

● MONITOREO SATELITAL DE CALIDAD DE AGUA · CONSTELACIONES SENTINEL Y LANDSAT

Dique del Fuerte

El **Lago del Fuerte**, el espejo de agua urbano de **Tandil**: un embalse artificial de ~16 hectáreas al pie de las sierras, nacido como obra de defensa tras las inundaciones de 1951 (presa de 35 m de altura, inaugurada en 1962, sobre el sistema del arroyo Languetú) y convertido en el centro recreativo de la ciudad — kayak, pesca, balneario y el paseo más clásico del tandilense. Un cuerpo de agua donde la gente **se mete al agua**: acá el estado trófico no es solo un dato ambiental — es información pública de uso. Este informe presenta ocho años de monitoreo satelital mensual y el **semáforo trófico**: el estado de la última pasada, en un color.

Perímetro 7 vértices · 32,5 ha

Serie satelital 2018–2026

Pasadas core-water 95

Revisita ~5 días

~16 ha

Espejo detectado (huella completa) · 10 ha en el 100% de las escenas

95

Pasadas core-water 2018–2026 · 95 de 105 meses — la serie más densa de la plataforma

TSI 64

Eutrófico (mediana 2018–2026, escala ADA 1207/19) · clorofila-a mediana ~37 mg/m³

7

Pasadas hipertróficas (TSI > 70) · repartidas en 5 años distintos

● LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El perímetro y el espejo

El análisis se recorta al polígono real del lago (7 vértices, 32,5 ha). El espejo se detecta automáticamente (NDWI) dentro de ese límite y se filtra al **cuerpo de agua contiguo principal**; acá la detección salió limpia: **un único componente conectado, sin falsos positivos urbanos**. Huella completa: ~16 ha (núcleo estable ≥50% de las escenas: 15 ha; mejor escena única, 5-oct-2023: 16 ha). Centro: **37°21'S, 59°08'O** (−37,345, −59,130).



La demarcación. Los 7 vértices del perímetro (32,5 ha) sobre la escena Sentinel-2 del 4-sep-2026 (5,7% de nubes). El lago, encajonado entre el cerro y el casco urbano.



El **espejo detectado** (azul): ~16 ha de huella completa como unión de 15 escenas despejadas, un solo cuerpo conectado. La clorofila se mide solo sobre esta agua.

Con qué y cómo se mide

Un **método** antes que un sensor: **recolectar primero, analizar después, concluir solo si el dato lo sostiene**. Sin tesis previa. Se combinan óptico, térmico, radar cuando es necesario y un archivo histórico de cuatro décadas de imágenes satelitales.

Estándar de referencia: **Copernicus Global Land Service — Lake Water Quality**.

Método — Lago del Fuerte, huella completa. La extensión del agua se mide como la **unión de las pasadas despejadas** (NDWI): **~16 ha** de espejo real. El análisis trófico se calcula sobre el **núcleo de agua abierta** (core-water) — la franja de orilla queda fuera: es píxel mixto que sesgaría el índice. Series mensuales, mejor escena limpia por mes; una escena que no observa el lago completo se **descarta** y **los huecos se muestran, no se interpolan**. Es el mismo pipeline, sin un solo parámetro ajustado, que corre en los demás cuerpos de la plataforma — las cifras son comparables entre espejos. En este lago el filtro de cobertura deja pasar casi todo: **95 de 105 meses** con escena confiable, la serie más densa que midió la plataforma.

