Global Gateway

Cofinanciado por la Unión Europea

cooperación alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

PROGRAMA EUROCLIMA

Informe de entrega de productos

INFORME CAMPAÑA CALIDAD DE AGUA TOMA HERNANDEZ: Campaña de calidad de agua en el área de influencia de la toma Hernández y análisis de resultados

Nombre de la consultoría: Modelación hidrológica e hidrodinámica del río Paraná y modelo de detalle de calidad de agua en la Toma Hernández para distintos escenarios de clima futuro

Fecha: 14 de noviembre de 2025

País: Argentina

Producido: Instituto Nacional del Agua

Implementado por:

aecid
Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo

INA
Instituto Nacional del Agua

Este informe se ha elaborado para el Programa EUROCLIMA de la Unión Europea,

Se enmarca en la acción Apoyo a la *Territorialización de la Acción Ambiental con foco en Adaptación al Cambio Climático*, que se desarrolla dentro del proyecto "Estudios para mejorar la gestión del agua en un contexto de cambio climático"

AUTORIDADES del INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA

PRESIDENTE (A/C del despacho)
Lic. Bartolomé HEREDIA

GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS
Ing. Fernando José ZÁRATE

SUBGERENTE LABORATORIO DE HIDRÁULICA
Dr. Ing. Pablo Ezequiel GARCÍA

SUBGERENTE LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS
Bioq. Yanina EL KASSISSE

SUBGERENTE CENTRO REGIONAL LITORAL
Ing. Jorge COLLINS

PERSONAL PARTICIPANTE EN LA REALIZACIÓN DEL SIGUIENTE TRABAJO

SUBGERENCIA LABORATORIO DE HIDRÁULICA

Téc. Fernando Gustavo Pereyra

PROGRAMA HIDRÁULICA COMPUTACIONAL

Mag. Lic. Nicolás E. ORTIZ
Dr. Ing. Pablo E. GARCIA
Ing. Martín SABAROTS GERBEC
Ing. Santiago GUIZZARDI
Mag. Ing. Martiano RE

SUBGERENCIA LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS

LABORATORIO EXPERIMENTAL DE TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES

Sra. Silvia MOYANO
Lic. Carolina MUJICA
Téc. Qco. Nelson DIAZ
Lic. Bárbara GOMEZ
Lic. Marisol REALE
Sr. Germán LOZA
Téc. Qca. Lorena MARQUINA
Dra. Virginia ZAPLARA
Lic. Valeria RODRIGUEZ SALEMI

SUBGERENCIA CENTRO REGIONAL LITORAL

Lic. Esteban COLLINS
Ing. Rosana MAZZON
Ing. Jorge COLLINS
Dra. Silvia RAFAELLI

INFORME ELABORADO POR:

Lic. Bárbara M. GOMEZ
Lic. Marisol REALE
Lic. Valeria RODRIGUEZ SALEMI
Ing. Martín SABAROTS GERBEC

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 7
2. ÁREA DE ESTUDIO 8
3. RELEVAMIENTO DE CALIDAD DE AGUA 10
    3.1. MUESTREO 14
    3.2. DETERMINACIONES EN CAMPO 21
    3.3. DETERMINACIONES EN LABORATORIO 25
    3.4. ANÁLISIS DE DATOS 26
4. RESULTADOS 29
    4.1. RESULTADOS CAMPAÑA INA 29
        4.1.1. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DURANTE LOS MUESTREOS 29
        4.1.2. VARIABLES DE CALIDAD DE AGUA 35
    4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS INA - ASSA EN TOMA HERNÁNDEZ 53
5. SÍNTESIS 61
6. REFERENCIAS 64
ANEXO I 65
ANEXO II 74
ANEXO III 80

LISTADO DE ACRÓNIMOS

ASSA	Aguas Santafesinas Sociedad Anónima
COD	Carbono Orgánico Disuelto
CE	Conductividad Eléctrica
OD	Oxígeno Disuelto
SST	Sólidos Suspendidos Totales
DQO	Demanda Química de Oxígeno

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde al Producto 4 de la consultoría "Modelización Hidrológica e Hidrodinámica del Río Paraná y Modelo de Detalle de Calidad de Agua en la Toma Hernández para distintos Escenarios del Clima Futuro", financiada por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y coordinada por la Universidad Nacional de Quilmes.

Este entregable se enmarca dentro de las actividades prevista en el componente 2 de la consultoría, "Modelo de detalle en el área de influencia de la Toma Hernández", cuyo objetivo general es evaluar los impactos del cambio climático sobre la calidad del agua cruda en la zona de captación de la Toma Hernández, en la ciudad de Santa Fe. Las actividades asociadas al presente producto comprenden:

- **Actividad 2.2**: Analizar la calidad del agua superficial del curso del cual capta la toma Hernández de la ciudad de Santa Fe, así como la de los afluentes cercanos que podrían tener algún tipo de influencia sobre la misma; a través de un muestreo y determinación de parámetros físico-químicos. La información generada deberá servir de base para la calibración y validación del modelo de calidad de agua de detalle.
- **Actividad 2.4**: Determinar analíticamente la calidad de agua en la zona de influencia de la toma Hernández.

El presente informe describe la metodología de trabajo implementada para el muestreo, y análisis de las muestras de agua superficial. Asimismo, se presentan y analizan los resultados obtenidos, incluyendo su comparación con los datos correspondientes a la campaña INA 2023 de aforo y calidad de agua en la Toma Hernández (PNUD SDP N° 23/ 2022) y con la información provista por la empresa prestataria ASSA.

Estos resultados constituyen una base fundamental para la calibración y validación del

modelo de detalle de calidad de agua en la Toma Hernández, contribuyendo a una mejor comprensión de la dinámica actual del sistema para fortalecer las capacidades de planificación y adaptación frente a escenarios futuros de cambio climático.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La campaña de calidad de agua se llevó a cabo en el área de influencia de la Toma Hernández (31° 38' 40.16" S, 60° 41' 12.02" O), situada sobre el río Santa Fe. La misma se encuentra ubicada en la ciudad de Santa Fe, Provincia de Santa Fe (**Figura 1**), cuya operación está a cargo de la empresa ASSA.

Luego de desestimar el muestreo de pluviales aledaños al área de estudio por considerarse que los mismos no tienen influencia, ni aportan cambios significativos en lo que respecta a la calidad del agua de la Toma (Producto 1b-Plan de Trabajo). A partir del conocimiento de la zona del grupo de trabajo y por reuniones de intercambio con representantes de la empresa ASSA, quienes identificaron al arroyo Saladillo como uno de los afluentes con mayor influencia en la calidad de agua de la toma, se resolvió reemplazar las muestras originalmente previstas para caracterizar los pluviales por tres puntos de muestreos en afluentes aguas arriba con potencial influencia sobre la calidad del agua de la toma.



Figura 1: Ubicación de la toma Hernández, Ciudad de Santa Fe.

Los puntos seleccionados fueron:

- Arroyo Saladillo, permite conocer la influencia del arroyo en la calidad del agua que ingresa a la laguna Setúbal.
- Arroyo Leyes, permite conocer la influencia del arroyo en la calidad del agua que ingresa a la laguna Setúbal.
- Laguna Setúbal (margen derecho), altura Playa Norte, permite conocer la calidad del agua de la laguna y evaluar aportes por escorrentías.

Finalmente, la zona considerada en el presente estudio comprende: Laguna Setúbal, los arroyos Saladillo y Leyes, el Riacho Santa Fe, y el tramo del río Santa Fe comprendido entre la salida de la laguna Setúbal y la toma Hernández (**Figura 2**).

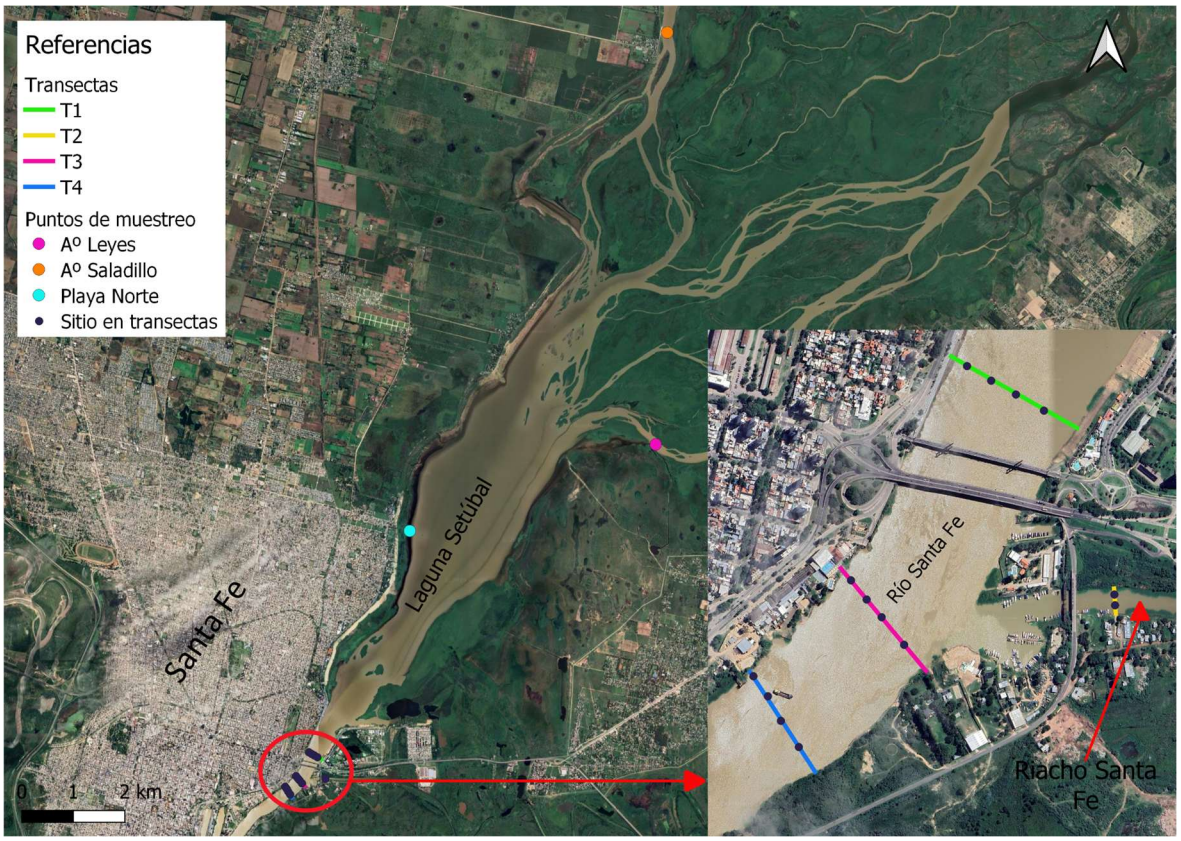


Figura 2: Ubicación de las transectas y puntos de muestreo, Santa Fe, Provincia de Santa Fe, Argentina.

3. RELEVAMIENTO DE CALIDAD DE AGUA

A continuación, se detallan las actividades realizadas y la metodología implementada durante la campaña de calidad de calidad de agua en la Toma Hernández, llevada a cabo los días 16, 17 y 18 de septiembre de 2025, en forma simultánea con la campaña de aforo.

Durante el 2023, el INA realizó una campaña de aforo y calidad de agua en la Toma Hernández en el marco del proyecto PNUD (2022), generando una caracterización del agua cruda captada y promoviendo instancias de intercambio con el personal técnico de

ASSA. A partir de dicha experiencia, se definió un conjunto de parámetros (Tabla 1), prioritarios tanto para el monitoreo ambiental como para los procesos de potabilización. Por recomendación de ASSA se incorporó el parámetro de materia orgánica (MO) por la técnica de UV, dado que es un parámetro control que utiliza la empresa, mientras que el COD se incluyó como parámetro complementario.

Las actividades desarrolladas incluyen la toma de muestra de agua superficial, mediciones in situ, pretratamiento de muestras y mediciones en campo y laboratorio.

Los preparativos del muestreo, el material empleado y los procedimientos implementados se realizaron conforme a lo indicado en el informe PNUD 2022.

Las diferentes instancias de medición de parámetros (in situ, campo y laboratorio) se encuentran asociadas al tiempo de validez y los requerimientos de preservación de cada determinación.

Los envases de muestreo, con su respectiva etiqueta, lavado y preservante, fueron preparados con antelación, al igual que el equipamiento para la toma de muestra, conservadoras, elementos de seguridad y protección personal.

La colecta, almacenamiento, preservación y transporte de las muestras se realizó siguiendo protocolos estandarizados (APHA, AWWA, & WEF., 2023; EPA, 2007).

Los envases se lavaron conforme los requerimientos específicos de cada determinación.

En el caso de las muestras para clorofila a, las botellas fueron cubiertas con papel aluminio para evitar la degradación del pigmento por exposición a luz.

Para asegurar la integridad analítica de los parámetros que no podían medirse en campo, se empleó un freezer-heladera portátil, lo que permitió mantener las muestras a temperaturas adecuadas, evitando la degradación de los compuestos de interés.

En el caso de aquellas determinaciones que requerían ajuste de pH para conservar el compuesto, se aplicaron conservantes una vez llegadas las muestras a tierra.

El resto de las muestras correspondientes a parámetros que no requerían congelación, se

mantuvieron en heladera y fueron transportadas en conservadoras térmicas, manteniéndose refrigeradas mediante packs refrigerantes hasta su ingreso al laboratorio. La georreferenciación de los puntos muestreados se efectuó mediante GPS registrando la información utilizando la aplicación Locus Map.

Tabla 1: Parámetros fisicoquímicos y biológicos a determinar, con sus respectivos tiempos de validez, condiciones de preservación, técnicas analíticas y límites de detección (LD) y cuantificación (LC). La información se basa en procedimientos estandarizados.

Parámetro	Tiempo de validez	Envase		Preservante	Pretratamiento	eterminación	LD	LC	Técnica analítica
		Tipo	Vol. (L)						
pH	< 15 min	*in situ*		SP	no	*in situ*	--	0.1 upH	SM 24th 4500-H+-B
CE	28 días	*in situ*		SP	no	*in situ*	--	0.1 µS/cm	SM 24th 2510-B
OD	inmediato	*in situ*		SP	no	*in situ*	--	0.1 mg O_2/L	SM 24th 4500-O-H
Turbidez	24 hs	P	0.05	SP	no	en campo	--	0.1 NTU	SM 24th 2130-B
SST	7 días	P	1	SP	Filtrar por fibra de vidrio 1.2 µm	laboratorio	--	1 mg/L	SM 24th 2540-D
DQO	28 días	V	0.1	H_2SO_4, pH<2	no	laboratorio	--	10 mgO_2/L	SM 24th 5220-D
Ortofosfatos	48 hs	V	0.25	SP	Filtrar por fibra de vidrio 0.7 µm	en campo	0.01 mg P-PO_4^{3-}/L	0.03 mg P-PO_4^{3-}/L	SM 24th 4500-P-E
N-Nitratos	48 hs	P	0.1	SP	Filtrar por fibra de vidrio 0.7 µm	en campo	--	0.1 mgN-NO_3^-/L	SM 24th 4500-NO3- D
N- amoniacal	28 días	V	1	H_2SO_4, pH<2	Filtrar por fibra de vidrio 0.7 µm	en campo	--	0.1 mgN-NH_3^+/L	SM 24th 4500-NH3-D
Cloruros	28 días	P	0.5	SP	Filtrar por fibra de vidrio 0.7 µm	en campo	--	0.1 mgCl^-/L	SM 24th 4500-Cl- B
Materia orgánica	48 hs	V	0.25	SP	Filtrar por fibra de vidrio 0.7 µm	en campo	--	0.010 cm^{-1}	SM 24th 5910 B
COD	7 dias	V	0.1	H_2SO_4, pH<2	Filtrar por fibra de vidrio 0.7 µm	laboratorio	0.15 mg/L	0.5 mg/L	SM 24th 5310- B
Clorofila a y feofitina	48 hs	P	1	SP	Filtrar por fibra de vidrio 0.7 µm	laboratorio	--	1 µg/L	SM 24th 10200-H
Fe y Mn total	6 meses	V	0.5	HNO_3, pH<2	No	laboratorio	0.010 mg Fe/L	0.050 mg Fe/L	USEPA 3015 - SM 24th 3111 A y B
Fe y Mn disuelto	6 meses	V	0.5	HNO_3, pH<2	Filtrar por acetato de celulosa 0.45 µm	laboratorio	0.010 mg Fe/L	0.050 mg Fe/L	USEPA 3015 - SM 24th 3111 A y B

P: Plástico, V: Vidrio ámbar, SP: Sin preservante.

3.1. MUESTREO

El muestreo se llevó a cabo durante tres días consecutivos con el propósito de asegurar la representatividad de las condiciones hidrológicas y de calidad de agua y reducir la incidencia de posibles variaciones puntuales asociadas a la dinámica del sistema o eventos aislados.

El diseño de muestreo contempló cuatro transectas principales y tres puntos aguas arriba (**Figura 2**). En las transectas 1, 3 y 4 se tomaron cuatro muestras distribuidas transversalmente, lo que permitió representar la heterogeneidad lateral del cuerpo de agua sin incluir puntos en los extremos. En la transecta 2, debido a su menor ancho, se tomaron únicamente dos muestras distribuidas en la sección.

- La Transecta 1 (T1), ubicada aguas arriba del Puente Colgante Ing. Marcial Candioti, tiene un ancho de 320 metros; en ella se tomaron muestras a los 36 (T1-20), 119 (T1-40), 163 (T1-60) y 240 (T1-80) metros desde la margen, permitiendo caracterizar la calidad del agua proveniente de la Laguna Setúbal, principal aporte al cauce superior.
- La Transecta 2 (T2), ubicada sobre el Riacho Santa Fe en cercanías de su desembocadura, presenta un ancho de 40 metros; en este caso, se colectaron muestras a los 9 (T2-35) y 36 (T2-65) metros.
- La Transecta 3 (T3), ubicada entre la confluencia del Riacho Santa Fe y la toma, tiene una longitud de 274 metros, y las muestras se tomaron a los 50 (T3-20), 90 (T3-40), 140 (T3-60) y 213 (T3-80) metros, con el fin de capturar la dinámica de mezcla entre ambos cursos.
- Por último, la Transecta 4 (T4) se encuentra ubicada a la altura de la Toma Hernández, sobre un cauce de 261 metros de ancho, donde las muestras se tomaron a los 20 (T4-20), 70 (T4-40), 125 (T4-60) y 200 (T4-80) metros

aproximadamente, representando directamente las condiciones del agua en el punto de captación.

En paralelo a la toma de muestras de las transectas, se tomaron tres muestras puntuales aguas arriba de la transecta T1. Los puntos fueron:

- Arroyo Saladillo
- Arroyo Leyes
- Laguna Setúbal (margen derecho), altura Playa Norte.



