.

**Figura 12:** Árbol de decisión sobre riesgo de floraciones algales en los balnearios del Lago de Itaipu



Fuente: Autores

**Tabla 6:** Propuesta de monitoramento de cianobacterias de acuerdo a su clasificación de riesgo

Clasificación de Riesgo	Frecuencia de Monitoreo
Ausente - Bajo	Trimestral
Medio	Bimestral
Alto	Mensual
Muy Alta	Quincenal
Extrema	Semanal

**Fuente:** Autor

Los análisis que serán realizados deben estar de acuerdo a los parámetros establecidos por las legislaciones específicas de cada país para la cuantificación de cianobacterias y cianotoxinas en medio acuático, además de su tratamiento, de esta forma se propone seguir las resoluciones y normativas respectivas. No obstante, se propone el uso de la Frecuencia de monitoreo anteriormente descrita (Tabla 6 y Figura 12) para cada una de las áreas de recreación, esto se realiza con el fin de prevenir que poblaciones humanas sean afectadas por la presencia de cianobacterias y/o cianotoxinas en las diferentes áreas de recreación.

Es fundamental destacar que la Frecuencia de monitoreo es dinámica y se ajustará en respuesta a la intensidad de los eventos de floración algal, siguiendo el protocolo anteriormente descrito para monitoreo y las legislaciones de cada país para su posterior tratamiento.

#### 4. DISCUSIÓN

Los patrones de Frecuencia y Recencia de floraciones algales observados en las áreas de recreación del embalse son un reflejo directo de la presión antrópica y las características estructurales de la Bacia Hidrográfica del Paraná 3. Esta región se caracteriza por un uso intensivo del suelo, facilitado por su composición predominante de Nitosol rojo eutroférico (38,24%) y latosoles rojos (eutroféricos y distroféricos), que en conjunto dominan la matriz edafológica de la región (Embrapa, 2006). Si bien estos suelos presentan altos tenores de óxidos de hierro y condiciones físicas favorables, poseen una limitación en su fertilización natural que obliga a la adición constante de fertilizantes externos para sostener la agricultura a gran escala. A este aporte difuso se suma la presión puntual de una urbanización que abarca 213,270 km<sup>2</sup> (2,55% del área total), compuesta por centros urbanos como Foz do Iguaçu, Medianeira, Cascavel y Toledo (Feiden *et al.*, 2014), los cuales utilizan los recursos hídricos tanto para abastecimiento como para la descarga de efluentes.

Esta configuración territorial explicada por Stivari y colaboradores (2005) los cuales mencionan que la topografía y el uso del suelo presente en la zona de transición y zona fluvial, maximiza la entrada de materiales halógenos dentro del embalse, aumentando las concentraciones de nutrientes en el ambiente. En la zona de transición, áreas como el Parque de Lazer Entre Rios do Oeste y el Balneario Terra das Águas sufren floraciones recurrentes debido a que las subcuencas de los ríos San Francisco y San Francisco Falso actúan como receptores principales de descargas urbano-industriales (Silva *et al.*, 2010). Por otro lado, el Balneario Ipiranga presenta una dinámica distinta impulsada por el Río Ocoí; aquí, el aporte de nutrientes está fuertemente vinculado a las actividades agropecuarias, destacándose la presión de la suinocultura (Silva *et al.*, 2009; Costa-Jr *et al.*, 2016). En conjunto, estos hallazgos confirman que la susceptibilidad a los blooms en cada área de recreación no es aleatoria, sino que responde a la tipología específica de uso del suelo y manejo de efluentes en sus respectivas subcuencas.

En contraste, los balnearios situados en la región lacustre exhiben una dinámica opuesta, caracterizada por una menor incidencia de floraciones algales y Frecuencias de ocurrencia relativamente bajas, tal como se evidencia en la Prainha Três Lagoas. Este comportamiento se alinea con el modelo de zonificación longitudinal descrito por Ribeiro-Filho (2011). Según el autor, aunque la zona lacustre ofrece condiciones físicas favorables (particularmente una mayor transparencia y penetración de luz), no suele desarrollar grandes concentraciones de clorofila-a. Esta limitación productiva se debe al agotamiento progresivo de la carga de nutrientes que ingresa al sistema, los cuales ya han

sido asimilados o sedimentados durante su paso previo por las zonas fluvial y de transición, llegando a la zona lacustre en concentraciones insuficientes para sostener blooms masivos.

