

Curso: TÉCNICAS DE MEDICIÓN EN HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

MÓDULO 1: CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES

Fernanda Maciel (fmaciел@fing.edu.uy)

2º Semestre - 2024

Universidad de la República - Uruguay



Generalidades del curso

• 3 módulos de 5 semanas cada uno

- Módulo 1: Calidad de aguas superficiales (Fernanda Maciel)
- Módulo 2: Flujo de agua superficial (Rodrigo Mosquera)
- Módulo 3: Hidráulica de ambientes costeros (Rodrigo Alonso)

Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sabado	Domingo	TTMHH	
05-Aug	06-Aug	07-Aug	08-Aug	09-Aug	10-Aug	11-Aug	Módulo 1 (Fer) Martes 10 - 12 Viernes 10 - 12	Parciales
12-Aug	13-Aug	14-Aug	15-Aug	16-Aug	17-Aug	18-Aug		Exámenes
19-Aug	20-Aug	21-Aug	22-Aug	23-Aug	24-Aug	25-Aug		Feridos
26-Aug	27-Aug	28-Aug	29-Aug	30-Aug	31-Aug	01-Sep		
02-Sep	03-Sep	04-Sep	05-Sep	06-Sep	07-Sep	08-Sep		
09-Sep	10-Sep	11-Sep	12-Sep	13-Sep	14-Sep	15-Sep	Módulo 2 (Yo) Martes 10 - 12 Viernes 10 - 12	
16-Sep	17-Sep	18-Sep	19-Sep	20-Sep	21-Sep	22-Sep		
23-Sep	24-Sep	25-Sep	26-Sep	27-Sep	28-Sep	29-Sep		
30-Sep	01-Oct	02-Oct	03-Oct	04-Oct	05-Oct	06-Oct		
07-Oct	08-Oct	09-Oct	10-Oct	11-Oct	12-Oct	13-Oct		
14-Oct	15-Oct	16-Oct	17-Oct	18-Oct	19-Oct	20-Oct	Módulo 3 (Lalo) Martes 10 - 12 Viernes 10 - 12	
21-Oct	22-Oct	23-Oct	24-Oct	25-Oct	26-Oct	27-Oct		
28-Oct	29-Oct	30-Oct	31-Oct	01-Nov	02-Nov	03-Nov		
04-Nov	05-Nov	06-Nov	07-Nov	08-Nov	09-Nov	10-Nov		
11-Nov	12-Nov	13-Nov	14-Nov	15-Nov	16-Nov	17-Nov		
18-Nov	19-Nov	20-Nov	21-Nov	22-Nov	23-Nov	24-Nov		
25-Nov	26-Nov	27-Nov	28-Nov	29-Nov	30-Nov	01-Dec		

Generalidades del curso

- **3 módulos de 5 semanas cada uno**

- **Módulo 1: Calidad de aguas superficiales** (Fernanda Maciel)
- Módulo 2: Flujo de agua superficial (Rodrigo Mosquera)
- Módulo 3: Hidráulica de ambientes costeros (Rodrigo Alonso)

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	TTMHH	
05-Aug	06-Aug	07-Aug	08-Aug	09-Aug	10-Aug	11-Aug	Módulo 1 (Fer)	Parciales
12-Aug	13-Aug	14-Aug	15-Aug	16-Aug	17-Aug	18-Aug		Exámenes
19-Aug	20-Aug	21-Aug	22-Aug	23-Aug	24-Aug	25-Aug		Feridos
26-Aug	27-Aug	28-Aug	29-Aug	30-Aug	31-Aug	01-Sep		
02-Sep	03-Sep	04-Sep	05-Sep	06-Sep	07-Sep	08-Sep		
09-Sep	10-Sep	11-Sep	12-Sep	13-Sep	14-Sep	15-Sep	Módulo 2 (Yo)	
16-Sep	17-Sep	18-Sep	19-Sep	20-Sep	21-Sep	22-Sep		
23-Sep	24-Sep	25-Sep	26-Sep	27-Sep	28-Sep	29-Sep		
30-Sep	01-Oct	02-Oct	03-Oct	04-Oct	05-Oct	06-Oct		
07-Oct	08-Oct	09-Oct	10-Oct	11-Oct	12-Oct	13-Oct		
14-Oct	15-Oct	16-Oct	17-Oct	18-Oct	19-Oct	20-Oct	Módulo 3 (Lalo)	
21-Oct	22-Oct	23-Oct	24-Oct	25-Oct	26-Oct	27-Oct		
28-Oct	29-Oct	30-Oct	31-Oct	01-Nov	02-Nov	03-Nov		
04-Nov	05-Nov	06-Nov	07-Nov	08-Nov	09-Nov	10-Nov		
11-Nov	12-Nov	13-Nov	14-Nov	15-Nov	16-Nov	17-Nov		
18-Nov	19-Nov	20-Nov	21-Nov	22-Nov	23-Nov	24-Nov	Módulo 1 (Lalo)	
25-Nov	26-Nov	27-Nov	28-Nov	29-Nov	30-Nov	01-Dec		