Figura 3: Embarcaciones utilizadas: a. Tecno 430. b. Suzuki 4T

Dadas las distancias entre los puntos ubicados aguas arriba de la transecta T1 y la cantidad total de sitios a muestrear en las distintas transectas, se conformaron dos equipos de trabajo con el fin de garantizar que la recolección y el procesamiento de las muestras se realizaran dentro de la misma jornada.

El primer equipo abarcó el área comprendida por las cuatro transectas principales y utilizó para sus actividades una lancha cabinada del astillero Benavidez, de 6,40 m de eslora, equipada con un motor fuera de borda Suzuki 4T de 70 HP, con capacidad para seis personas (**Figura 3.b**).



Figura 4: Secuencia de toma de muestra en los puntos de transectas con muestreador tipo roseta.

El segundo equipo se encargó del muestreo en los puntos correspondientes al Arroyo Saladillo, Arroyo Leyes y Playa Norte, empleando para ello una lancha Tecno 430 con motor de 50hp 2t, con capacidad para 4 personas (**Figura 3.a**).

La toma de muestras de agua se realizó a una profundidad subsuperficial. El muestreo en los puntos de transectas se llevó a cabo con un muestreador manual tipo roseta diseñado y construido íntegramente por personal del INA (**Figura 4**). En el **ANEXO I** se detalla el diseño y armado del mismo.

En los sitios ubicados en el A° Saladillo, A° Leyes y Playa Norte, la toma de muestras se realizó mediante la inmersión manual de las botellas (**Figura 5**).

El procedimiento de muestreo incluyó además la recolección de un blanco de campo y una muestra por duplicado (tomados en Playa Norte), con el objetivo de evaluar la metodología implementada y asegurar la representatividad e integridad de los datos. En cada sitio y día de muestreo se registró la coordenada geográfica correspondiente a la toma de muestra, la identificación de cada sitio se presenta en la **Tabla 2** y en las **Figura 6** y **Figura 7**.

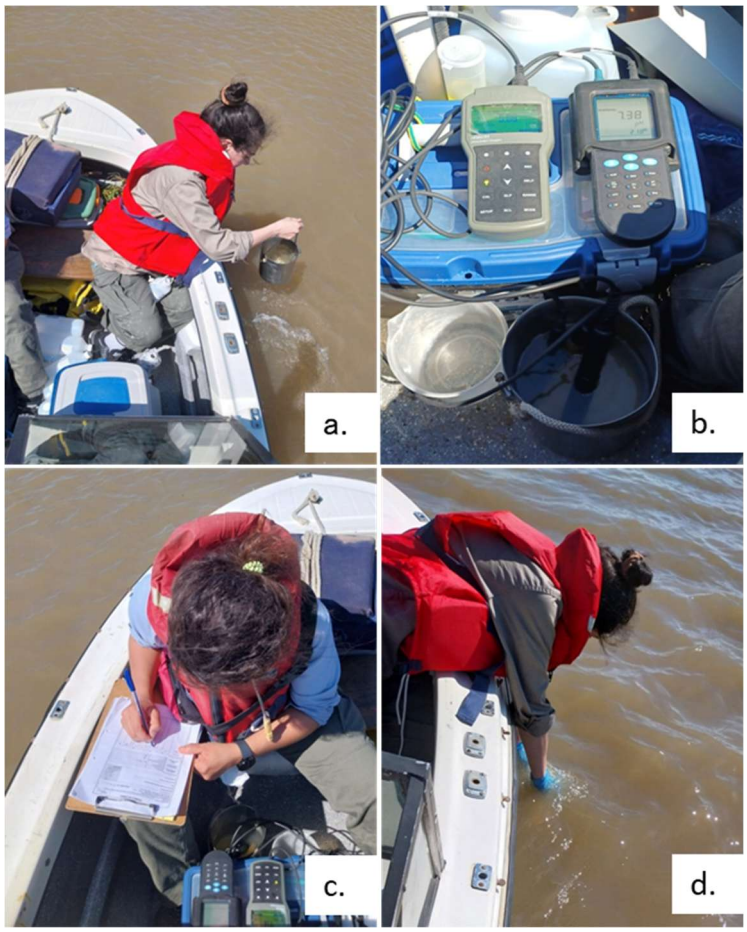


Figura 5: Procedimiento de muestreo implementado en los tres sitios puntuales aguas arriba. a) Toma de muestra para medición de parámetros *in situ*. b) y c) Medición y registro de resultados. d) Toma de muestra de parámetros para medición en campo y laboratorio

Tabla 2: Coordenadas geográficas por sitio y fecha.

Sitio_Fecha	Latitud	Longitud	Sitio_Fecha	Latitud	Longitud
ASAL_160925	-31.5128217	-60.6081533	T2_65_160925	-31.6429561	-60.6786533
ALEY_160925	-31.581755	-60.6137767	T3_20_160925	-31.6423356	-60.6840762
PN_160925	-31.5992967	-60.6588683	T3_40_160925	-31.6426492	-60.6837242
PN_DC_160925	-31.5993767	-60.6588467	T3_60_160925	-31.6430071	-60.6833802
T1_20_160925	-31.6384281	-60.6815619	T3_80_160925	-31.6433785	-60.6829964
T1_40_160925	-31.6385841	-60.6808019	T4_20_160925	-31.6443361	-60.686334
T1_60_160925	-31.6387789	-60.6804001	T4_40_160925	-31.6446962	-60.6860332
T1_80_160925	-31.6389217	-60.6798924	T4_60_160925	-31.6449968	-60.6858106
T2_35_160925	-31.6428588	-60.6786799	T4_80_160925	-31.6455932	-60.685388
ASAL_170925	-31.5127567	-60.608210	ASAL_180925	-31.512740	-60.608220
ALEY_170925	-31.5817483	-60.6137183	ALEY_180925	-31.5817483	-60.6137183
PN_170925	-31.599430	-60.6588517	PN_180925	-31.5994533	-60.6589217
T1_20_170925	-31.6382693	-60.6814844	T1_20_180925	-31.6380571	-60.6815626
T1_40_170925	-31.6386202	-60.6807875	T1_40_180925	-31.6385465	-60.681073
T1_60_170925	-31.638618	-60.6802817	T1_60_180925	-31.6389252	-60.6804296
T1_80_170925	-31.6388374	-60.6794813	T1_80_180925	-31.639369	-60.6800857
T2_35_170925	-31.6427732	-60.6784434	T2_35_180925	-31.6427591	-60.6780695
T2_65_170925	-31.6429937	-60.6783387	T2_65_180925	-31.6430458	-60.6781365
T3_20_170925	-31.6425152	-60.6840515	T3_20_180925	-31.6420753	-60.6840453
T3_40_170925	-31.6427026	-60.6836303	T3_40_180925	-31.6424398	-60.6834891
T3_60_170925	-31.6430839	-60.6834787	T3_60_180925	-31.6430764	-60.6833116
T3_80_170925	-31.6435583	-60.6827803	T3_80_180925	-31.6436702	-60.6830119
T4_20_170925	-31.6442908	-60.6862637	T4_20_180925	-31.6443225	-60.6865223
T4_40_170925	-31.6446105	-60.6859663	T4_40_180925	-31.6446339	-60.6860032
T4_60_170925	-31.6450363	-60.6857599	T4_60_180925	-31.645097	-60.6856872
T4_80_170925	-31.6457511	-60.685411	T4_80_180925	-31.6455062	-60.6852355

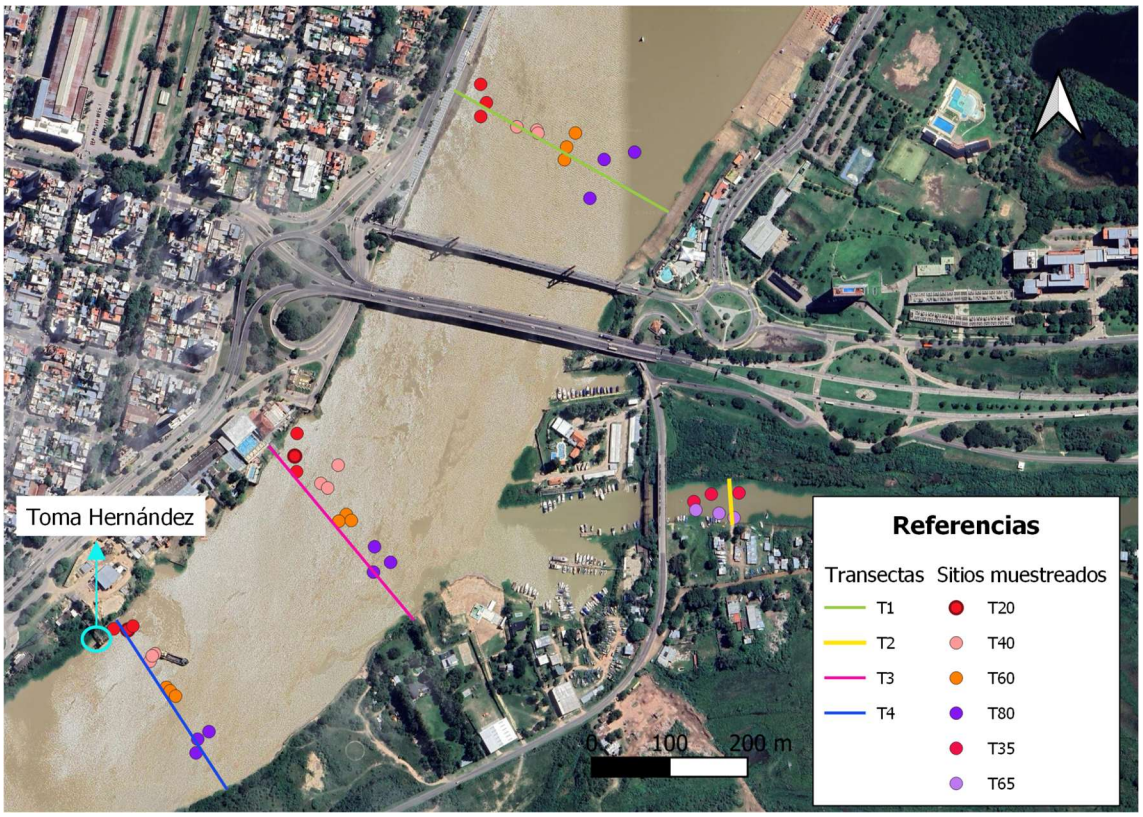


Figura 6: Ubicación de sitios muestreados por transectas.

Toda la información asociada a cada punto de muestreo, como las variables meteorológicas, y/o aquellas observaciones que se consideraron relevantes, así como los resultados de las mediciones in situ fue registrada en la planilla de campo.

De forma simultánea a la toma de muestra, se colectó agua en un balde para la medición de las determinaciones *in situ* de: pH, CE y OD. Los equipos utilizados fueron dos multiparamétricos portátil Hach (HQ4300 (**Figura 9.a.**) y SensIon156 (**Figura 8**)) y un oxímetro Hanna (Hi 98193) (**Figura 5.b**). Todos los equipos fueron calibrados previamente con sus correspondientes soluciones. Luego de cada medición los sensores fueron enjuagados con agua destilada previo a la medición del siguiente punto.

Durante el tiempo de muestreo, las muestras fueron colocadas en conservadoras, para mantenerlas al resguardo de la luz.

Una vez finalizado el muestreo, se procedió, en tierra, al procesamiento de las muestras, preservación, filtración y mediciones de aquellos parámetros que lo requerían.

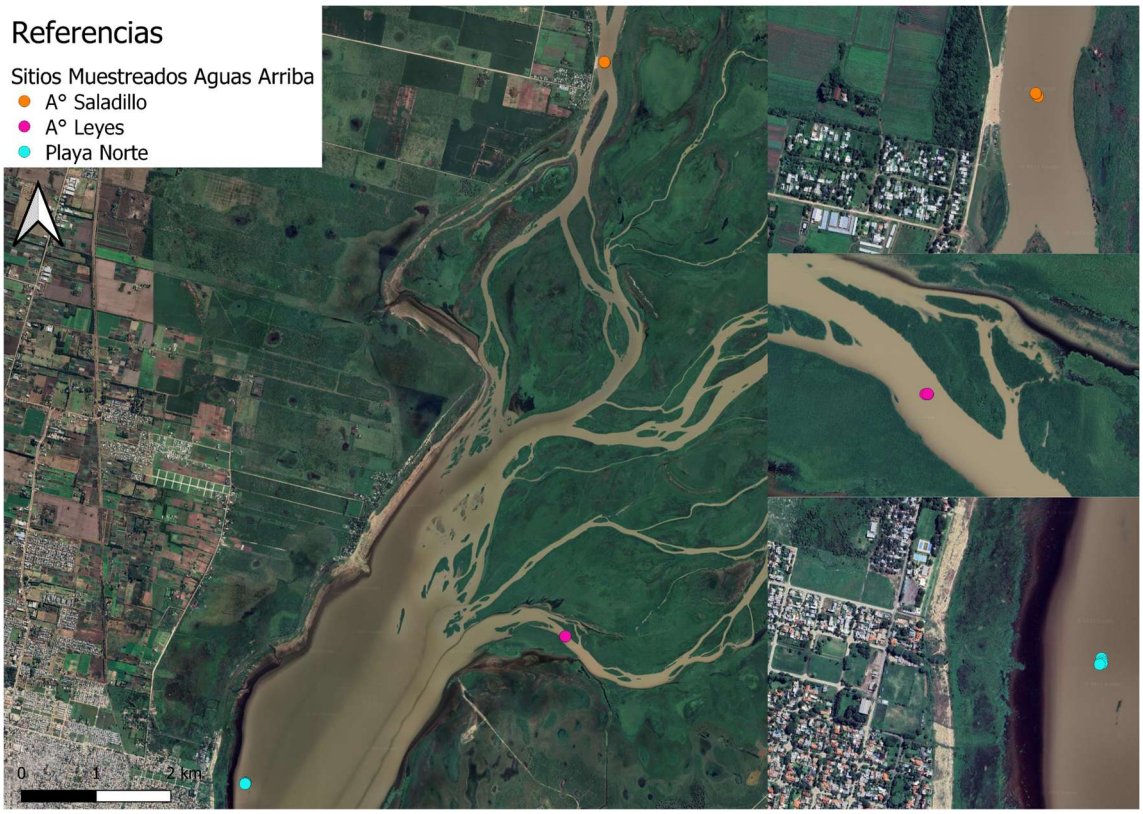


Figura 7: Ubicación de sitios muestreados aguas arriba.



Figura 8: Calibración del equipo multiparamétrico Hach SensIon156.

3.2. DETERMINACIONES EN CAMPO

Las actividades de procesamiento en campo para los parámetros seleccionados se organizaron en función de su tiempo de validez y de las fracciones de muestra sobre las cuales se realizaron las determinaciones, con el objeto de asegurar la representatividad de los parámetros. En este sentido, se trabajó con tres tipos de fracciones:

- Muestra de agua sin filtrar, preservada y/o conservada directamente para su análisis posterior en laboratorio.
- Material retenido en los filtros, correspondiente a la fracción particulada, que se conservó para determinaciones específicas.
- Muestra filtrada, de la cual algunas muestras fueron analizadas en campo y otras preservadas para su análisis en laboratorio.

Para aquellos parámetros con tiempo de validez corto que no podían medirse en campo, las muestras fueron conservadas a -18°C.

Los parámetros pre-tratados y analizados en campo fueron los siguientes:

- Turbidez
- Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- Clorofila a y feofitina
- Carbono Orgánico Disuelto (COD)
- Materia orgánica (MO)
- Nitrógeno de Nitratos
- Nitrógeno de Amonio
- Fósforo Reactivo Soluble (PRS)
- Cloruros
- Hierro (Fe) Soluble
- Manganeso (Mn) Soluble

Todas las determinaciones se realizaron siguiendo protocolos estandarizados (APHA, AWWA, & WEF., 2023) y manuales propios del equipamiento empleado.

Las muestras de agua sin filtrar se utilizan para la determinación de turbidez, medida en campo con un turbidímetro HACH 2100P (**Figura 9b.** y **Figura 10b**). Al igual que para las muestras de DQO, hierro total y manganeso total que fueron preservadas y conservadas en frío hasta su análisis en laboratorio.

El material retenido en filtros se utiliza para la determinación de SST y clorofila a y feofitina. El análisis se realizó sobre el material retenido en filtros de poro variable, según el analito de interés. La filtración al vacío se efectuó con una bomba portátil y equipos de filtración (**Figura 10.c**).

- Para SST, se filtró un volumen conocido de muestra mediante membranas de fibra de vidrio de 1.2 µm, previamente tarados (diferencia <0.5 mg). Las membranas se almacenaron en sobres de papel aluminio y se mantuvieron refrigerados hasta su análisis en laboratorio.
- Para la determinación de clorofila a y feofitina se utilizaron membranas de fibra de vidrio de 0.7 µm, sobre las cuales se filtró un volumen conocido de muestra. Las membranas fueron guardadas en sobres de papel aluminio e inmediatamente guardadas a -18°C para su posterior análisis.

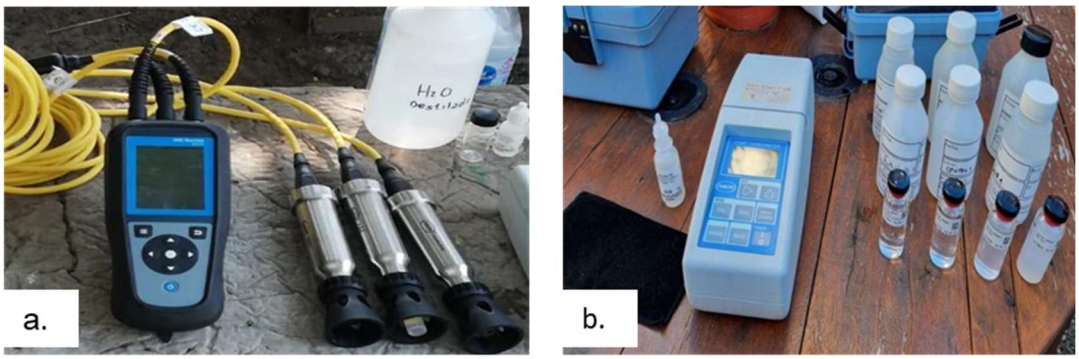


Figura 9: Instrumental de campo. a) Multiparamétrico marca Hach modelo 4300HQ. b) Turbidímetro de campo marca Hach, modelo 2100P.

Las muestras de agua fueron filtradas para realizar análisis sobre la fase disuelta. Los parámetros que se analizan en esta fase y los tipos de membrana utilizadas son:

- Nutrientes: analizados en campo sobre muestra filtrada (0.7 µm).
- COD: obtenidos de la muestra filtrada por fibra de vidrio de 1.2 µm, preservado para análisis posterior.
- MO: obtenidos de la muestra filtrada por fibra de vidrio de 1.2 µm, conservada a −18 °C.

- Cloruros: obtenidos de la muestra filtrada por fibra de vidrio de 1.2 µm, conservada hasta su análisis.
- Hierro y Manganeso solubles: filtrados con membrana de acetato de celulosa de 0.45 µm y posteriormente preservados.