Sin embargo, regiones como Balneário Alvorada do Iguaçu y Playa Tacurú Pucú a pesar de estar ubicadas en una región lacustre y tener una Frecuencia Baja y Media respectivamente, se observa que han presentado eventos de floración reciente. Esto permite identificar patrones contrastantes para las áreas de recreación, lo que puede estar asociado al aumento de los nutrientes disponibles en el ambiente, contribuyendo así a la productividad primaria en el ecosistema (Esteves, 1988) alcanzando niveles de biomasa superiores a los que naturalmente se podría encontrar (Chalar 2006 *Apud* Montemurro 2017),

Por otro lado, la presencia de floraciones durante periodos de bajas temperaturas en áreas como el Balneário Vila Natal y Prainha Jacutinga evidencia que la dinámica de los *blooms* en el embalse de Itaipu no se rige exclusivamente por la temperatura. Por el contrario, estos eventos responden a una interacción donde prevalece la disponibilidad de nutrientes disueltos en el agua y el aporte continuo de carga orgánica.

Asimismo, los eventos de floraciones de algas en las áreas de recreación representan un potencial riesgo para la salud humana, donde el contacto directo o indirecto puede causar diversas enfermedades en las poblaciones como lo demostrado en el artículo de instigación de Kouakou (2019). Además de ello, la presencia de *bloom* en una región se presenta como un gran desafío para la gestión pública dados los costes para el tratamiento de las enfermedades relacionadas a la exposición con algas, pudiendo variar desde \$64 USD para el tratamiento de gastroenteritis causado por el contacto primario con agua contaminada (Raltson, *et. al.*, 2011) hasta \$5,3 Millones de dólares por fallecimiento (Morin *et. al.*, 2016) proveniente de toxinas producidas por cianobacterias.

De este modo, teniendo en cuenta que las floraciones de algas en el Lago de Itaipu son diferentes entre sí, dada su Frecuencia, Recencia y Sazonalidad, generando problemáticas las cuales pasan por diversos ejes de actuación como lo son órganos de medio ambiente, de salud pública y gestión de territorio se hace importante la implementación de políticas que permitan un mejor uso del agua. Silvarrey (2021) y Sukenik (2021) proponen alternativas para el control y mejoría de la calidad de los recursos hídricos como lo son: establecimiento del límite diario de carga de nutrientes en el sistema, monitoreo constante y efectivo de las cuencas hidrográficas, además de prácticas de remoción de nutrientes del ambiente como lo propuesto a su vez por el Instituto Ambiental del Paraná (2004). Por ello se hacen necesarias alternativas para el monitoreo, especialmente para regiones de mayor riesgo aquellas clasificadas en categorías de Alto y Muy Alto. Esto incluye el tratamiento de los cuerpos

hídricos, siguiendo directrices propuestas por los órganos ambientales, además de un sistema que consiga alertar a la población sobre el uso de las áreas de recreación en ausencia o presencia de algas en el ambiente.

No obstante, cabe resaltar que el presente trabajo surge como un levantamiento inicial sobre el estado trófico de los balnearios en el lago de Itaipu, sin embargo, por su vez, este posee limitaciones dado por la obtención de datos los cuales se vieron interferidos por la interferencia de nubes en las áreas de recreación, subestimando la observación de la presencia o ausencia de algas para la región. Otro limitante es la no cuantificación directa de la clorofila-a y cianotoxinas para su comparación con datos obtenidos en campañas de monitoreo *in situ*.