El diagnóstico: eutrófico, con floraciones recurrentes

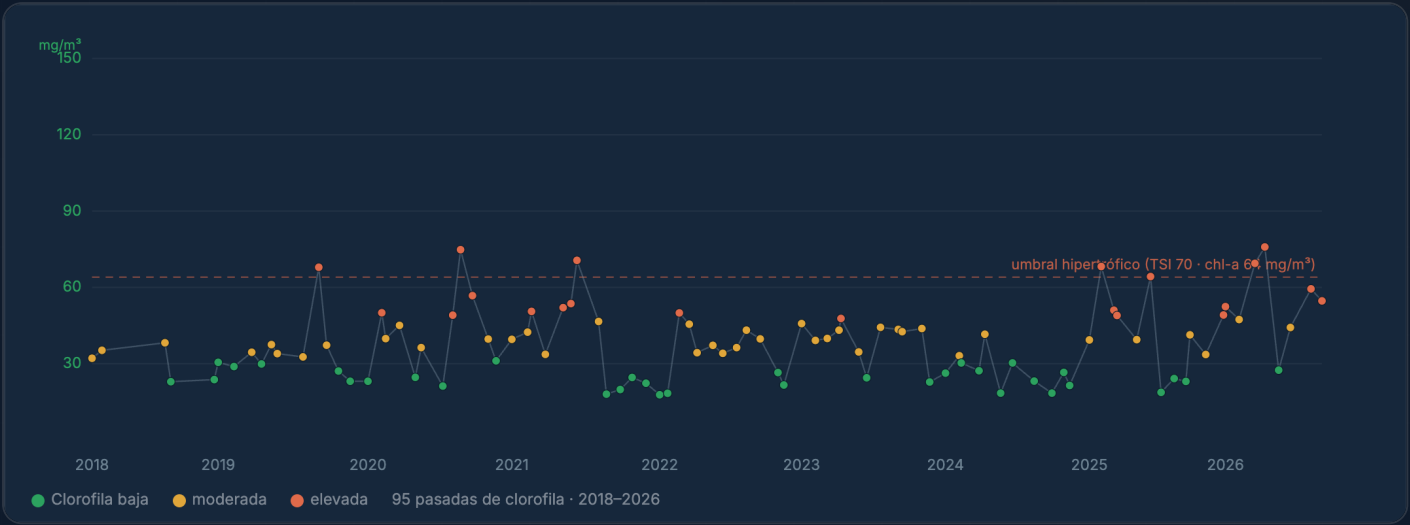
Se traduce la clorofila (NDCI) a **clorofila-a** y de ahí al **Índice de Estado Trófico (TSI)** — computado con la fórmula de la Res. ADA 1207/19 (Carlson modificado por Aizaki), la escala con la que la Provincia regula sus espejos de agua. El Lago del Fuerte se clasifica **EUTRÓFICO** (TSI ≈ 64 , mediana 2018–2026; clorofila-a mediana $\sim 37\text{ mg/m}^3$): agua productiva, con exceso de nutrientes. **7 de las 95 pasadas** superan el umbral hipetrófico (TSI 70), repartidas en **cinco años distintos** (2019, 2020, 2021, 2025 y 2026): la floración no es acá un evento aislado sino un rasgo recurrente del lago. Varias caen en meses fríos (junio, julio, septiembre): en este lago **el invierno no garantiza tregua**.



Método (estándar): NDCI $\rightarrow$ clorofila-a por el modelo de **Mishra & Mishra (2012)** $\rightarrow$ **TSI de la Res. ADA 1207/19** (Carlson modificado por Aizaki 1981: $TSI = 10 \cdot (2,46 + \ln Chl / \ln 2,5)$, la fórmula del art. 9). Clases: <40 oligotrófico · $40\text{--}50$ mesotrófico · $50\text{--}70$ eutrófico · >70 hipetrófico. El modelo de Mishra deja de ser informativo por debajo de $NDCI \approx -0,22$ (su piso); en este lago la salvedad es teórica: **ninguna de las 95 pasadas se acercó al piso** — el agua siempre tuvo firma algal medible. **La clasificación es una estimación satelital sin calibración local** (la clase es robusta; el valor absoluto de mg/m^3 es indicativo). Es el método canónico de la plataforma, para que las cifras sean comparables entre espejos. Prioriza y orienta el muestreo.