Figura 10: Procedimiento de mediciones en campo. a) Muestras para procesar. b) Medición de turbidez. c) Filtración de clorofila. d) Laboratorio de campo. e) Recolección de muestra para medición de nutrientes. f) Medición de PSR. g) Medición de N-nitratos y N-amonio

Las muestras se mantuvieron refrigeradas hasta su llegada al laboratorio, una vez allí, se mantuvieron en cámara a 6°C hasta su análisis. Para la determinación de N-nitratos y N-amonio se empleó un multiparamétrico HACH (modelo HQ 4300), equipado con sensores de ion selectivo (ISENO3181 e ISENH4181, respectivamente), calibrados

previamente según las instrucciones del fabricante (**Figura 10.g**). La determinación de ortofosfato se realizó conforme al método SM 24th 4500-P-E, utilizando un espectrofotómetro UV portátil Hach (modelo DREL/2010) (**Figura 10.f**).

3.3. DETERMINACIONES EN LABORATORIO

Las determinaciones se realizaron en el Laboratorio Experimental de Tecnologías Sustentables (LETS) del Instituto Nacional del Agua.

Los parámetros que se determinaron fueron:

- SST: estufa a 105°C hasta peso constante (diferencia < 0.5 mg)
- DQO: método del dicromato a flujo cerrado
- COD: analizador de carbono (Shimadzu, TOC-LCPN) (**Figura 11a.**)
- MO: espectrofotómetros UV-visible (Shimadzu UV-2450) (**Figura 11b.**)
- Clorofila a y feofitina: extracción con acetona 90% y lectura por espectrofotómetro UV-Visible (Shimadzu, UV 2450) (**Figura 11b.**)
- Cloruros: método argentométrico
- Fe y Mn (totales y disueltos): digestión ácida por microondas (CEM Mars 5 y 6) (**Figura 11c.**) y medición por espectrofotometría de absorción atómica de llama (Shimadzu, AA-7000) (**Figura 11d.**)

Todas las determinaciones analíticas se realizaron siguiendo protocolos estandarizados (APHA, AWWA, & WEF, 2023), USEPA SW 846 u otras técnicas estandarizadas por instituciones reconocidas). El detalle de la técnica empleada, así como los límites de detección (LD) y cuantificación (LC), se encuentran en la **Tabla 1.**



Figura 11: Equipamiento utilizado en laboratorio. a) TOC-LCPN Shimadzu b) espectrofotómetro UV-Visible (Shimadzu, UV 2450). c) Digestores microondas CEM - Mars 5 y 6. d) espectrofotómetro de absorción atómica de llama (Shimadzu, AA-7000)

3.4. ANÁLISIS DE DATOS

Se elaboraron gráficos individuales por sitio de muestreo que incluyen todas las variables medidas, con el propósito de obtener un perfil general de cada sitio y representar la distribución de las variables entre afluentes y transectas. Además, se generaron gráficos de puntos con barras de error (media ± desvío estándar) para cada parámetro a lo largo de todos los puntos de muestreo, lo que permitió facilitar la comparación entre sitios y reconocer patrones generales en la composición fisicoquímica del agua.

Asimismo, se presentan gráficos con los resultados expresados en carga másica por sitio, correspondientes a las variables originalmente medidas en unidades de

concentración. En los arroyos Saladillo y Leyes se consideró el caudal medio diario estimado a partir del promedio de las repeticiones de medición de caudal realizadas en cada jornada, correspondientes a la sección transversal del cauce (ver Producto 3). En el caso de Playa Norte, no se informa la carga másica, dado que la muestra proviene de un único punto sobre la margen derecha en un cauce de gran ancho, por lo que no resulta apropiado extrapolar el resultado a un caudal representativo del flujo total. Esta situación contrasta con la de los cauces más angostos, donde las muestras puntuales resultan más representativas de las condiciones medias del flujo. Para las transectas 1, 3 y 4, el cálculo de carga másica se realizó promediando las concentraciones registradas en los cuatro puntos de muestreo de cada transecta y multiplicando dicho valor promedio por el caudal diario correspondiente. De este modo se obtuvo un único valor diario de carga por transecta. No se presentan valores para T2, dado que durante los tres días de muestreo el flujo fue nulo.

Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) en R (R Core Team, 2023) a partir de los valores estandarizados de las variables fisicoquímicas, con el objetivo de identificar los gradientes ambientales predominantes y las asociaciones entre los sitios de muestreo. El análisis se efectuó sobre el conjunto de datos completo, considerando únicamente las observaciones sin valores faltantes.

Se analizó la información que ASSA puso a disposición de los registros históricos del monitoreo que realiza sobre el agua cruda que ingresa a la toma Hernández. Los datos abarcan el período del 2000-2024 e incluye los parámetros: pH, CE, OD, turbidez, SST, Materia Orgánica por UV, DQO, cloruros, y Fe y Mn ambos totales.

La evaluación de los datos se realizó mediante estadística descriptiva, complementada con la elaboración de diagramas de caja y bigotes (boxplots). Esta representación gráfica para la interpretación de los resultados permite visualizar la distribución, la variabilidad y la posible presencia de valores atípicos.

El análisis incluyó, en primera instancia, un boxplot general para cada parámetro, integrando todos los datos históricos disponibles, sin clasificación o agrupamiento. Posteriormente, los datos fueron agrupados por año y se generaron boxplots anuales. En ambos casos, se indicó el número de datos utilizados por gráfico. Cuando la cantidad de datos fue inferior a 15 registros, no se generaron boxplots, debido a la limitada robustez estadística; en esos casos, los valores se representan como puntos individuales.

Con el fin de comparar los valores históricos con los resultados obtenidos en el marco del presente estudio, se incorporaron en los mismos gráficos los datos correspondientes a la campaña 2025, identificados como “INA 2025”. Estos valores provienen del sitio T4-20, ubicado aguas arriba y próximo a la toma Hernández. En el análisis anual, los datos INA 2025 se contrastan con los valores históricos correspondientes a ASSA 2024. Asimismo, se incluyeron los registros en el estudio previo realizado por el mismo equipo de trabajo en la toma Hernández en el año 2023 (PNUD, 2022), en el cual, las muestras fueron recolectadas en las proximidades de la toma Hernández, en los siguientes sitios: a 4 m del muelle de la toma Hernández (31°38'40.38341"S, 60°41'11.93682"W), 100 m aguas arriba del sitio A (31°38'38.42886"S, 60°41'08.76903"W) y a 100 m aguas abajo del sitio B (31°38'42.94461"S, 60°41'15.24496"W). Estos registros se identifican como “INA 2023”.

Todos los análisis y gráficos se realizaron en Google Colab (Google LLC, 2024) utilizando Python 3.10 e incluyendo las bibliotecas NumPy, pandas y Matplotlib.

4. RESULTADOS

4.1. RESULTADOS CAMPAÑA INA

4.1.1. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DURANTE LOS MUESTREOS

El sitio Arroyo Saladillo fue muestreado aproximadamente a 100 m de la costa, en una zona ubicada hacia la mitad del cauce (**Figura 7** y **Figura 13.b**). En superficie, el curso de agua presentaba condiciones calmas, sin presencia visible de algas, macrófitas ni residuos sólidos, y sin olor perceptible. La profundidad durante el muestreo fue de 2m. Sobre la margen derecha se identificó una zona de playa utilizada como punto de acceso para embarcaciones, y a pocos metros, un sector de estacionamiento de vehículos. El entorno corresponde a un área de uso periurbano, con actividades antrópica asociada principalmente a actividades recreativas y quintas. En contraste, la margen izquierda presenta menor grado de intervención antrópica, con rasgos más representativos del sistema fluvial del Paraná.

El sitio Arroyo Leyes fue muestreado en uno de los brazos del tramo inferior del arroyo, previo a su desembocadura de la laguna Setúbal (**Figura 7**). El punto de muestreo se ubicó aproximadamente a 35 m de la margen derecha, en un sector con un ancho total del cauce cercano a 113 m. En superficie, el curso de agua presentaba condiciones calmas, sin presencia visible de residuos sólidos ni olor perceptible. La profundidad registrada durante el muestreo estuvo entre los 0.5 y 0.8 m. El entorno presenta márgenes naturales con abundante vegetación ribereña y bancos de macrófitas (**Figura 12** y **Figura 13.a**). La zona urbana más cercana se encuentra a una distancia de aproximadamente 3 km. Aguas arriba del sitio de muestreo se observó la presencia de ganado vacuno dentro del cauce.



Figura 12: Margen izquierdo del punto A° Leyes.

El sitio Playa Norte se ubicó a aproximadamente 450 m de la costa (**Figura 7**), en una zona con abundante cobertura de juncos sobre la margen (**Figura 13.c**). Durante los días de muestreo no se observaron residuos sólidos y en el sitio se percibía leve olor. A la altura del sitio, el uso del suelo predominante es urbano, con presencia de viviendas y actividades deportivas (canchas) y recreativas.

La transecta T1 corresponde al tramo ubicado aguas arriba del Puente Colgante Ing. Marcial Candioti (**Figura 6** y **Figura 14**). Sobre la margen derecha se localiza la Costanera Oeste, donde el uso del suelo es predominantemente urbano, correspondiente a la ciudad de Santa Fe. En la margen izquierda se desarrolla un uso del suelo de menor presión antrópica, con presencia del balneario de Costanera Este y del predio de la Universidad Nacional del Litoral (UNL). En superficie, el curso de agua no presentaba proliferación visible de algas ni residuos flotantes, y no se registró olor perceptible. Sin embargo, los días 17 y 18/09 se observaron ocasionalmente espuma proveniente desde aguas arriba (principalmente sobre margen derecha) y macrófitas

flotantes libres. Durante el muestreo del 18/09 se desarrollaba un torneo de pesca sobre la margen derecha, aproximadamente 200 metros aguas arriba del sitio.



Figura 13: Imagen de los sitios muestreados aguas arriba de la laguna Setúbal. a) Arroyo Leyes. b) Arroyo Saladillo. c) Playa Norte.



Figura 14: Transecta 1. a. Puente Colgante Ing. Marcial Candioti. b. Costanera Oeste en margen derecha. c. Costanera Este en margen izquierdo

La transecta T2 se ubicó sobre el Riacho Santa Fe (**Figura 6** y **Figura 15**), al sur del predio de la Universidad Nacional del Litoral (UNL), el cual se encuentra sobre la margen derecha. Esta margen presentaba un uso del suelo en la orilla de bajo grado de intervención antrópica y presencia de embalsados a lo largo de esa margen en el tramo relevado. En la margen izquierda, en cambio, se localiza un barrio de aproximadamente 18 ha, con viviendas próximas a la costa, muelles, embarcaciones y algunos residuos sólidos. Es importante destacar que durante el período de muestreo este curso no presentaba flujo. En superficie se observaron macrófitas flotantes libres, sin evidencia de proliferación algal ni olor perceptible.



Figura 15: Transecta 2. a. Vista aguas arriba desde la sección relevada. b. Margen izquierdo. c. Margen derecho

La transecta T3 se ubicó sobre el río Santa Fe (**Figura 6** y **Figura 16**), aguas abajo del Puente Gobernador Oroño, a la altura del Club Regatas. Sobre la margen derecha se localiza la ciudad de Santa Fe. En la margen izquierda, la presión antrópica es menor; se encuentra un club náutico, una guardería de lanchas y, aguas arriba, el Riacho Santa Fe (T2). En superficie se observaron ocasionalmente macrófitas flotantes libres y espuma (principalmente en margen derecha), sin evidencia de proliferación algal ni olor perceptible.



Figura 16:Transecta 3. a. Vista aguas arriba desde la sección relevada. b. Margen izquierdo. c. Margen derecha

La transecta T4 se ubicó sobre el río Santa Fe, próximo a la Toma Hernández (**Figura 6** y **Figura 17)**. Sobre la margen derecha se localiza la ciudad de Santa Fe. La margen izquierda presentaba escasa o nula intervención antrópica. En superficie se observaron ocasionalmente macrófitas flotantes libres y espuma (principalmente en margen derecha), sin evidencia de proliferación algal ni olor perceptible.

La descripción de los sitios se complementa con el análisis de las condiciones hidrodinámicas de cada sitio y los datos meteorológicos presentados en el **Producto 3 "Hidrometría Toma Hernández"**.



Figura 17: Transecta 4. a. Vista aguas arriba desde la sección relevada. b. Margen izquierdo. c. Margen derecho

4.1.2. VARIABLES DE CALIDAD DE AGUA

Las tablas con los datos crudos, expresados en concentración y en carga másica, se presentan en el **ANEXO II**

La **Figura 18** corresponde a los gráficos por sitio de muestreo incluyen todas las variables medidas. Las muestras tomadas a lo largo de cada transecta se consideraron como sitios independientes. Los puntos graficados corresponden al valor medio, mientras que las barras verticales representan el desvío estándar entre los valores

obtenidos en los tres días de muestreo. El eje vertical se presenta en escala logarítmica (log10), lo que permite comparar en un mismo eje variables con órdenes de magnitud diferentes. En esta escala de análisis, si bien no se observan patrones o tendencias definidas en la composición fisicoquímica del agua, se identifican variaciones entre sitios que se abordan en mayor detalle en las secciones siguientes.

En las figuras del 9 al 18, se presentan los resultados obtenidos para cada variable en los distintos sitios muestreados. Se presenta tanto la concentración como la carga másica media, calculada a partir de los valores obtenidos en los tres días de muestreo, y las barras de error representan el desvío estándar asociado a dichas mediciones.

No se elaboraron gráficos para ortofosfato, feofitina ni Mn disuelto, ya que estos parámetros se encontraron por debajo del límite de cuantificación (<LC) en la totalidad de las muestras analizadas.

El **pH** presentó valores medios cercanos a 7.3 en las muestras puntuales recolectadas aguas arriba de la zona de transectas, con registros de 7.30, 7.34 y 7.38 upH para el arroyo Saladillo, el arroyo Leyes y la Laguna Setúbal a la altura de Playa Norte, respectivamente (**Figura 19**). Aguas abajo en la Laguna Setúbal (transecta T1), el pH mostró un aumento de aproximadamente 0.3 upH; permaneciendo relativamente constante a lo largo de las transectas siguientes, con valores medios entre 7.4 y 7.7. Las diferencias observadas entre sitios no fueron significativas, al igual que las variaciones entre días, ya que los coeficientes de variación diarios para cada sitio resultaron inferiores al 3 %.

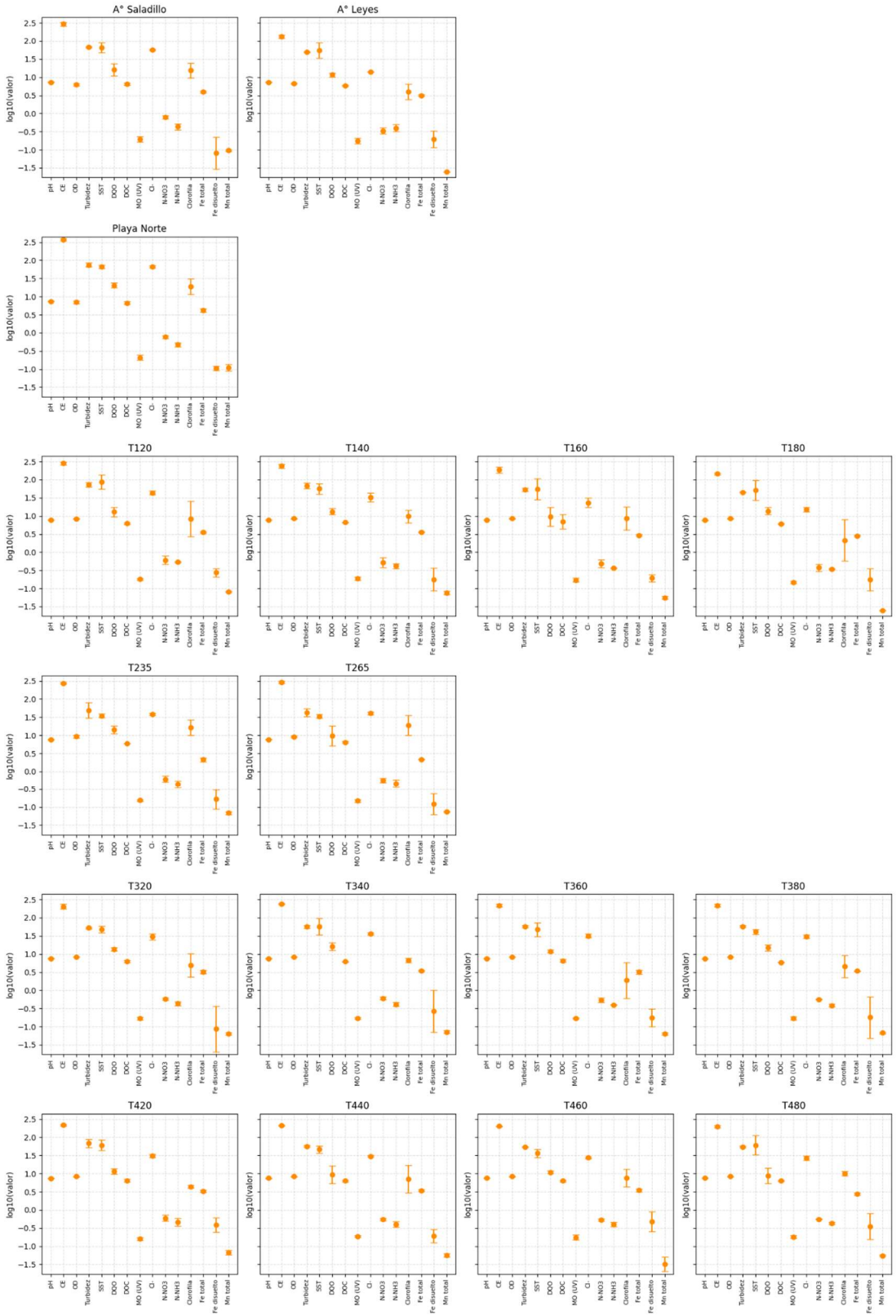


Figura 18: Perfil general de las variables fisicoquímicas en los sitios de muestreo.