Por último, este estudio establece un análisis dinámico con escala temporal para las floraciones de algas basado en Frecuencia, Recencia y Sazonalidad, usando herramientas de teledetección, generando así un sistema de alertas para la población que hace uso de los balnearios, además de un plan de monitoreo adaptativo el cual visa mantener un control sobre los recursos hídricos de gran porte. Planteamos que este sistema puede ser mejorado y automatizado, transformándolo en una herramienta efectiva de gestión regional.

## 5. CONCLUSIÓN

El presente estudio evidencia que el monitoreo ambiental en los balnearios del Lago de Itaipu es una herramienta indispensable para la gestión de recursos hídricos y la protección de la salud pública, dada la heterogeneidad espacial observada en la calidad del agua. Los resultados mostraron que, mientras algunas áreas recreativas se mantienen libres de eventos, otras como el *Parque de Lazer Entre Rios do Oeste* y *Balneario Ipiranga* presentan una Frecuencia de floración Muy Alta (>45%), impulsada por la presión antrópica y el uso del suelo en sus respectivas subcuencas. Esta variabilidad demuestra la necesidad de implementar estrategias de vigilancia para mitigar los riesgos sanitarios asociados a las cianotoxinas, cumpliendo así con las normativas ambientales vigentes en Brasil y Paraguay.

La implementación de nuevas tecnologías de teledetección, específicamente a través de la herramienta *AlgaeMap*, demostró ser eficaz para analizar patrones temporales en grandes cuerpos de agua donde el muestreo *in situ* es logísticamente complejo.

El análisis de la serie histórica (2019-2025) permitió identificar métricas clave de Frecuencia y Recencia, revelando patrones de Estacionalidad inesperados, como la presencia de floraciones invernales en ciertos puntos, lo que desafía la percepción de que estos eventos son exclusivos de los meses cálidos.

Aunque existen limitaciones como la cobertura de nubes, el uso de datos satelitales ofrece una solución costo-efectiva y complementaria que permite una visión macroscópica y dinámica del estado trófico del embalse.

Finalmente, la integración de estos datos técnicos en un sistema de alerta accesible es fundamental para salvaguardar a la población. La propuesta de un árbol de decisiones vinculado a un sistema de comunicación visual, basado en estándares internacionales de gestión de riesgos, permite traducir información compleja en acciones preventivas claras para los bañistas. Este enfoque no solo promueve un uso seguro de las áreas recreativas mediante advertencias oportunas sobre el contacto con el agua, sino que también establece un plan de monitoreo adaptativo, garantizando una respuesta ágil ante la aparición de Floraciones de Algas Nocivas (FAN).

## REFERENCIAS

ACHÁ, Darío *et al.* Algal bloom exacerbates hydrogen sulfide and methylmercury contamination in the emblematic high-altitude lake titicaca. **Geosciences (Switzerland)**, v. 8, n. 12, 1 dez. 2018.

AL HAFFAR, Molham *et al.* **Lesser-Known Cyanotoxins: A Comprehensive Review of Their Health and Environmental Impacts.** **Toxins** Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), , 1 dez. 2024.

BINDING, C. E. *et al.* Reporting on the status, trends, and drivers of algal blooms on Lake of the Woods using satellite-derived bloom indices (2002–2021). **Journal of Great Lakes Research**, v. 49, n. 1, p. 32–43, 1 fev. 2023.

BLÁHA, Luděk; BABICA, Pavel; MARŠÁLEK, Blahoslav. Toxins produced in cyanobacterial water blooms - toxicity and risks. **Interdisciplinary Toxicology**, v. 2, n. 2, p. 36–41, 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n. 274, de 29 de agosto de 2000.** Define as condições de balneabilidade das águas brasileiras. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 167, p. 77-78, 30 ago. 2000.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n. 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria GM/MS n. 888, de 4 de maio de 2021.** Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 84, p. 116-126, 6 maio 2021.

BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J. H.; OLSHEN, R. A.; STONE, C. J. **Classification and regression trees.** Belmont: Wadsworth International Group, 1984.

COSTA JR., Ismael L. *et al.* IV-019 – Índice de qualidade nas águas do Rio Ocoí, tributário do Reservatório de Itaipu-PR. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17., 2016, Florianópolis. **Anais.** Rio de Janeiro: ABES, 2016.