Serie temporal de clorofila (2018–2026)

La **clorofila-a** del lago (mg/m³), pasada por pasada, medida sobre el núcleo de agua. La línea punteada marca el **umbral hipertrófico** (chl-a ≈ 64 mg/m³, TSI 70). Los huecos son meses sin escena confiable — se muestran, no se interpolan.



El patrón de la serie: una base eutrófica alta y sostenida (mediana anual entre TSI 60 y 66 durante 2018–2025) con floraciones que asoman en años distintos: septiembre-2019, septiembre de 2020, julio-2021, febrero y junio de 2025. El año más tranquilo fue 2024 (mediana TSI 60). El dato que manda hoy es el **deterioro reciente: 2026 es el peor año de la serie** — mediana TSI 68, 2 pasadas hipertróficas en 8 (marzo y abril), agosto a un punto del umbral (TSI 69) y el **pico histórico de los ocho años el 12-abr-2026 (clorofila-a 76 mg/m³, TSI 72)**. Los últimos doce meses corren con mediana TSI 67.

Nota sobre régimen — una diferencia declarada: en los espejos del corredor Paraná–Luján que monitorea la plataforma (Nordelta, El Naudir, El Cazal), el año crítico común fue 2020, sincronizado con la bajante histórica del Paraná. El Lago del Fuerte también registró una hipertrófica en 2020 (septiembre; octubre quedó justo debajo del umbral) — pero su serie no se organiza alrededor de ese evento: es un **embalse serrano de la cuenca del Salado** (arroyo Langueyú), gobernado por las lluvias locales y los nutrientes de su propia cuenca urbana, y sus floraciones se reparten en cinco años distintos. La validación cruzada regional del corredor no aplica acá — no es una anomalía del método, es otro régimen hidrológico.

Nota sobre temperatura: la serie térmica **estándar** de la plataforma exige píxeles de agua pura de Landsat (píxel de 100 m, lejos de la orilla), solo alcanzable en espejos grandes. En el Lago del Fuerte (~16 ha) la erosión de 100 m de orilla deja apenas ~3 píxeles térmicos puros — por debajo de ese estándar, y un desplazamiento de registro de un píxel los contamina. Por eso no se publica serie térmica. Limitación física del sensor, declarada — no un dato omitido.

2026: el peor año de los ocho medidos

Lo notable de 2026 no es un pico aislado sino el **corrimiento de toda la línea de base**: la mediana anual saltó a TSI 68 — por encima de la mediana de cada uno de los siete años anteriores (el máximo previo era 66). El otoño lo resume: marzo hipertrófico (TSI 71), abril con el **máximo histórico de la serie** (clorofila-a 76 mg/m³, TSI 72), y tras una tregua breve en mayo, agosto volvió a pegarse al umbral (TSI 69) — **una floración severa en pleno invierno serrano**. La última pasada (4-sep-2026) mide TSI 68,3: el lago llega a la primavera — su estación históricamente más productiva — con la línea de base en su punto más alto.

POR QUÉ IMPORTA EN UN LAGO DE USO RECREATIVO

En un espejo ornamental, un año malo es un dato ambiental. En el Lago del Fuerte — kayak, pesca, balneario, el paseo central de Tandil — es **información de uso público**: la diferencia entre un verde intenso en el agua y una floración de cianobacterias no se ve desde la orilla, y el riesgo sanitario (dermatitis, gastroenteritis, toxinas) lo confirma solo el análisis de campo. Lo que el satélite aporta es la **señal temprana con fecha**: documentó el corrimiento de 2026 pasada por pasada, antes de que ningún muestreo puntual pudiera verlo como tendencia.