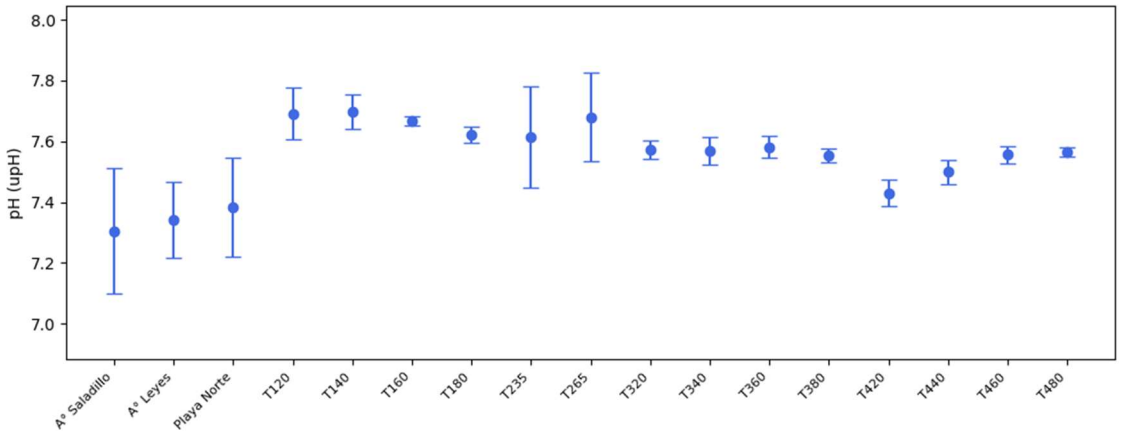


Figura 19: Distribución de pH (media ±DE) en los distintos sitios de muestreo

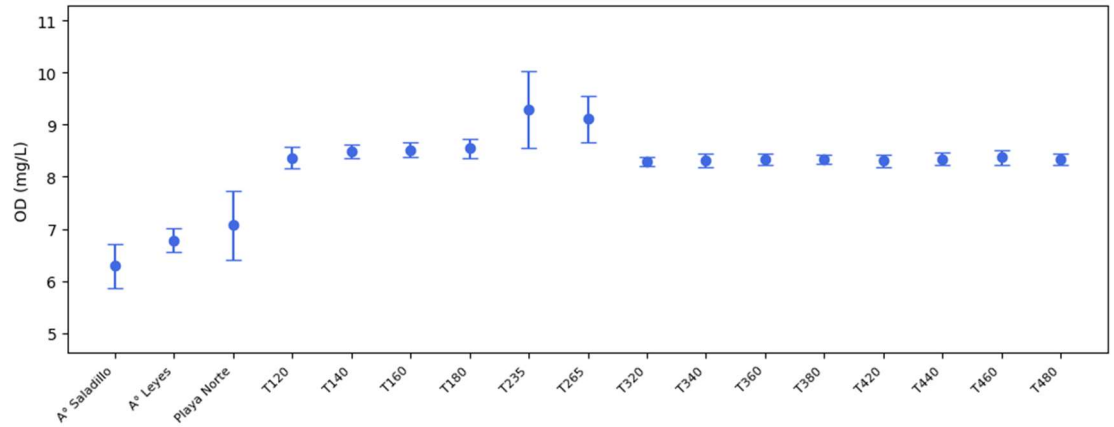


Figura 20: Distribución de las concentraciones medias (±DE) de OD en los distintos sitios de muestreo

El **OD** se presentó en niveles que indican buenas condiciones de oxigenación. Los valores más bajos se observaron aguas arriba, con medias de 6.3, 6.7 y 7.0 mg/L para el arroyo Saladillo, el arroyo Leyes y la Laguna Setúbal a la altura de Playa Norte, respectivamente (**Figura 20**). Los valores más elevados se registraron en el Riacho Santa Fe (T2), con una media de 9.2 mg/L, lo cual resulta consistente con la abundante presencia de macrófitas flotantes (embalsados y camalotes). En las restantes

transectas, el OD se mantuvo relativamente constante, con valores medios comprendidos entre 8.3 y 8.5 mg/L.

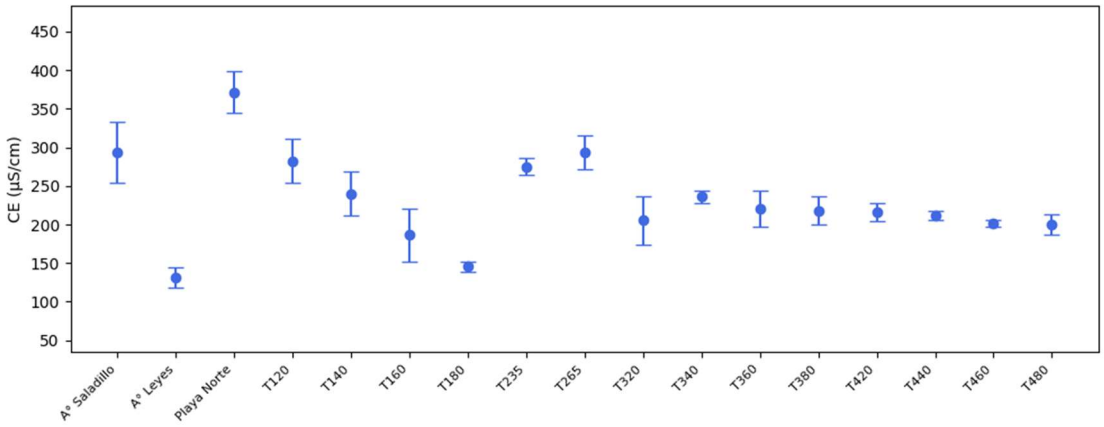


Figura 21: Distribución de CE (media ±DE) en los distintos sitios de muestreo

La **CE** presentó variaciones espaciales marcadas, que siguieron un patrón distinto al de los parámetros anteriores (**Figura 21**). Los principales aportes a la Laguna Setúbal presentaron diferencias en los valores de CE: el arroyo Saladillo mostró una media de 293 µS/cm, mientras que en el arroyo Leyes la media fue de 131 µS/cm. El valor máximo de CE se observó en la zona de Playa Norte, con una media de 372 µS/cm. Este aumento podría explicarse, al menos en parte, por la influencia de las zonas urbanas y periurbanas ubicadas sobre la margen derecha. Aguas abajo, en la transecta 1, sobre la margen derecha (T1-20), la CE se encuentra en valores similares a los registrados en el Saladillo. Se observó aguas abajo un efecto de margen, que podría explicarse por la diferenciación entre los principales afluentes de la Laguna Setúbal. Los valores registrados a lo largo de T1 varían notablemente, describiendo un gradiente descendente de CE desde la margen derecha hacia la margen izquierda. Los valores

iniciales en T1-20 fueron comparables a los del arroyo Saladillo, mientras que en T1-80 se redujeron hasta niveles semejantes a los del arroyo Leyes.

El efecto de margen observado en T1 no se manifestó aguas abajo, ni a la altura del Club Regatas (T3) ni en la toma Hernández (T4). En estas transectas, los valores se mantuvieron relativamente constantes, con medias comprendidas entre 208 y 220 µS/cm, dentro de un rango intermedio entre los valores del Saladillo y del Leyes. En el Riacho Santa Fe (T2) los valores de CE fueron relativamente altos, similares a los registrados en el Saladillo; sin embargo, no se evidenció un aumento de la CE aguas abajo sobre la margen izquierda, siendo lo esperado dada la ausencia de flujo registrada en ese cauce durante el período de muestreo (**Producto 3**).

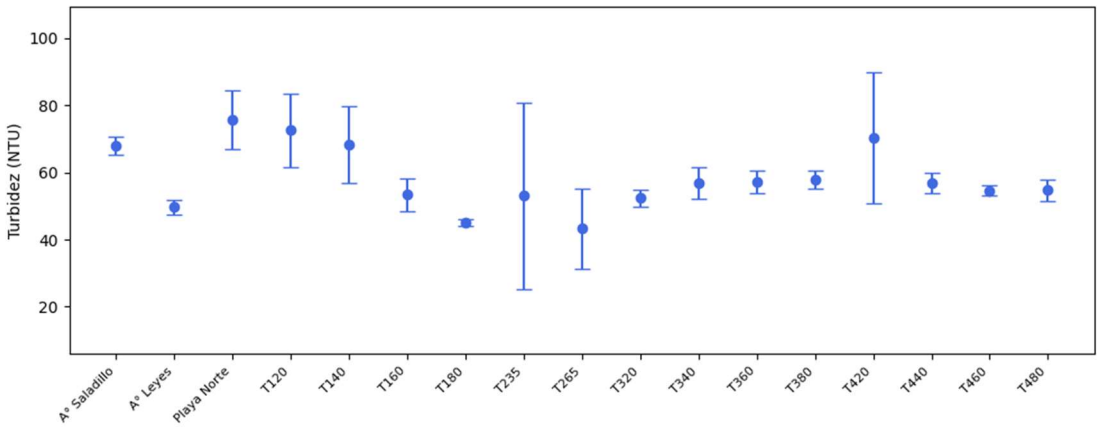


Figura 22: Distribución de turbidez (media ±DE) en los distintos sitios de muestreo

La **turbidez** presentó un patrón similar al observado para la CE. El arroyo Saladillo mostró valores más elevados (68 NTU) en comparación con el arroyo Leyes (50 NTU) (**Figura 22**). En Playa Norte se registró un aumento respecto del Saladillo, alcanzando una media de 76 NTU. En la transecta T1 se evidenció un gradiente descendente de turbidez; desde la margen derecha con valores similares a los registrados en Playa

Norte, hacia la margen izquierda alcanzando valores similares al Leyes. En las transectas siguientes, los valores se mantuvieron relativamente próximos a los observados en el Leyes, salvo en T2-35 y T4-20, donde se registraron incrementos puntuales de turbidez, con valores cercanos a 90 NTU sólo el 16/09.

La concentración de **SST** presentó una mayor variabilidad que los parámetros anteriores, lo que impidió identificar con claridad patrones espaciales o un efecto de margen consistente (**Figura 24**). Sin embargo, al expresarse los resultados en términos de carga másica, las diferencias entre sitios se tornaron más marcadas. En concentración, los valores registrados en los arroyos Saladillo y Leyes no difirieron significativamente de los observados aguas abajo. No obstante, debido a los menores caudales —con diferencias de hasta un orden de magnitud entre el Leyes y las transectas T1 a T4—, la carga de sólidos transportada por cada curso resultó muy diferente. La menor carga de SST se registró en el arroyo Leyes, con una media de 3.3 kg/s, seguida por el arroyo Saladillo, con una media de 11.0 kg/s. Aguas abajo, la carga de SST aumentó, alcanzando una media aproximada de 33 kg/s para T1, y de 23.7 kg/s para T3 y T4.

La **DQO** presentó diferencias entre los afluentes, con concentraciones menores en el arroyo Leyes respecto al Saladillo (**Figura 25**). En Playa Norte se observó un leve incremento en comparación con el Saladillo. Sin embargo, en la transecta T1 no se evidenció un efecto de margen definido, ya que las concentraciones se mantuvieron relativamente homogéneas a lo largo del cauce. Un comportamiento similar se observó en las demás transectas. En términos de carga másica, los valores más elevados se registraron en las transectas T1 y T3, con una media de 6.3 kg/s, seguidas por la T4, el arroyo Saladillo y, por último, el arroyo Leyes, con una media de 1 kg/s. A pesar de estas diferencias, los niveles hallados fueron bajos en términos absolutos, lo que indica una reducida presencia de materia orgánica en todos los sitios evaluados.

La baja carga orgánica también se reflejó en los valores de **COD**, cuyas concentraciones fueron similares en todos los sitios muestreados, con una media general de 6.4 mg/L (**Figura 25**). Sin embargo, al considerar los caudales, las diferencias se acentuaron. Al expresar los resultados en términos de carga másica, se observó que las mayores cargas correspondieron a las transectas, mientras que entre los afluentes, el arroyo Saladillo presentó un mayor aporte que el arroyo Leyes, en concordancia con lo observado para la DQO.

En el caso de la Materia Orgánica medida a 253.7 nm, si bien no se observó una clara diferenciación entre los afluentes ubicados aguas arriba debido a la variabilidad entre días, al considerar los valores medios se aprecia una tendencia con valores más altos en Playa Norte, seguidos por el arroyo Saladillo y, finalmente, el arroyo Leyes, con los valores más bajos (**Figura 23**). Aguas abajo, en la transecta T1 se evidenció un efecto de margen, con una menor concentración en la margen derecha respecto a la izquierda. En T3 los valores se mantuvieron relativamente constantes, mientras que en T4 se registró un leve aumento hacia la margen derecha.

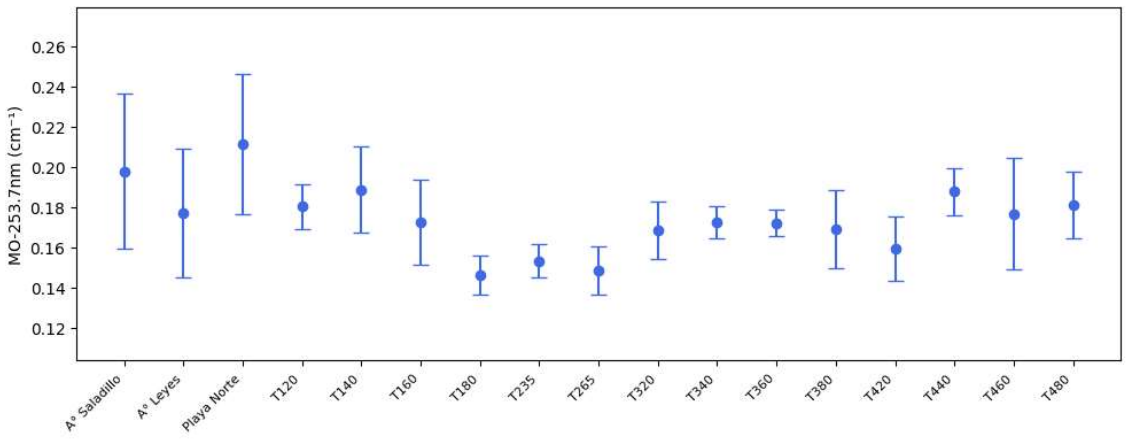


Figura 23: Distribución de MO-253.7nm (media ±DE) en los distintos sitios de muestreo

Cabe señalar que las comparaciones entre este parámetro y otros indicadores de materia orgánica, como la DQO o el COD, pueden no ser lineales, dado que los principios analíticos de determinación y la sensibilidad de los métodos difieren. No obstante, la medición de Materia Orgánica a 253.7 nm resulta particularmente útil para la comparación con los registros históricos obtenidos en la **SECCIÓN 4.2**.

Los **cloruros** presentaron un patrón espacial muy similar al observado para la CE. Los principales aportes a la Laguna Setúbal mostraron diferencias claras: el arroyo Saladillo registró una media de 57 mg/L, mientras que en el arroyo Leyes la media fue de 14 mg/L (**Figura 24**: Distribución de SST y cloruros (media ±DE) en los distintos sitios de muestreo). En Playa Norte se observaron las concentraciones más elevadas respecto al Saladillo, lo cual sugiere un aporte adicional de cloruros desde la margen derecha, consistente con la influencia de las zonas urbanas y periurbanas ubicadas sobre la margen derecha. Aguas abajo, en la transecta 1, se evidenció el mismo efecto de margen que CE, con un gradiente descendente de concentración desde la margen derecha hacia la izquierda. Los valores iniciales en T1-20 fueron similares a los del arroyo Saladillo, mientras que en T1-80 se redujeron hasta niveles comparables a los del arroyo Leyes. En las transectas siguientes (T3 y T4), las concentraciones se mantuvieron relativamente estables, con valores medios cercanos a 30 mg/L, dentro de un rango intermedio entre los aportes de ambos afluentes. En términos de carga másica, se mantuvo la diferencia entre los principales tributarios, aunque las transectas presentaron las mayores cargas, asociadas al aumento del caudal del sistema principal aguas abajo.

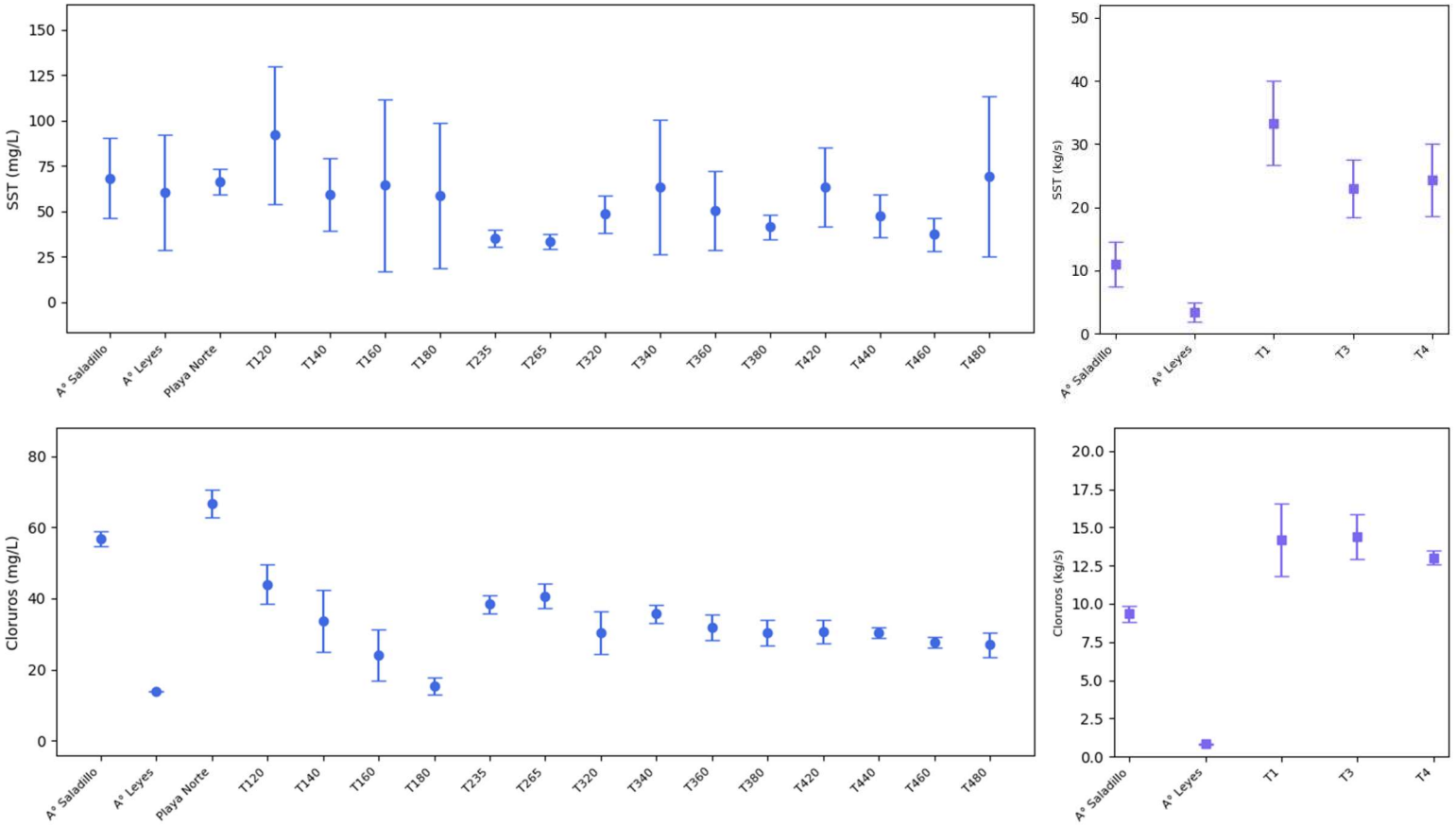


Figura 24: Distribución de SST y cloruros (media ±DE) en los distintos sitios de muestreo