CUELLAR-MARTINEZ, Tomasa *et al.* Addressing the problem of harmful algal blooms in Latin America and the Caribbean- A regional network for early warning and response. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, n. NOV, 8 nov. 2018.

EDUARDO FERREIRA DA SILVA GADELHA, José; MARIA LOURES DE OLIVEIRA MARCIONÍLIO, Suzana. **CONSEQUÊNCIAS DA EUTROFIZAÇÃO EM CORPOS HÍDRICOS CONSEQUENCES OF EUTROPHICATION IN WATER BODIES.** 2022.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia.** 3ra. ed. 1998

**FAO. EL ESTADO DE LOS RECURSOS DE TIERRAS Y AGUAS DEL MUNDO PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA.** Roma:

FEIDEN, Armin (Coord.); GRANDI, Adriana Maria de; SEIDEL, Edleusa Pereira; SILVA, Nardel Luiz Soares da; SILVA, Pedro Celso Soares da; ZONIN, Wilson João. Uso agropecuario. In: **PRODUTO 06 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO - PLANO DA BP3: versão final.** Cascavel (Paraná), 2014. p. [27 - 58].

GENITSARIS, Savvas; KORMAS, Konstantinos Ar; MOUSTAKA-GOUNI, Maria. **Airborne Algae and Cyanobacteria: Occurrence and Related Health Effects.** [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<http://scholar.google.com>>.

GRIFFITH, Andrew W.; GOBLER, Christopher J. **Harmful algal blooms: A climate change co-stressor in marine and freshwater ecosystems.** *Harmful Algae* Elsevier B.V., 1 jan. 2020.

GUERRINI MONTEMURRO, Daniel. **Balance de nutrientes y eutrofización en ríos y embalses de la cuenca del Río Negro (Uruguay).** 2017. [54]. Tesina (Licenciatura en Ciencias Biológicas) – Universidad de la República, Facultad de Ciencias, Sección Limnología, Montevideo, 2017.

HLAVSA, Michele C. et al. Recreational Water–Associated Disease Outbreaks — United States, 2009–2010. **Morbidity and Mortality Weekly Report**, Atlanta, GA, v. 63, n. 1, p. [6-10], 10 jan. 2014.

IGWARAN, Aboi *et al.* **Cyanobacteria Harmful Algae Blooms: Causes, Impacts, and Risk Management.** *Water, Air, and Soil Pollution* Institute for Ionics, 1 jan. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 3864-1:2011 — Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Part 1: **Design principles for safety signs and safety markings.** Geneva: ISO, 2011.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 1999 a 2004.** Curitiba, 2004. 13 p.

ITAIPU BINACIONAL. **Geração.** Foz do Iguaçu. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>. Acesso em: 27 nov. 2025.

KOUAKOU, Christian R. C.; PODER, Thomas G. Economic impact of harmful algal blooms on human health: a systematic review. **Journal of Water and Health**, v. 17, n. 4, p. 499-516, ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.2166/wh.2019.064>.

KRUK, C. *et al.* Herramientas para el monitoreo y sistema de alerta de floraciones de cianobacterias nocivas: Río Uruguay y Río de la Plata. **INNOTEC**, n. 10, p. 23-39, 2015

LAMPARELLI, Marta Condé. Monitoramento de qualidade das águas: uso de bioindicadores e novos desafios. In: BARBOSA, Luiz Mauro (Org.). **Restauração ecológica: novos rumos e perspectivas.** São Paulo: Instituto de Botânica, 2015. p. 137-138.

LOBO, Felipe de Lucia *et al.* Algaemap: Algae bloom monitoring application for inland waters in Latin America. **Remote Sensing**, v. 13, n. 15, 1 ago. 2021.

MAGALHÃES, V. F.; SOARES, R. M.; AZEVEDO, S. M. F. O. Microcystin contamination in fish from the Jacarepagua Lagoon (Rio de Janeiro, Brazil): ecological implication and human health risk. **Toxicon**, v. 39, n. 7, p. 1077-1085, 2001.