● NOVEDAD DE PRODUCTO · IDEA SURGIDA DEL DIÁLOGO CON ESPECIALISTAS

El estado del lago, en la escala oficial de ADA

El panel web de este informe incorpora en su cabecera el **estado actual en la escala oficial de la Res. Conjunta ADA 1207/19 (art. 9)**: la **última pasada satelital** traducida al color que la norma asigna a su TSI — **0–20 Verde · 21–40 Verde Claro · 41–60 Amarilla · 61–80 Naranja · 81–100 Roja** — siempre con la fecha de la pasada y la edad del dato. El TSI se computa con la fórmula del art. 9 (Carlson modificado por Aizaki, 1981) y el color se calcula automáticamente del mismo dato crudo que alimenta la serie — no hay curaduría editorial entre el satélite y el color.



NARANJA · TSI 68

Al cierre de este informe: TSI **68,3** (eutrófico) · clorofila-a estimada **55 mg/m³** · pasada del **4-sep-2026** · escala del art. 9, Res. ADA 1207/19 (umbral de multa: TSI > 80 sostenido dos semestres, art. 10). En el panel web el estado se actualiza con cada pasada nueva (~5 días, según nubosidad).

Qué es (y qué no es): el estado trófico satelital en la escala oficial de la Res. ADA 1207/19 — riesgo de floración algal estimado por clorofila (NDCI → Mishra & Mishra 2012 → TSI con la fórmula del art. 9). **No es un veredicto sanitario, no habilita ni prohíbe el uso del agua, y no reemplaza la DDJJ del art. 8** (laboratorio habilitado por OPDS, cadena de custodia Res. 41/14, firma de profesional matriculado): el satélite estima clorofila, no cianotoxinas — la confirmación es siempre muestreo de campo. Complementa el tipo de vigilancia que promueven el **Programa de Gestión Integral de Cianobacterias de la Provincia de Buenos Aires** y las directrices nacionales para aguas recreativas, como señal temprana de priorización: le dice al gestor **cuándo intensificar el muestreo** y al público **qué estado tenía el agua en la última observación**, en la misma escala en la que el espejo declara ante la autoridad.

Cuatro décadas del lago, desde el espacio: 1985 → 2025

El mismo perímetro, cuatro décadas de archivo satelital (41 escenas anuales de verano). El embalse ya llevaba dos décadas llenado cuando arranca el archivo: lo que se observa es la **estabilidad del espejo** — el nivel controlado por la presa — y la transformación del entorno, con el casco urbano de Tandil creciendo hasta rodearlo.



1985 • el lago con su entorno serrano aún abierto, dos décadas después del llenado.



2025 • el mismo espejo, rodeado por el crecimiento urbano de Tandil.

Fuente: archivo satelital histórico (Programa USGS/NASA), escenas de verano de baja nubosidad. Composición color real. El perímetro (cian) es el límite actual del lago, constante en todas las épocas para comparar.

● SÍNTESIS

Estado actual del cuerpo de agua

El Lago del Fuerte es un cuerpo **eutrófico alto** (TSI mediana 64, clorofila-a $\sim 37 \text{ mg/m}^3$) con floraciones recurrentes: 7 pasadas hipertróficas en ocho años, repartidas en cinco años distintos, incluidas varias en meses fríos. La serie — 95 pasadas, la más densa de la plataforma — muestra un cuerpo estable en su nivel alto hasta 2025 y un **deterioro claro en 2026**: el peor año medido, con el pico histórico en abril y la línea de base anual en su punto más alto. Al cierre de este informe, en la escala oficial de la Res. ADA 1207/19, el lago entra a la primavera en **NARANJA** (TSI 68) — la banda 61–80 de la norma, con el umbral de multa en 80.

Lectura: este es un lago donde la gente se mete al agua, y donde el estado trófico es información pública de uso. El valor del monitoreo satelital acá es doble: la **línea de base continua** que documenta el deterioro de 2026 con fecha y magnitud, y el **semáforo actualizado con cada pasada** como señal temprana — para que el gestor priorice el muestreo de campo, que es el único que confirma o descarta cianotoxinas. Recomendación operativa concreta: **muestreo dirigido ahora, al inicio de la primavera 2026**, con el lago llegando al umbral en su estación de mayor riesgo.