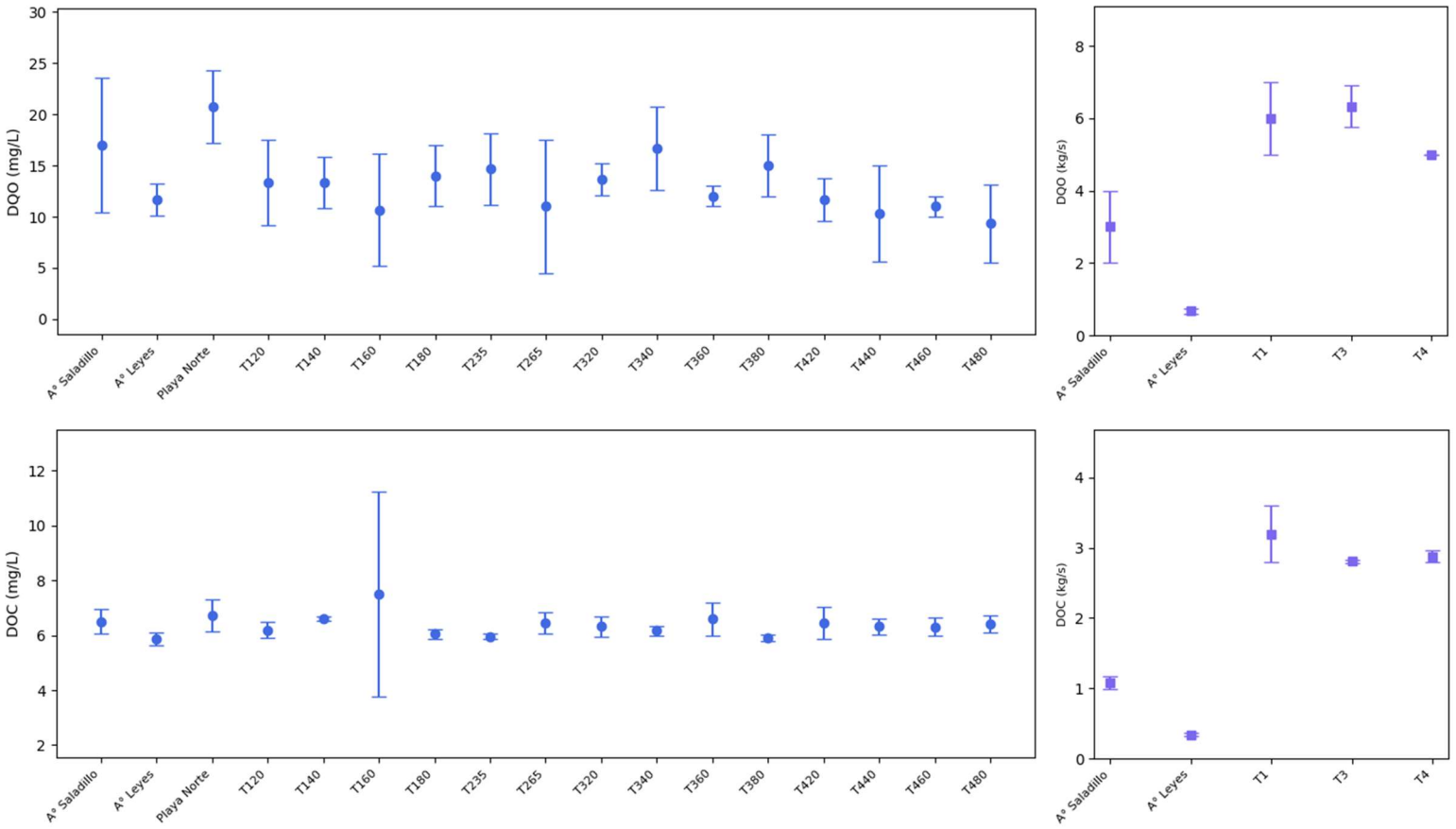


Figura 25: Distribución de DQO y COD (media ±DE) en los distintos sitios de muestreo

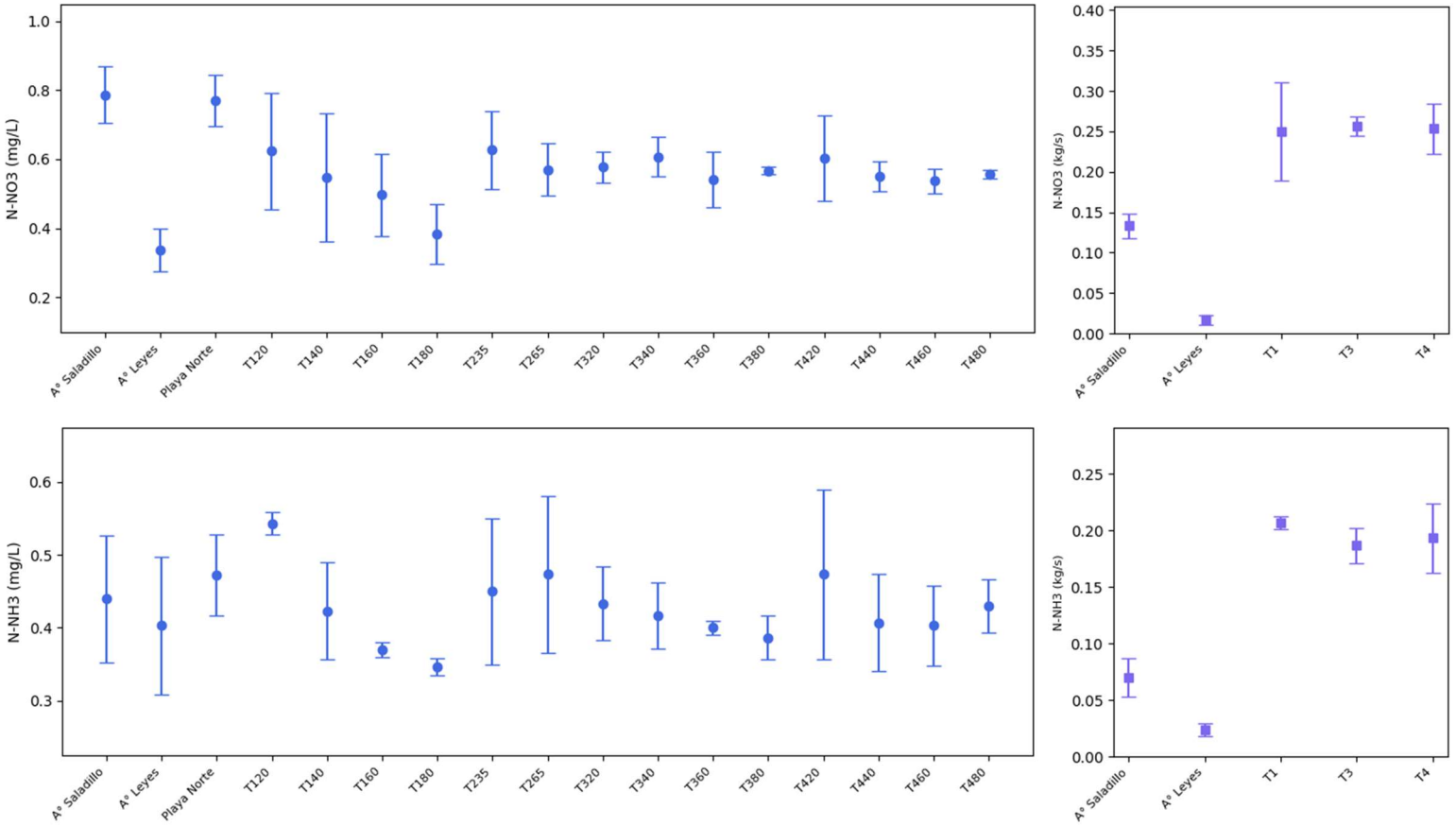


Figura 26: Distribución de nitratos y amonio (media ±DE) en los distintos sitios de muestreo

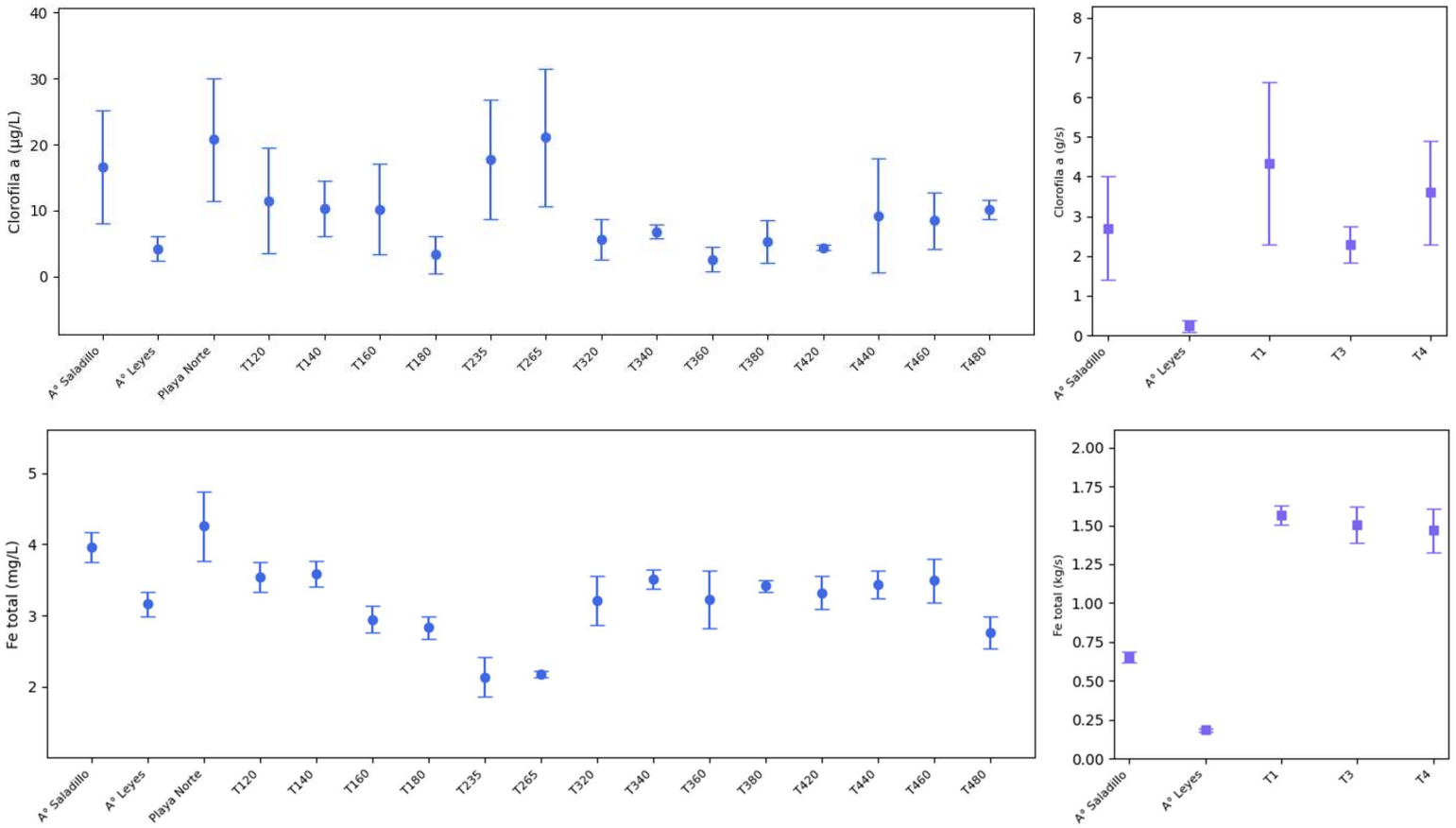


Figura 27: Distribución de clorofila a y Fe total (media ±DE) en los distintos sitios de muestreo

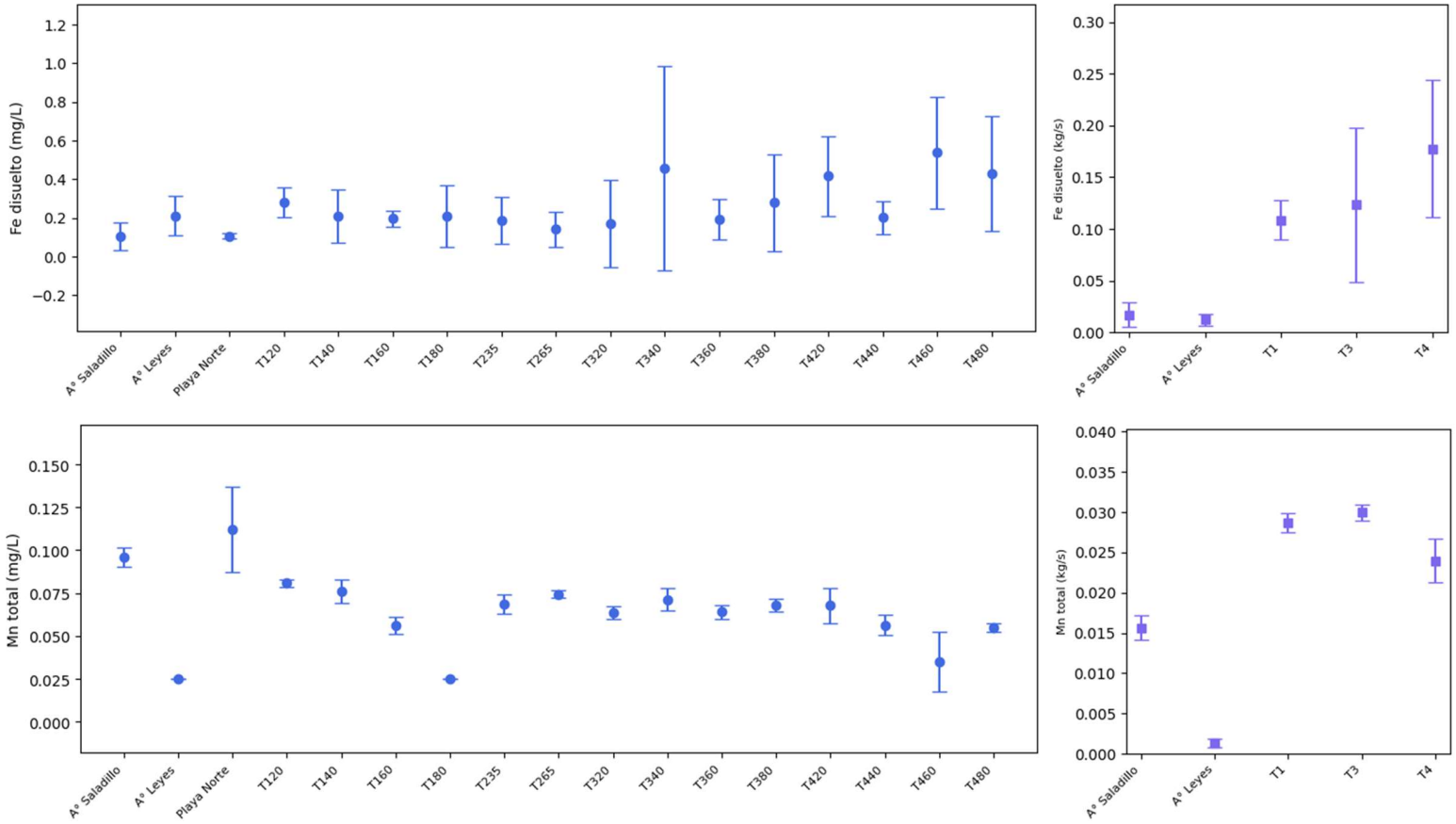


Figura 28: Distribución de Fe disuelto y Mn total (media ±DE) en los distintos sitios de muestreo

En cuanto a los resultados de **N-NO3**, si bien se registró cierta dispersión entre días, al considerar los valores medios presentaron un patrón espacial similar al observado para la CE y los cloruros, tanto en concentración como en carga másica (**Figura 26**). Las concentraciones más elevadas se registraron en el arroyo Saladillo y en Playa Norte, ambas con una media de 0.78 mg/L, mientras que en el arroyo Leyes la media fue aproximadamente la mitad (0.34 mg/L). En la transecta T1 se evidenció un gradiente descendente desde la margen derecha hacia la margen izquierda, con valores que disminuyeron de 0.62 a 0.38 mg/L. En términos de carga másica, el menor valor correspondió al arroyo Leyes (0.02 kg/s), seguido por el arroyo Saladillo (0.13 kg/s). En las transectas, las cargas se mantuvieron en promedio alrededor de 0.25 kg/s.

Al analizar los valores medios de **N-NH3** en los distintos sitios se observa un patrón general similar al de la CE, los cloruros y los nitratos, aunque con algunas particularidades (**Figura 26**). Al considerar los valores medios, el amonio presentó un gradiente no solo en la transecta T1, sino también en T3 y T4, con concentraciones mayores sobre la margen derecha, donde se registra una mayor densidad poblacional, lo que sugiere una posible influencia antrópica aguas abajo de T1. Al expresar los resultados en términos de carga másica, se observó la misma tendencia que en las variables previamente mencionadas.

La **clorofila a** presentó las mayores concentraciones y cargas másicas en el arroyo Saladillo, con medias de 17 µg/L y 2.7 g/s, respectivamente, en comparación con el arroyo Leyes, donde las medias fueron de 4 µg/L y 0.2 g/s (**Figura 27**). En Playa Norte, la concentración media alcanzó los 21 µg/L, ligeramente superior a la del Saladillo. A diferencia de los parámetros anteriores, en la transecta T1 no se observó un gradiente gradual, sino que la concentración se mantuvo relativamente estable con valores entre 10 y 11 µg/L en la mayor parte de la sección, observándose una disminución a partir de T1-80, donde la media fue de 3 µg/L. El patrón aguas abajo también difirió de los casos

anteriores. En T2, la media fue relativamente alta, siendo lo esperado dada la mayor cobertura vegetal observada en ese cauce y la nula velocidad. En T3, las concentraciones se mantuvieron en valores bajos, similares a los de T1-80. Ese mismo nivel se observó en T4-20; sin embargo, en esta transecta se evidenció un gradiente inverso al de los parámetros previos, con un aumento hacia la margen izquierda, alcanzando en T4-80 un valor medio de 10 µg/L.

El **hierro total** presentó un patrón espacial similar al observado para la CE y los cloruros, tanto en concentración como en carga másica (**Figura 27**). Las mayores concentraciones de Fe total se registraron en Playa Norte (4.3 mg/L), seguidas por el arroyo Saladillo (3.9 mg/L) y el arroyo Leyes (3.2 mg/L). En la transecta T1 se evidenció un efecto de margen, con una disminución progresiva desde la margen derecha hacia la izquierda (de 3.6 a 2.8 mg/L). En T2 se registraron los valores mínimos, con una media de 2.1 mg/L, mientras que en T3 y T4 las concentraciones se mantuvieron relativamente constantes, oscilando entre 3.2 y 3.5 mg/L, en un rango intermedio entre los valores característicos del Saladillo y del Leyes, como se observó también en otros parámetros.