MAY, Nathaniel W. *et al.* **Unexpected contributions of sea spray and lake spray aerosol to inland particulate matter.** [*S.l.: S.n.*].

MORIN, Ewen; GATTI, Clémence; BAMBRIDGE, Tamatoa; CHINAIN, Mireille. Ciguatera fish poisoning: Incidence, health costs and risk perception on Moorea Island (Society archipelago, French Polynesia). **Harmful Algae**, v. 60, p. 1-10, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.10.003>.

MORRIS, Zachary James; STOMMEL, Elijah W.; METCALF, James Spencer. **Airborne Cyanobacterial Toxins and Their Links to Neurodegenerative Diseases.** **Molecules** Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), , 1 jun. 2025.

NEUMANN, U. *et al.* Co-Occurrence of Non-toxic (Cyanopeptolin) and Toxic (Microcystin) Peptides in a Bloom of *Microcystis* sp. from a Chilean Lake. **Systematic and Applied Microbiology**, v. 23, n. 2, p. 191-197, 2000.

ONU. **World Population Prospects 2024: Summary of Results.** [*S.l.: S.n.*].

PAERL, Hans W. *et al.* **Mitigating cyanobacterial harmful algal blooms in aquatic ecosystems impacted by climate change and anthropogenic nutrients.** **Harmful Algae** Elsevier B.V., , 2016.

PAERL, Hans W.; BARNARD, Malcolm A. **Mitigating the global expansion of harmful cyanobacterial blooms: Moving targets in a human- and climatically-altered world.**

PARAGUAY. Secretaría del Ambiente (SEAM). **Resolución n. 222, de 22 de abril de 2002.** Por la cual se establece el padron de calidad de las aguas en el territorio nacional. Gaceta Oficial, Asunción, 22 abr. 2002.

PÉREZ, DS; SORACI, AL; TAPIA, MO. CIANOBACTERIAS Y CIANOTOXINAS: ROL DE LAS MICROCISTINAS EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL Y SU DETECCIÓN EN MUESTRAS DE AGUA. 2008.

PLAAS, Haley E.; PAERL, Hans W. **Toxic Cyanobacteria: A Growing Threat to Water and Air Quality.** **Environmental Science and Technology** American Chemical Society, , 5 jan. 2021.

RALSTON, Erin P.; KITE-POWELL, Hauke; BEET, Andrew. An estimate of the cost of acute health effects from food- and water-borne marine pathogens and toxins in the USA. **Journal of Water and Health**, v. 9, n. 4, p. 680-694, dez. 2011. DOI: <https://doi.org/10.2166/wh.2011.157>.

RIBEIRO FILHO, Raimundo A.; PETRERE JUNIOR, Miguel; BENASSI, Silvia F.; PEREIRA, Jorge M. A. Itaipu Reservoir limnology: eutrophication degree and the horizontal distribution of its limnological variables. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 4, p. [14], nov. 2011.

RODRÍGUEZ PALACIO, M. C.; LOZANO RAMÍREZ, C.; MARTÍNEZ HERNÁNDEZ, M.; CABRERA CRUZ, R. B. E. Eutrofización y florecimientos algales nocivos (FAN). Caso de estudio: laguna del Carpintero, Tampico, Tamaulipas, México. **Tópicos selectos de ingeniería y ciencias ambientales.** Cd. Victoria: Universidad Autónoma de Tamaulipas; Ciudad de México: Editorial Fontamara, 2022. p. 43-59.

ROSET, J.; AGUAYO, S.; MUÑOZ, M. J. Detección de cianobacterias y sus toxinas: una revisión. **Revista de Toxicología**, Pamplona, v. 18, n. 2, p. 65-71, 2001.

SHI, Jia H. *et al.* Aerosolized Cyanobacterial Harmful Algal Bloom Toxins: Microcystin Congeners Quantified in the Atmosphere. **Environmental Science and Technology**, v. 57, n. 51, p. 21801–21814, 26 dez. 2023.

SILVA, G. S. DA . *et al.*. Avaliação da qualidade das águas do Rio São Francisco Falso, tributário do reservatório de Itaipu, Paraná. **Eclética Química**, v. 35, n. 3, p. 117–122, set. 2010

SILVA, G. S. DA . *et al.*. Phosphorus and nitrogen in waters of the ocoí river sub-basin, Itaipu reservoir tributary. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 9, p. 1580–1588, 2009.

SILVARREY, Ana; SPOSITO, Vera; FAGGIAN, Riccardo. Climate change and cyanobacteria harmful algae blooms: adaptation practices for developing countries. **Marine & Freshwater Research**, v. 72, n. 11, p. 1722-1734, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1071/MF21081>.

STIVARI, SS., OLIVEIRA, AP. and SOARES, J., 2005. On the climate impact of the local circulation in the Itaipu Lake Area. **Climatic Change**, vol. 72, p. 103-121

STUMPF, Richard P. *et al.* Interannual variability of cyanobacterial blooms in Lake Erie. **PLoS ONE**, v. 7, n. 8, 1 ago. 2012.

SUKENIK, A.; KAPLAN, A. Cyanobacterial Harmful Algal Blooms in Aquatic Ecosystems: A Comprehensive Outlook on Current and Emerging Mitigation and Control Approaches. **Microorganisms** 2021, 9, 1472. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071472>

TUNDISI, José; TUNDISI, Takako. **Limnologia**. São Paulo: 2008 v. I

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Guidelines for ecological risk assessment**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2000.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Framework for cumulative risk assessment**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2003.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management**. London: E & FN Spon on behalf of the World Health Organization, 1999.

ZARAGOZA-MARTÍ, María Francisca. EL AGUA COMO CLAVE DEL ECODESARROLLO URBANO: PAISAJE, PATRIMONIO, TERRITORIO Y SOCIEDAD. **Barataria. Revista Castellano-Manchega de Ciencias Sociales**, n. 28, p. 67–76, 7 mar. 2021.

APÉNDICE I - CANTIDAD DE NUBES OBSERVADAS Y SU PORCENTAJE POR ÁREA DE RECREACIÓN Y AÑO.

Punto	Nombre Área de Recreación	2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025	
		#	%	#	%	#	%	#	%	#	%	#	%	#	%
P1	Playa costanera	6	14,6	13	25	27	39,1	23	37,1	28	44,4	23	37,7	15	40,5
P2	<i>Parque de Lazer Arroio Guaçu</i>	11	26,8	14	26,9	22	30,9	23	37,1	26	41,3	24	39,3	16	43,2
P3	<i>Parque de Lazer Annita Wanderer</i>	11	27,5	13	25	23	32,4	22	35,5	23	36,5	25	40,9	16	43,2
P4	<i>Parque de Lazer Entre Rios do Oeste</i>	11	26,8	11	21,1	19	26,8	25	39,7	22	35,5	23	37,7	14	37,8
P5	<i>Balneário Terra das águas</i>	10	24,4	9	18,7	19	26,8	21	33,9	25	39,7	20	32,8	12	31,6
P6	<i>Balneário Vila Natal</i>	10	24,4	15	29,4	24	33,3	20	32,2	26	41,3	24	40	11	30,5
P7	<i>Prainha Jacutinga</i>	12	29,3	12	23,1	20	28,2	21	33,9	26	41,3	23	37,7	16	43,2
P8	<i>Balneário Ipiranga</i>	11	28,9	13	23,2	19	26,8	25	40,3	24	39,3	22	36,1	15	40,5
P9	<i>Praia Alvorada do Iguaçu</i>	10	24,4	14	28,6	20	28,6	22	34,9	26	40,6	24	39,3	11	37,9
P10	<i>Prainha Três Lagoas</i>	10	25	10	19,2	22	31,4	25	40,9	28	44,4	25	40,9	14	37,8
P11	Playa Tacurú Pucú	9	21,9	13	25,5	21	29,6	18	29	24	38,1	22	36,1	14	37,8