En términos de concentración, el **hierro disuelto** mostró una distribución diferente a la del resto de los parámetros, con valores ligeramente mayores en el arroyo Leyes (media de 0.2 mg/L) respecto al Saladillo y Playa Norte (0.1 mg/L) (**Figura 28**). Sin embargo, al considerar el caudal, las cargas másicas de hierro disuelto en el Leyes y el Saladillo fueron similares. El patrón general en términos de carga difirió del observado para los demás parámetros: mientras que los aportes de los afluentes principales fueron comparables, se evidenció un incremento gradual aguas abajo, alcanzando los valores medios más altos en las transectas inferiores.

Las concentraciones de hierro disuelto fueron bajas en comparación con el hierro total. En todos los sitios evaluados, el hierro disuelto representó menos del 20 % del hierro total, indicando que la fracción predominante es la particulada, es decir, la asociada a los sólidos en suspensión. Solo tres muestras presentaron un porcentaje de hierro disuelto superior, aunque sin diferencias sustanciales, ya que en esos casos los valores se mantuvieron entre el 20 y el 30 % (T4-80 del 16/09, y T3-40 y T4-60 del 17/09).

El **manganeso total** presentó un patrón espacial similar al observado para la mayoría de los parámetros, con las mayores concentraciones en Playa Norte, seguido por el arroyo Saladillo, y los valores más bajos en el arroyo Leyes (**Figura 28**). En la transecta T1 se evidenció un efecto de margen, con concentraciones decrecientes desde la margen derecha hacia la izquierda, el cual no se observó en las transectas ubicadas aguas abajo. El manganeso disuelto se encontró por debajo del límite de cuantificación en la totalidad de las muestras analizadas. En consecuencia, la fracción total de manganeso se hallaba asociada a los sólidos en suspensión, es decir, presente mayoritariamente en forma particulada.

Los patrones espaciales descriptos en esta sección fueron más claros y consistentes para la CE y los cloruros. En particular, el comportamiento de los cloruros, que funcionan como un trazador del origen del agua debido a su carácter conservativo y su baja sensibilidad a procesos biogeoquímicos de corto plazo, otorga mayor solidez a las interpretaciones previas y contribuye a sostener los patrones identificados en el análisis espacial.

El Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) permitió integrar la variación observada entre las transectas y los afluentes, identificando los gradientes ambientales más relevantes (**Figura 29**). Los dos primeros componentes explicaron el 49.7 % de la varianza total (Dim1 = 34.6 %; Dim2 = 15.1 %).

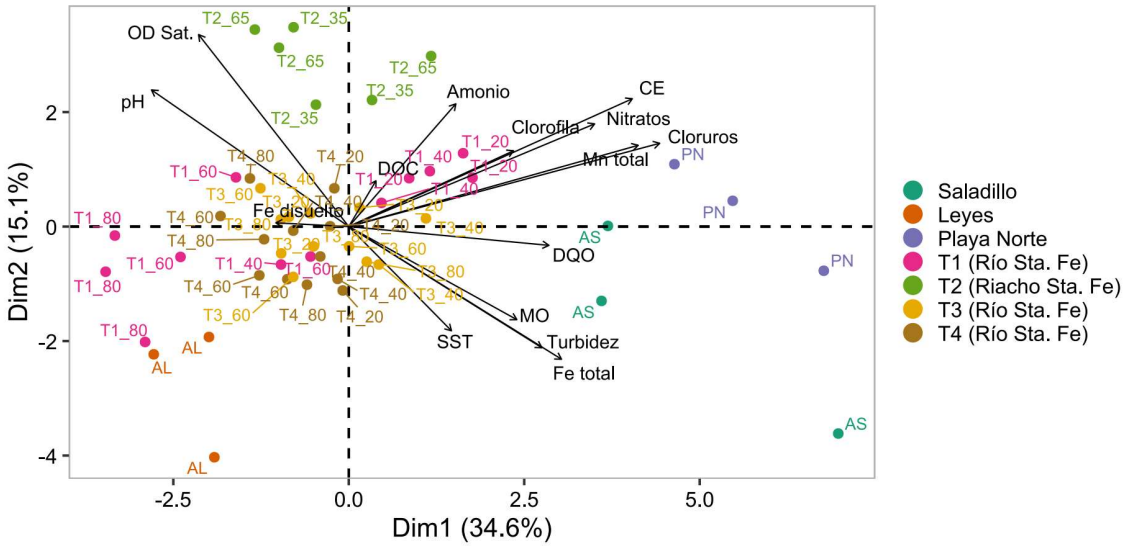


Figura 29: Análisis de componentes principales de la composición fisicoquímica del agua.

El primer componente principal (Dim1) representó un gradiente de enriquecimiento iónico y orgánico, definido principalmente por concentraciones elevadas de CE, cloruros, nitratos y materia orgánica. En contraste, las muestras del arroyo Leyes se agruparon hacia el cuadrante inferior izquierdo del gráfico, mostrando una asociación negativa con las variables antes mencionadas. Esta disposición refleja una composición fisicoquímica diferente, coherente con el hecho de que el Leyes es un curso derivado directamente del río Paraná, mientras que el Saladillo drena una subcuenca con características diferentes. Si bien en el punto muestreado del Saladillo podría existir cierto grado de mezcla con el Leyes, las aguas presentan diferente composición fisicoquímica. El segundo componente (Dim2) explicó el 15.1 % de la variabilidad y permitió distinguir particularmente al arroyo Leyes del Riacho Santa Fe (T2). En este último se registraron valores más altos de OD y clorofila. Las transectas ubicadas sobre el curso principal del río Santa Fe (T1, T3 y T4) mostraron una distribución más centrada en el espacio del PCA, lo que indica condiciones

fisicoquímicas más homogéneas en comparación con los afluentes. Cabe destacar un efecto de margen en la transecta T1: los puntos correspondientes a la margen izquierda (T1-60 y T1-80) estuvieron más influenciados por las características del arroyo Leyes, mientras que los puntos de la margen derecha (T1-20 y T1-40) reflejaron una mayor influencia del Saladillo y de Playa Norte, ambos con mayores niveles de enriquecimiento iónico.

Estos resultados muestran una marcada concordancia con los patrones descriptivos presentados en la sección anterior, fortaleciendo la interpretación general del comportamiento fisicoquímico.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS INA - ASSA EN TOMA HERNÁNDEZ

A continuación, se presenta el análisis comparativo entre los datos históricos de ASSA para la Toma Hernández y los obtenidos en las dos campañas realizadas por este equipo de trabajo.

Los parámetros OD y cloruros contaron con 7 y 13 registros históricos, respectivamente (**Figura 30**). El rango temporal de los datos fue de 2000 al 2017 para OD y de 2000 al 2011 para cloruros. En el caso de **OD**, la campaña de 2023 registró valores más bajos que los históricos, mientras que la campaña de 2025 presentó valores similares a los históricos. Para **cloruros**, el parámetro no fue medido en la campaña de 2023, mientras que en 2025 se registraron valores levemente superiores a los históricos, cuyo último dato disponible correspondía a 2011, sin superar el valor histórico cercano a los 80 mg/l.

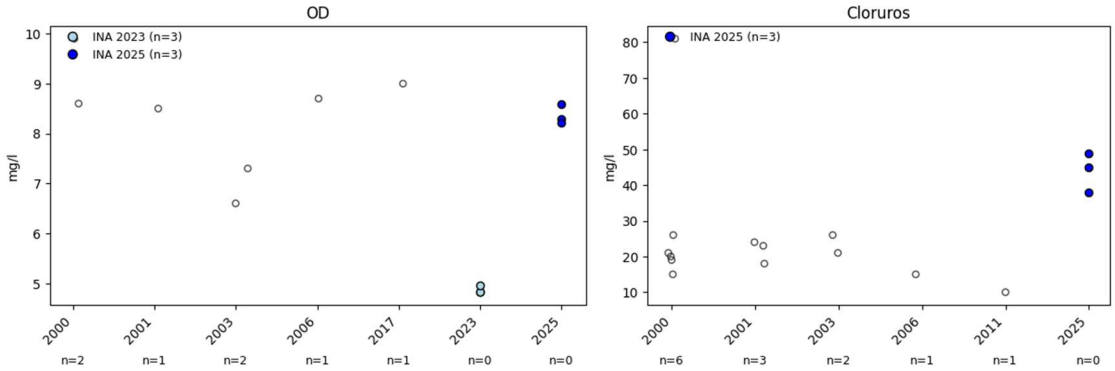


Figura 30: Datos ASSA, INA 2023 e INA 2025 distribuidos por año de OD y cloruros.

En el boxplot general que integra todos los datos históricos de **pH**, los valores registrados durante las campañas INA 2023 e INA 2025 se ubican dentro del rango de variabilidad histórica (**Figura 31**). Los valores de 2023 se encuentran próximos al cuartil inferior, por debajo, mientras que los valores de 2025 se sitúan en torno al cuartil inferior, pero por encima, siendo valores típicos del sistema, reflejando un comportamiento consistente con la serie de datos. En el análisis del boxplot anuales de pH, los valores obtenidos en las campañas INA 2023 e INA 2025 se ubican dentro del rango de variabilidad registrado históricamente por ASSA. En el caso de los valores INA 2025, se ubican cercanos a la mediana correspondiente a 2024. Los datos de ambas campañas INA se encuentran dentro de los valores típicos del sistema, sin evidenciar diferencias respecto de los valores históricos registrados.

En el análisis de CE, los valores obtenidos durante las campañas INA 2023 e INA 2025 se ubican dentro del rango de variabilidad histórica, sin clasificarse como outliers (**Figura 31**). El boxplot general de CE muestra 66 valores históricos identificados como outliers, con máximos de 3460 µS/cm, muy por encima de la media histórica (245 µS/cm). Estos valores extremos corresponden al período de bajante histórica 2021-2022, durante el cual se registraron eventos de salinidad elevada. En esos años, la mediana y la dispersión de los datos se incrementaron. En el análisis general, los

valores de las campañas INA se ubican dentro de la variabilidad del sistema y dentro del rango de valores típico. Los valores correspondientes a INA 2025 se encuentran cercanos a la mediana histórica. Mientras que los valores de 2023 se encuentran por debajo del primer cuartil. El análisis por años muestra que tanto los valores INA 2023 como INA 2025 se encuentran dentro del rango de valores típicos y dentro del comportamiento esperado para el sistema, sin evidenciar desviaciones respecto de la serie histórica.

En el análisis general de **turbidez**, los valores registrados durante las campañas INA 2023 como INA 2025 se encuentran dentro del rango típico histórico (**Figura 32**). La campaña 2023 presentó valores bajos, cercanos al cuartil inferior, mientras que los valores de 2025 se ubicaron por encima de la mediana histórica, aunque dentro del rango esperado. El análisis por años muestra que los valores de 2023 son consistentes con años de turbidez moderados, mientras que los valores de 2025 coinciden con períodos históricamente de mayor turbidez (2009, 1012, 2024). Ambos conjuntos de datos se encuentran dentro del régimen natural de variabilidad del sistema y no evidencian desvíos respecto de la serie provista por ASSA.

En el caso de los **SST**, los valores registrados en las campañas INA 2023 e INA 2025 se ubican dentro del rango de variabilidad histórica (**Figura 32**). Las concentraciones de 2023 corresponden a valores típicos, mientras que en 2025 se observaron concentraciones más elevadas, aunque dentro del rango esperado. Si bien la serie histórica presenta episodios de SST altos, con valores superiores a 150 mg/L y máximos de hasta 532 mg/L, las campañas INA se encuentran dentro de la variabilidad del sistema y no presentan valores atípicos. Las concentraciones de la campaña INA 2025 son consistentes con los años con mayor concentración de SST (2015, 2016 y 2024). En conjunto, los datos INA se consideran representativos de la variabilidad natural del sistema y no evidencian desvíos respecto de la serie histórica.

Para **materia orgánica UV** (253.7 nm), los valores registrados durante la campaña INA 2025 se ubican dentro del rango típico de variabilidad histórica (**Figura 33)**. En el boxplot general los valores se sitúan por debajo del primer cuartil, mientras que en el análisis anual los valores se encuentran entre los típicos para 2024.

Los valores de **hierro** registrados durante las campañas INA 2023 e INA 2025 se encuentran dentro de la variabilidad típica del registro histórico (**Figura 34**). En 2023, los valores se ubican próximos al cuartil inferior, mientras que, en 2025, se posicionan próximos al cuartil superior. Las concentraciones de 2025 alcanzan valores comparables a los registrados de los años 2014, 2019, 2021 y 2024; aunque permanecen dentro de la variabilidad esperada para el sistema. Los datos INA son consistentes con el patrón de concentraciones de hierro reportado por ASSA.

En el caso del **manganeso**, los valores registrados durante las campañas INA 2023 e INA 2025 se ubican dentro del rango típico de variabilidad del sistema (**Figura 34**). Las concentraciones se sitúan próximas a la mediana histórica. Los valores obtenidos coinciden con los años 2014, 2017, 2019 y 2022. Los mismos no reflejan episodios de mayor concentración observados en algunos años de la serie. Ambos conjuntos de datos se consideran representativos de la variabilidad del sistema y no evidencian desviación respecto de la serie histórica.

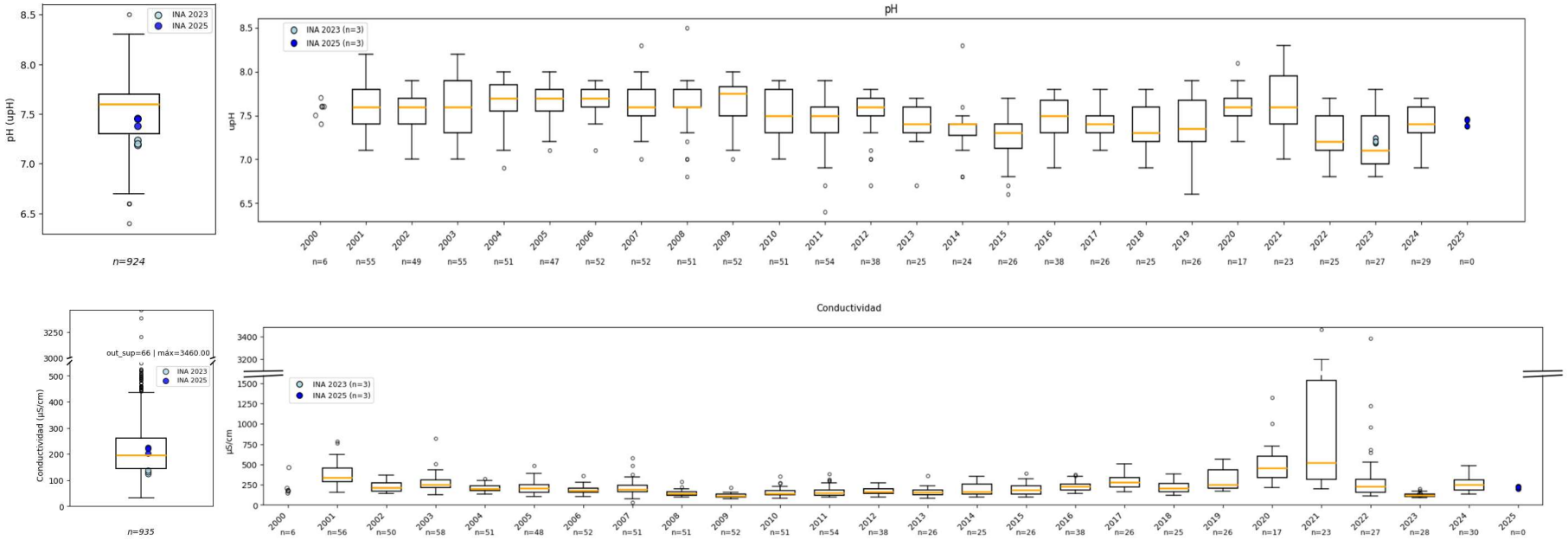


Figura 31: Boxplot general y por año de datos ASSA, INA 2023 e INA 2025 de pH y CE.

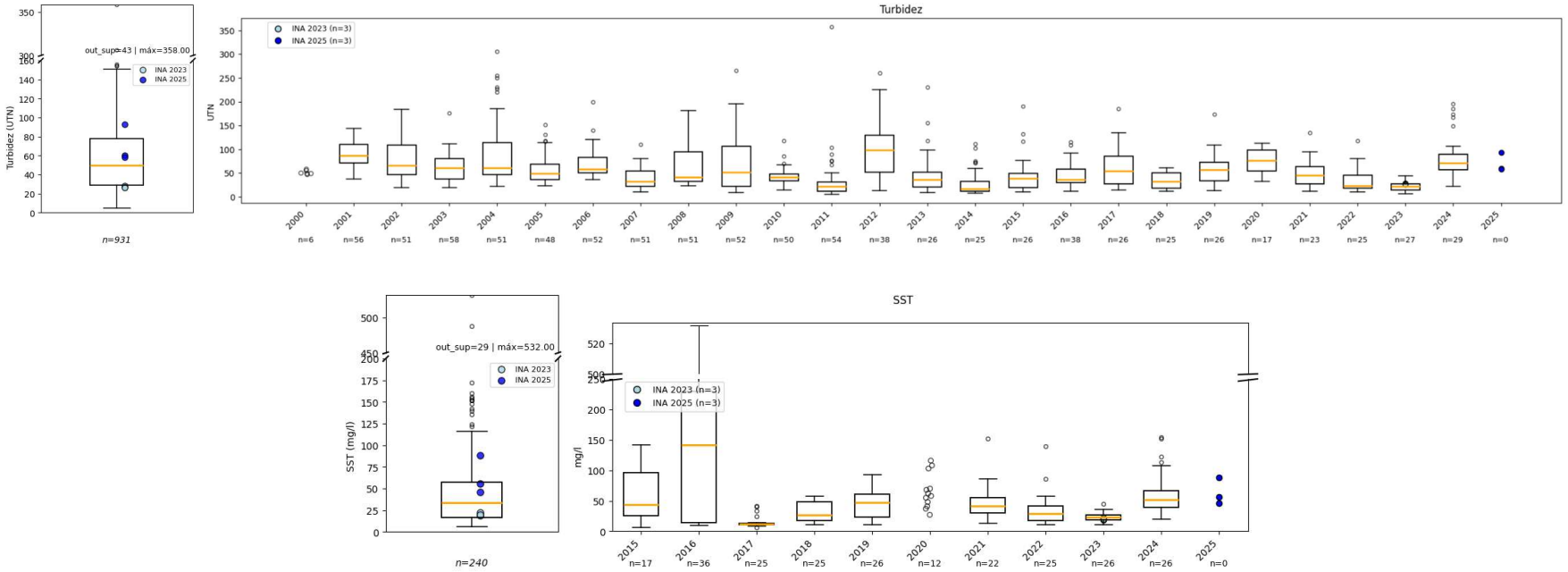


Figura 32: Boxplot general y por año de datos ASSA, INA 2023 e INA 2025 de turbidez y SST.

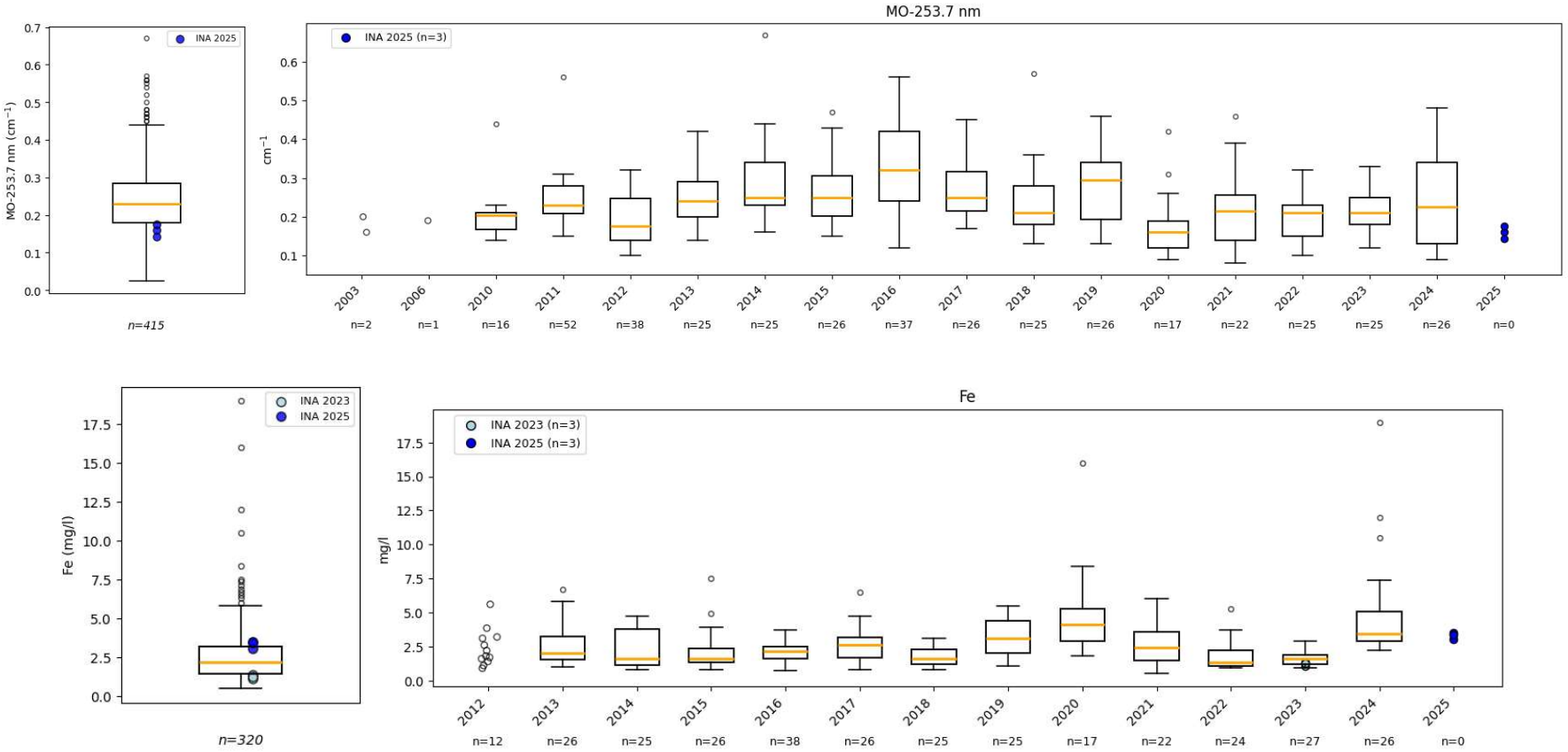


Figura 33: Boxplot general y por año de datos ASSA, INA 2023 e INA 2025 de MO-253.7nm.

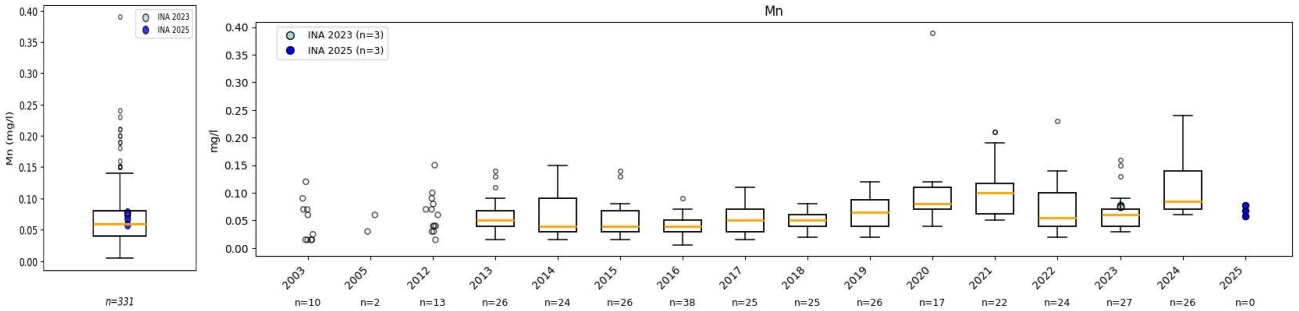


Figura 34: Boxplot general y por año de datos ASSA, INA 2023 e INA 2025 de Fe y Mn totales.

5. SÍNTESIS

El presente informe describe las actividades y resultados de la campaña de calidad de agua desarrollada los días 16, 17 y 18 de septiembre de 2025 en el área de influencia de la Toma Hernández, abarcando la Laguna Setúbal, los arroyos Saladillo y Leyes, el riacho Santa Fe y tres secciones del cauce del río Santa Fe.

Se analizaron parámetros físico-químicos y biogeoquímicos mediante mediciones in situ, determinaciones en campo y análisis de laboratorio. Para interpretar los resultados se construyeron gráficos comparativos, se calcularon cargas másicas (excepto para Playa Norte y T2), se aplicó un PCA y se contrastaron los valores obtenidos con los registros históricos de ASSA y con los datos de las campañas INA 2023 y 2025.

Los afluentes exhibieron composiciones fisicoquímicas contrastantes. El arroyo Saladillo presentó las concentraciones más elevadas de CE, cloruros, turbidez, DQO, MO, nitratos, amonio, hierro y manganeso totales, así como de clorofila a. En contraste, el arroyo Leyes exhibió valores bajos en la mayoría de las variables, con la excepción del Fe disuelto, cuyas concentraciones superaron a las del Saladillo. Si bien en el punto muestreado del Saladillo podría existir cierto grado de mezcla con el Leyes, ambos cursos mantienen composiciones fisicoquímicas diferenciadas.

En la margen derecha de la Laguna Setúbal, a la altura de Playa Norte, se registraron valores superiores incluso a los del Saladillo para la mayoría de los parámetros, lo que sugiere la presencia de aportes adicionales asociados a las áreas urbanas y periurbanas situadas sobre la margen derecha.

En la sección del río Santa Fe relevada aguas arriba del Puente Colgante (T1) se observó un marcado gradiente de margen, con concentraciones más altas sobre la margen

derecha que disminuyeron progresivamente hacia la margen izquierda, reflejando la confluencia y mezcla de los aportes provenientes del Saladillo y del Leyes. Este patrón estuvo presente en CE, turbidez, cloruros, MO, nitratos, amonio y hierro y manganeso totales. En cambio, en las secciones ubicadas aguas abajo, a la altura del Club Regatas (T3) y de Toma Hernández (T4), las condiciones tendieron a ser homogéneas entre márgenes, coherentes con un mayor grado de mezcla en el cauce principal.

La sección relevada en el Riacho Santa Fe (T2), si bien presentó para algunos parámetros valores cercanos a los del Saladillo, mostró un comportamiento claramente diferenciado del resto de los sitios. Esta singularidad es consistente con su condición hidrodinámica: al encontrarse sin flujo durante el muestreo, el Riacho Santa Fe actuó como un cuerpo aislado respecto del sistema principal. En consecuencia, no se calcularon cargas másicas para este sitio.

En cuanto a los metales pesados analizados, en todos los sitios se encontraron predominantemente asociados a la fracción particulada, es decir, a los sólidos en suspensión.

La evaluación de las cargas másicas reforzó los patrones espaciales descritos. Si bien las cargas fueron comparables entre las distintas secciones relevadas sobre el río Santa Fe, las diferencias de caudal entre los afluentes y el cauce principal generaron contrastes marcados en los aportes efectivos. En consecuencia, el río Santa Fe presentó las mayores cargas aguas abajo, mientras que entre los tributarios el Saladillo aportó cargas superiores a las del Leyes.

El PCA confirmó contrastes claros entre algunos sitios. El primer componente separó a Saladillo y a Playa Norte del arroyo Leyes, reflejando diferencias claras en su composición fisicoquímica. Esta diferenciación es coherente con el hecho de que el Leyes constituye un brazo derivado del río Paraná, mientras que el Saladillo es drenaje

de una subcuenca con atributos propios, aun cuando en el punto muestreado pudiera existir algún grado de mezcla. Los sitios del cauce principal se ubicaron en posiciones intermedias, evidenciando condiciones de mezcla progresiva.

La comparación de los resultados de esta campaña con los registros históricos de ASSA y con la campaña INA 2023 mostró una buena correspondencia entre parámetros, que se ubicaron dentro de los rangos típicos del sistema y sin desviaciones significativas.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten caracterizar la distribución espacial de las condiciones fisicoquímicas en el área de captación de la Toma Hernández, reflejando la influencia diferenciada de los afluentes, la mezcla gradual en el cauce principal y un posible aporte adicional asociado a la urbanización de la margen derecha. La consistencia entre los patrones espaciales, las cargas másicas, el PCA y la comparación con los datos históricos brinda solidez al análisis. Esta información constituye una base técnica esencial para la calibración y validación del modelo de detalle de calidad de agua cuyo objetivo será evaluar escenarios bajo condiciones hidrológicas y climáticas cambiantes.

6. REFERENCIAS

APHA, AWWA, & WEF. (2023). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (24th ed.). American Public Health Association.

Duncan, D., Walker, M., & Harvey, F. (2007). Regulatory monitoring and testing: water and wastewater sampling. Environment Protection Authority.

Python Software Foundation. (2023). *Python: A programming language for scientific computing (version 3.10)*. https://www.python.org/

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2022). Estudio sobre variables de diseño para la provisión de agua potable en las principales localidades sobre el Río Paraná para distintos escenarios de clima futuro (etapa 1). Proyecto ARG19003 – Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. SDP N°23/202.

R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

ANEXO I

DISEÑO Y FABRICACIÓN MUESTREADOR MANUAL TIPO ROSETA

1. Objetivo

El presente anexo describe el diseño y la construcción de un dispositivo de toma de muestras hídricas tipo roseta, desarrollado íntegramente con recursos y manufactura local. El objetivo principal fue obtener un sistema versátil, desmontable y adaptable a diferentes condiciones de campo, optimizando costos y tiempo.

Dado que el dispositivo se iba emplear para muestreos que incluyen la detección de metales, se priorizó el uso de materiales libres de interferencia química (acero inoxidable AISI 304, acrílico y PLA de alto impacto), evitando el uso de adhesivos o uniones que pudieran afectar la calidad de la muestra.

2. Diseño y Dimensionamiento

El diseño se realizó en SolidWorks, generando planos de despiece, ensamblaje (**Figura 35**) y documentación técnica. Se desarrolló un modelo completamente desmontable (**Figura 36)** compuesto por los siguientes subconjuntos:

- Base inferior soporte (**Figura 37a**)
- Base porta postizos (**Figura 37b**)
- Ocho postizos portacontenedores (**Figura 37c**)
- Tee de izaje (**Figura 37d**)
- Buje con prisionero (**Figura 37e**)
- Retén-corona (**Figura 37f**)
- Vástago guía soporte
- Conjunto de adaptadores y conductos plásticos (**Figura 37g**)

El diseño final fue validado en proyección 3D y mediante simulaciones de ensamblaje.

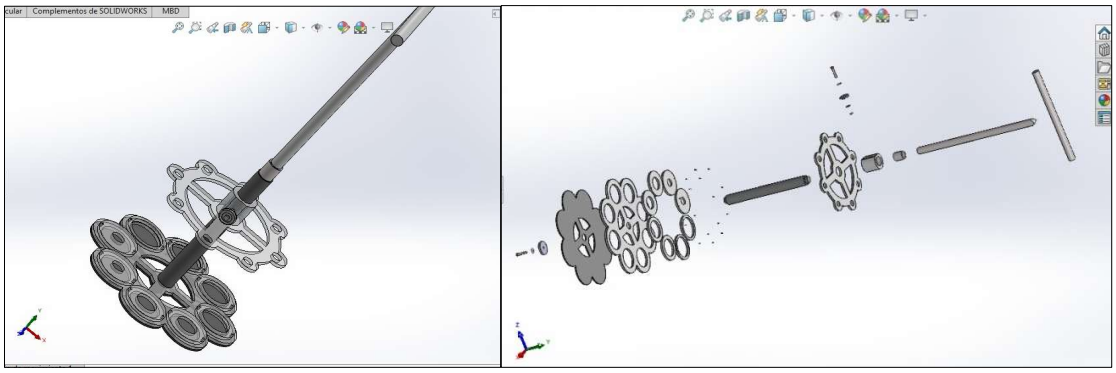


Figura 35: Modelo tridimensional y despiece del dispositivo tipo roseta. Representación en SolidWorks del conjunto completo (izquierda) y del despiece de sus componentes principales (derecha). Se observan las piezas estructurales —base porta postizos, corona-retén, vástago guía y Tee de izaje— y la disposición radial de los portacontenedores, que caracterizan el diseño tipo roseta.

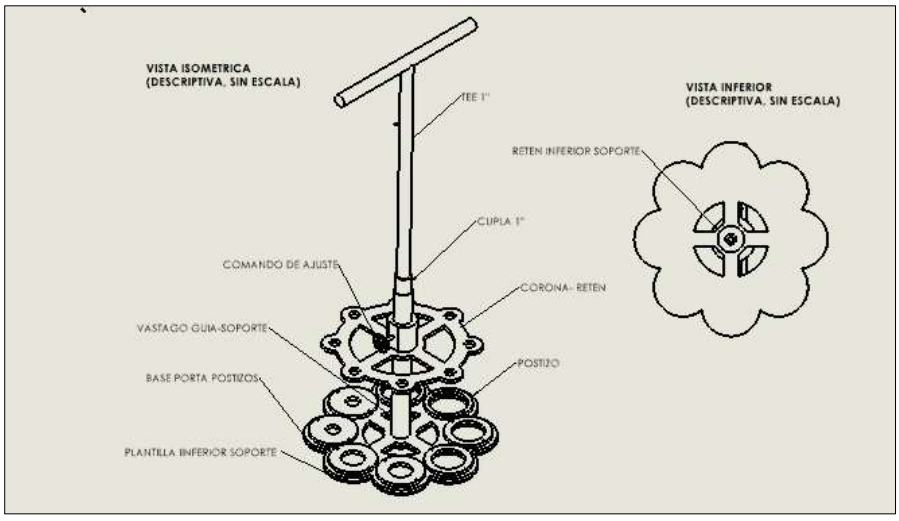


Figura 36: Vista isométrica y vista superior del dispositivo tipo roseta.

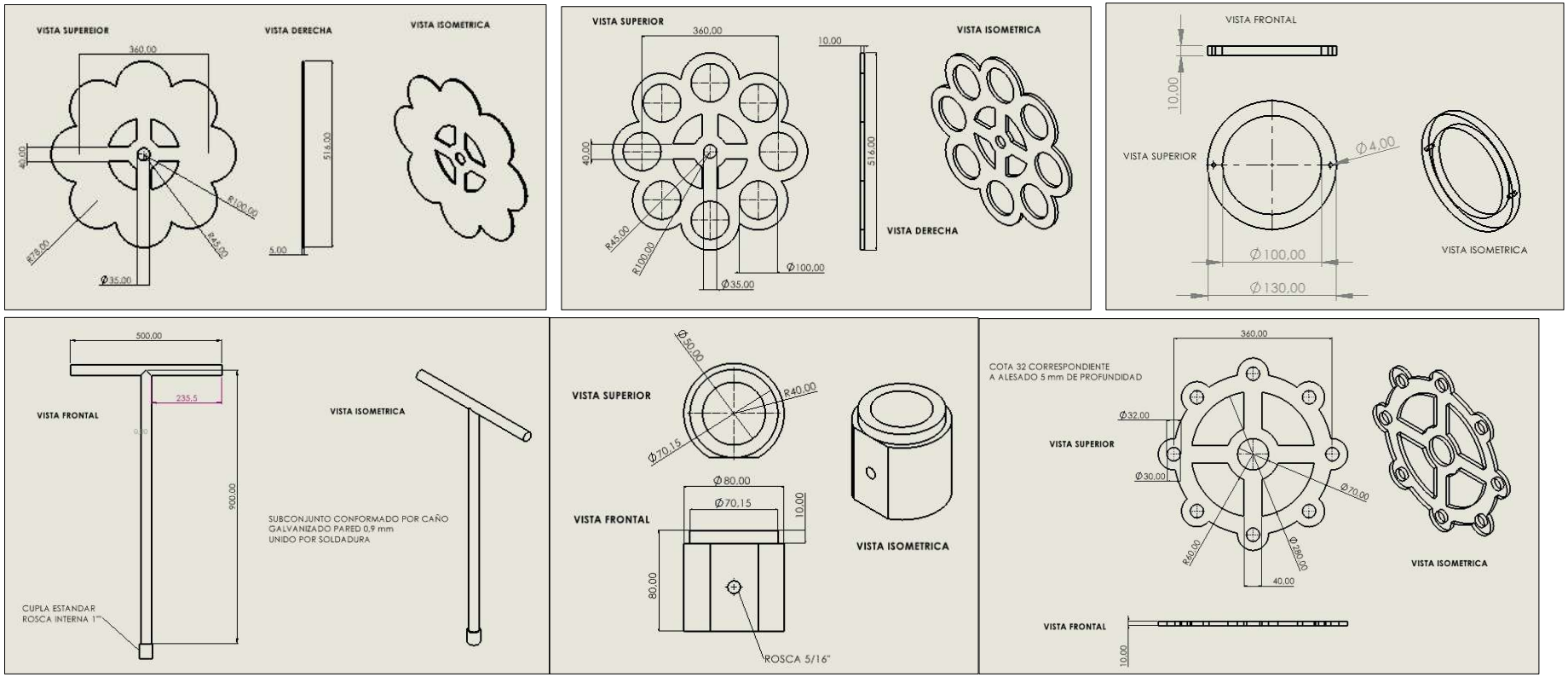


Figura 37: Subconjuntos de partes que comprenden el muestreador. a) Base inferior soporte. b) Base porta postizos. c) Postizos porta contenedores. d) Tee de izaje. e) Buje con prisionero. f) Corona sujeción. ***Todas las medidas están expresadas en mm.***

3. Selección de Materiales y Corte

Para la fabricación se seleccionaron materiales según su compatibilidad con el medio acuoso y resistencia mecánica:

- Placas de acrílico (espesores 10 y 15 mm)
- Placa de poliestireno de alto impacto (HIPS) de 5 mm
- Tocho de Delrin (acetal) de 50 mm Ø
- Tornillería AISI 304 (3/16" y 5/16")

El corte se efectuó en el taller de carpintería con sierra sin fin (hoja de 16 dientes/pulgada) (**Figura 38**), siguiendo las normas de seguridad e higiene laboral.



Figura 38: Sierra sin fin con hoja de 16 dientes/pulgada.

4. Mecanizado

Las piezas de geometría compleja se mecanizaron en un router CNC marca SCHNITT (X=1200 mm, Y=2200 mm, Z=350 mm) (**Figura 39**), empleando software VECTRIC Aspire para el proceso CAD-CAM y Mach3 como software de control.



Figura 39: Router CNC marca Schnitt.

Las piezas mecanizadas incluyeron: corona, base inferior, retén inferior y postizos porta contenedores y se realizó por etapas:

- Fijación de la placa y perforación de anclajes.
- Generación de trayectorias de herramienta (perfilado y cajeado).
- Carga de programas mediante puerto USB.
- Palpado de offset de herramientas y verificación de condiciones de corte.

5. Acabado Superficial y Torneado

Se efectuó un esmerilado superficial con lijadora roto-orbital y tela grano 60 para eliminar imperfecciones y mejorar el acabado estético. El torneado y roscado de piezas cilíndricas (vástago guía y retén corona) se realizó en torno (**Figura 40**) y las roscas fueron realizadas manualmente (3/16" en la base porta postizos y 5/16" en el vástago guía soporte).



Figura 40: Torno

6. Soldadura y Ensamble de Tee de Izaje

La Tee de izaje se construyó con caño galvanizado de 1" (pared 0,9 mm), incorporando una cupla roscada para su unión con el vástago guía. La soldadura se efectuó con máquina inverter ESAB 162, electrodo 6013 Ø 2,5 mm y baja intensidad. El manillar fue conformado por aplastamiento en prensa manual.

7. Fabricación de Adaptadores

Se confeccionaron seis tramos de caño plástico Ø 32 mm como adaptadores intercambiables, compatibles con recipientes de distintas capacidades (**Figura 41**) Estos conductos permiten ajustar la longitud del conjunto y asegurar la función de cierre de la corona retén.



Figura 41: Adaptadores intercambiables de plástico Ø 32 mm.

8. Ensamblaje Final

El montaje siguió la siguiente secuencia: Base soporte y postizos portacontenedores; Base inferior; Vástago guía soporte y retén inferior; Corona-retén y Tee de izaje (**Figura 42**). El conjunto final resultó completamente desmontable, de peso manejable y con excelente maniobrabilidad.



Figura 42: Ensamblado del muestreador.

ANEXO II

Datos crudos de las determinaciones fisicoquímicas.

Nota: (*) Valores no considerados debido a inconvenientes con el electrodo durante esas mediciones. ND: No Detectable. DC: Duplicado de Campo. BC: Blanco de campo

#Sitio	Hora	pH upH	CE µS/cm	OD mg/l	OD %sat	Tur-bidez NTU	SST mg/l	DQO mg/l	COD mg/l	MO cm^{-1}	Cl^- mg/l	$P\text{-}PO_4^{3-}$ mg/l	$N\text{-}NO_3^-$ mg/l	$N\text{-}NH_3$ mg/l	Chl a µg/l	Fe total mg/l	Fe dis mg/l	Mn total mg/l	Mn dis mg/l
ASAL_ 160925	10:52	6.62 (*)	334.0	6.23	71.6	195 (*)	93	24	6.19	0.241	55	<0,15	0.72	0.40	26.5	3.991	0.163	0.090	ND
ALEY_ 160925	12:32	7.44	138.1	6.64	74.3	49.0	97	12	5.75	0.213	14	<0,15	0.27	0.33	4.3	3.211	0.207	<0,050	<0.050
PN_ 160925	13:20	7.29	392.0	6.90	88.0	71.0	63	20	6.41	0.230	70	<0.15	0.86	0.42	15.0	4.015	0.089	0.101	ND
PN_DC_ 160925	13:22	7.29	394.0	6.43	71.9	71.0	64	19	6.50	0.246	68	<0.15	0.68	0.55	29.5	3.818	0.105	0.094	ND
PN_BC_ 160925	13:17	-	-	-	-	<0.1	5	<10	<0.50	0.021	<4	<0.15	<0.10	<0.10	<1.0	ND	ND	ND	ND
T1_20_ 160925	14:45	7.77	312.0	8.59	97.1	85.0	129	12	6.49	0.183	49	<0.15	0.48	0.56	17.1	3.367	0.226	0.078	<0.050
T1_40_ 160925	14:52	7.68	250.0	8.62	96.7	65.0	54	16	6.62	0.170	36	<0.15	0.45	0.44	15.0	3.615	0.188	0.079	<0.050
T1_60_ 160925	14:56	7.68	223.0	8.68	97.3	58.0	119	16	5.80	0.163	32	<0.15	0.46	0.38	8.9	3.002	0.211	0.061	<0.050

#Sitio	Hora	pH upH	CE µS/cm	OD mg/l	OD %sat	Tur-bidez NTU	SST mg/l	DQO mg/l	COD mg/l	MO cm^{-1}	Cl^- mg/l	$P\text{-}PO_4^{3-}$ mg/l	$N\text{-}NO_3^-$ mg/l	$N\text{-}NH_3$ mg/l	Chl a µg/l	Fe total mg/l	Fe dis mg/l	Mn total mg/l	Mn dis mg/l
T1_80_160925	15:00	7.64	143.3	8.75	98.1	45.0	3/33	17	6.06	0.136	14	<0.15	0.31	0.34	6.2	2.896	0.391	<0.050	ND
T2_35_160925	14:05	7.72	268.0	9.91	114.8	85.0	39	18	6.06	0.156	36	<0.15	0.50	0.35	27.8	2.214	0.327	0.063	<0.050
T2_65_160925	14:10	7.76	297.0	9.60	116.6	57.0	37	<10	6.19	0.150	41	<0.15	0.50	0.35	27.8	2.146	0.120	0.077	<0.050
T3_20_160925	11:59	7.60	241.0	8.38	90.9	55.0	49	15	6.76	0.158	36	<0.15	0.55	0.48	8.0	3.607	0.432	0.066	<0.050
T3_40_160925	12:04	7.61	241.0	8.44	91.1	51.6	106	13	5.98	0.174	36	<0.15	0.56	0.42	6.1	3.634	0.243	0.071	<0.050
T3_60_160925	12:11	7.57	247.0	8.45	91.8	53.4	46	12	5.98	0.178	36	<0.15	0.54	0.39	4.0	3.567	0.103	0.068	<0.050
T3_80_160925	12:16	7.58	239.0	8.42	91.2	60.4	49	18	6.04	0.191	34	<0.15	0.56	0.36	5.3	3.385	0.541	0.072	<0.050
T4_20_160925	10:53	7.46	226.0	8.43	91.1	93.0	88	14	6.59	0.160	32	<0.15	0.50	0.37	4.1	3.060	0.280	0.067	<0.050
T4_40_160925	11:04	7.54	211.1	8.47	91.5	60.3	61	12	6.63	0.198	30	<0.15	0.50	0.33	19.2	3.332	0.300	0.057	<0.050
T4_60_160925	11:12	7.59	199.4	8.53	91.9	54.7	44	11	6.45	0.207	26	<0.15	0.50	0.34	12.8	3.278	0.567	0.055	<0.050

#Sitio	Hora	pH upH	CE µS/cm	OD mg/l	OD %sat	Tur-bidez NTU	SST mg/l	DQO mg/l	COD mg/l	MO cm^{-1}	Cl^- mg/l	$P\text{-}PO_4^{3-}$ mg/l	$N\text{-}NO_3^-$ mg/l	$N\text{-}NH_3$ mg/l	Chl a µg/l	Fe total mg/l	Fe dis mg/l	Mn total mg/l	Mn dis mg/l
T4_80_ 160925	11:18	7.58	210.1	8.46	90.8	57.1	50	<10	6.07	0.200	29	<0.15	0.55	0.42	11.3	2.765	0.735	0.052	<0.050
ASAL_ 170925	12:44	7.45	256.0	5.90	62.6	70.0	62	16	7.02	0.185	59	<0.15	0.76	0.38	12.8	4.146	0.128	0.101	<0.050
ALEY_ 170925	10:55	7.38	140.0	6.65	81.5	52.0	47	13	6.13	0.167	14	<0.15	0.39	0.51	2.3	3.307	0.314	<0.050	ND
PN_ 170925	13:19	7.57	366.0	7.99	94.5	72.0	61	26	7.62	0.204	61	<0.15	0.79	0.45	10.7	4.262	0.122	0.105	ND
T1_20_ 170925	13:29	7.70	280.0	8.29	94.7	69	94	18	5.92	0.190	45	<0.15	0.81	0.53	2.3	3.489	0.246	0.082	<0.050
T1_40_ 170925	13:32	7.76	262.0	8.46	95.4	81	81	13	6.70	0.212	41	<0.15	0.76	0.48	6.8	3.739	0.355	0.081	<0.050
T1_60_ 170925	13:36	7.67	181.5	8.47	95.2	54	38	11	11.80	0.197	22	<0.15	0.63	0.37	4.1	2.736	0.231	0.051	<0.050
T1_80_ 170925	13:40	7.59	153.1	8.48	95.8	44	38	11	6.20	0.148	18	<0.15	0.48	0.36	3.2	2.648	0.134	<0.050	<0.050
T2_35_ 170925	12:42	7.70	288.0	9.50	110.1	36	36	11	5.87	0.160	41	<0.15	0.66	0.45	15.0	1.837	0.129	0.074	<0.050
T2_65_ 170925	12:47	7.77	271.0	8.98	104.4	38	34	10	6.88	0.136	37	<0.15	0.56	0.55	9.1	2.227	0.242	0.073	<0.050

#Sitio	Hora	pH upH	CE µS/cm	OD mg/l	OD %sat	Tur-bidez NTU	SST mg/l	DQO mg/l	COD mg/l	MO cm^{-1}	Cl^- mg/l	$P\text{-}PO_4^{3-}$ mg/l	$N\text{-}NO_3^-$ mg/l	$N\text{-}NH_3$ mg/l	Chl a µg/l	Fe total mg/l	Fe dis mg/l	Mn total mg/l	Mn dis mg/l
T3_20_ 170925	11:11	7.58	185.3	8.22	91.4	50	58	14	6.14	0.163	31	<0.15	0.63	0.38	6.8	3.012	<0.050	0.065	<0.050
T3_40_ 170925	11:16	7.58	227.0	8.31	90.9	58	42	16	6.29	0.180	33	<0.15	0.67	0.37	6.2	3.379	1.062	0.065	<0.050
T3_60_ 170925	11:20	7.62	208.1	8.32	90.8	58	31	13	7.20	0.173	29	<0.15	0.62	0.41	<1.0	2.783	0.308	0.064	<0.050
T3_80_ 170925	11:29	7.54	205.5	8.31	91.3	58	38	15	5.79	0.154	27	<0.15	0.56	0.38	8.5	3.346	0.260	0.067	<0.050
T4_20_ 170925	10:23	7.38	203.5	8.26	90.4	60	56	10	6.97	0.175	27	<0.15	0.74	0.60	4.8	3.501	0.653	0.058	<0.050
T4_40_ 170925	10:29	7.46	205.8	8.33	91.0	55	41	14	6.06	0.175	29	<0.15	0.58	0.45	4.3	3.312	0.131	0.050	<0.050
T4_60_ 170925	10:33	7.54	206.4	8.33	90.9	56	27	10	6.53	0.170	29	<0.15	0.57	0.44	8.5	3.351	0.809	<0.050	<0.050
T4_80_ 170925	10:39	7.56	206.4	8.29	90.4	56	38	11	6.49	0.171	29	<0.15	0.55	0.47	8.5	2.534	0.414	0.057	<0.050
ASAL_ 180925	11:26	7.16	290.0	6.74	68.9	66.0	50	11	6.32	0.167	56	<0.15	0.88	0.54	10.7	3.727	<0.050	0.097	ND
ALEY_ 180925	10:17	7.20	116.6	7.04	86.7	48.0	38	10	5.72	0.151	14	<0.15	0.35	0.37	6.1	2.974	0.112	<0.050	ND

#Sitio	Hora	pH upH	CE µS/cm	OD mg/l	OD %sat	Tur-bidez NTU	SST mg/l	DQO mg/l	COD mg/l	MO cm^{-1}	Cl^- mg/l	$P\text{-}PO_4^{3-}$ mg/l	$N\text{-}NO_3^-$ mg/l	$N\text{-}NH_3$ mg/l	Chl a µg/l	Fe total mg/l	Fe dis mg/l	Mn total mg/l	Mn dis mg/l
PN_ 180925	9:14	6.87 (*)	335.0	6.96	71.3	89.0	77	18	6.38	0.166	68	<0.15	0.75	0.47	27.8	4.934	0.110	0.149	ND
T1_20_ 180925	12:28	7.60	255.0	8.22	93.5	64.0	53	10	6.18	0.168	38	<0.15	0.58	0.54	15.0	3.773	0.370	0.082	<0.050
T1_40_ 180925	12:33	7.65	208.4	8.38	93.5	59.0	42	11	6.52	0.184	24	<0.15	0.43	0.35	9.1	3.391	0.085	0.068	ND
T1_60_ 180925	12:36	7.65	155.1	8.40	93.3	48.0	36	<10	4.94	0.161	18	<0.15	0.40	0.36	17.6	3.094	0.149	0.056	<0.050
T1_80_ 180925	12:41	7.63	139.9	8.41	93.4	46.0	105	14	5.88	0.155	14	<0.15	0.36	0.34	<1.0	2.947	0.102	<0.050	<0.050
T2_35_ 180925	11:26	7.42	269.0	8.47	96.6	38.0	30	15	5.92	0.144	38	<0.15	0.72	0.55	10.4	2.368	0.106	0.069	<0.050
T2_65_1 80925	11:30	7.51	314.0	8.75	99.3	35.0	29	18	6.27	0.160	44	<0.15	0.65	0.52	26.3	2.165	0.064	0.073	<0.050
T3_20_ 180925	10:34	7.54	189.6	8.28	91.2	52.0	38	12	6.06	0.185	24	<0.15	0.55	0.44	2.1	3.017	0.060	0.059	<0.050
T3_40_ 180925	10:38	7.52	241.1	8.18	90.2	61.0	42	21	6.23	0.164	38	<0.15	0.59	0.46	8.0	3.517	0.073	0.078	<0.050
T3_60_ 180925	10:41	7.55	205.7	8.23	90.7	60.0	74	11	6.60	0.165	31	<0.15	0.46	0.40	3.3	3.319	0.170	0.060	<0.050

#Sitio	Hora	pH upH	CE µS/cm	OD mg/l	OD %sat	Tur-bidez NTU	SST mg/l	DQO mg/l	COD mg/l	MO cm^{-1}	Cl^- mg/l	$P\text{-}PO_4^{3-}$ mg/l	$N\text{-}NO_3^-$ mg/l	$N\text{-}NH_3$ mg/l	Chl a µg/l	Fe total mg/l	Fe dis mg/l	Mn total mg/l	Mn dis mg/l
T3_80_ 180925	10:45	7.54	208.9	8.26	91.0	55.0	37	12	5.87	0.162	30	<0.15	0.58	0.42	2.1	3.509	0.042	0.065	ND
T4_20_ 180925	10:06	7.45	220.0	8.22	90.3	58.0	46	11	5.83	0.143	33	<0.15	0.57	0.45	4.3	3.398	0.318	0.078	<0.050
T4_40_ 180925	10:09	7.50	217.8	8.23	90.4	55.0	40	<10	6.28	0.190	32	<0.15	0.57	0.44	4.2	3.653	0.175	0.062	ND
T4_60_ 180925	10:13	7.54	198.5	8.26	90.6	53.0	41	12	5.93	0.153	28	<0.15	0.54	0.43	4.2	3.841	0.237	<0.050	<0.050
T4_80_ 180925	10:17	7.55	185.5	8.26	90.4	51.0	120	12	6.67	0.172	23	<0.15	0.57	0.40	10.7	2.976	0.143	0.056	<0.050

ANEXO III

Datos de carga másica.

Fecha	Sitio	SST	DQO	DOC	Cl^-	$N\text{-}NO_3^-$	$N\text{-}NH_3$	Chl a	FeTotal	Fe Disuelto	Mn Total
		kg/s	kg/s	kg/s	kg/s	kg/s	kg/s	g/s	kg/s	kg/s	kg/s
16/09/25	A° Leyes	5	1	0.32	1	0.01	0.02	0.2	0.177	0.011	0.001
17/09/25	A° Leyes	3	1	0.36	1	0.02	0.03	0.1	0.194	0.018	0.001
18/09/25	A° Leyes	2	1	0.34	1	0.02	0.02	0.4	0.179	0.007	0.002
16/09/25	A° Saladillo	15	4	0.99	9	0.12	0.06	4.2	0.640	0.026	0.014
17/09/25	A° Saladillo	10	3	1.17	10	0.13	0.06	2.1	0.692	0.021	0.017
18/09/25	A° Saladillo	8	2	1.06	9	0.15	0.09	1.8	0.625	0.004	0.016
16/09/25	T1	41	7	3.06	16	0.21	0.21	5.8	1.578	0.124	0.030
17/09/25	T1	30	6	3.65	15	0.32	0.21	2.0	1.502	0.115	0.028
18/09/25	T1	29	5	2.88	12	0.22	0.20	5.2	1.620	0.087	0.028
16/09/25	T3	28	7	2.80	16	0.25	0.19	2.7	1.603	0.149	0.031
17/09/25	T3	19	6	2.79	13	0.27	0.17	2.4	1.375	0.182	0.029
18/09/25	T3	22	6	2.83	14	0.25	0.20	1.8	1.527	0.039	0.030
16/09/25	T4	26	5	2.79	13	0.22	0.16	5.1	1.346	0.204	0.025
17/09/25	T4	18	5	2.95	13	0.28	0.22	3.0	1.436	0.227	0.021
18/09/25	T4	29	5	2.89	14	0.26	0.20	2.7	1.621	0.102	0.026