Generalidades del Módulo 1

• Calidad de aguas superficiales

Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes
05-Aug	06-Aug	07-Aug	08-Aug	09-Aug
12-Aug	13-Aug	14-Aug	15-Aug	16-Aug
19-Aug	20-Aug	21-Aug	22-Aug	23-Aug
26-Aug	27-Aug	28-Aug	29-Aug	30-Aug
02-Sep	03-Sep	04-Sep	05-Sep	06-Sep

- Clase
- Clase
- Salida de campo
- Clase/consulta (informe)
- Defensa oral

• Objetivos

Al finalizar el módulo se espera que el/la estudiante sea capaz de:

1. Clasificar y ejemplificar distintas técnicas de medición de calidad de aguas superficiales.
2. Manipular instrumental de medición *in situ* de parámetros de calidad de agua.
3. Contar con un rol activo en la planificación de una salida de campo.
4. Descargar, procesar y controlar la calidad de los datos medidos.
5. Presentar (p.ej. de manera gráfica) e interpretar los datos medidos (comparar, cuantificar incertidumbres, etc.)
6. Evaluar si se cumplió con el objetivo de la salida de campo, identificar limitaciones y posibles mejoras.

CONCEPTOS GENERALES DE CALIDAD DE AGUAS

DEFINICIONES Y EJEMPLOS

Bibliografía:

- Chin, D.A. (2013). Water-quality Engineering in Natural Systems. Fate and Transport Processes in the Water Environment. 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- IOCCG (2018). Earth observations in support of global water quality monitoring (S. Greb, A. Dekker, and C. Binding, Eds.; IOCCG Report Series No. 17). International Ocean Colour Coordinating Group. Dartmouth, Canada.
- USGS (2006, 2023). Chapters 4 and 6 of Section A, National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data. Book 9, Handbooks for Water-Resources Investigations.

- “La calidad del agua se puede definir en términos generales como el conjunto de características biológicas, físicas y químicas requeridas para sostener los **usos** actuales y futuros de los recursos hídricos” (IOCCG, 2018)
- “ El agua contaminada se define como aquella agua que no cumple los criterios o estándares de calidad asociados a su **uso.**” (Chin, 2013)
- Recursos hídricos: **aguas superficiales (interiores y costeras)** y aguas subterráneas disponibles (o potencialmente disponibles) para satisfacer una demanda de **uso.**

Lagunas
Lagos
Embalses
Arroyos
Ríos
Estuarios



Embalse de Paso Severino y río Santa Lucía, Florida, Uruguay

Fuente: <https://www.telenoche.com.uy/nacionales/cuanta-lluvia-cayo-paso-severino-y-santa-lucia-n5349590>

- “La calidad del agua se puede definir en términos generales como el conjunto de características biológicas, físicas y químicas requeridas para sostener los **usos** actuales y futuros de los recursos hídricos” (IOCCG, 2018)
- “ El agua contaminada se define como aquella agua que no cumple los criterios o estándares de calidad asociados a su **uso.**” (Chin, 2013)
- Recursos hídricos: **aguas superficiales (interiores y costeras)** y aguas subterráneas disponibles (o potencialmente disponibles) para satisfacer una demanda de **uso.**

Lagunas
Lagos
Embalses
Arroyos
Ríos
Estuarios

- **Usos** de los recursos hídricos:
 - Consumo (p.ej., potabilización)
 - Turismo y recreación
 - Pesca
 - Navegación (transporte y comercio)
 - Vida acuática y soporte de ecosistemas



Embalse de Paso Severino y río Santa Lucía, Florida, Uruguay

Fuente: <https://www.telenoche.com.uy/nacionales/cuanta-lluvia-cayo-paso-severino-y-santa-lucia-n5349590>

En Uruguay, el Decreto 253/79* y modificativos define **estándares de calidad de aguas** y de vertidos según

Clases de usos:

- **Clase 1:** abastecimiento de agua potable a poblaciones.
- **Clase 2a:** riego de cultivos destinados al consumo humano en su forma natural.
- **Clase 2b:** recreación por contacto directo.
- **Clase 3:** preservación de la flora y fauna hídrica.
- **Clase 4:** armonía (estética) con el medio en zonas urbanas y suburbanas.

Art. 47 Constitución:

La protección del medio ambiente es de interés general. El agua es un recurso natural esencial para la vida. El acceso al agua potable (y saneamiento) es un derecho humano fundamental.

Laguna del Sauce, Maldonado, Uruguay (Clase 1)



Fuente: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/licensed-image?q=tbn:ANd9GcQaRWWgf0hpR7MMS0x7THFynRqY5kHIFPQeQH4k8BA7diSIV3Ku2LEwNlqE0QPv8Telclum_WuZSvjOemYGNp9T1h3Gla8PUqK5ZeWdg

- **Sustentable**, solidaria con las generaciones futuras
- **Preservación** del ciclo hidrológico
- **Integrada**, contemplando aspectos sociales, económicos y ambientales
- La **cuenca hidrográfica** es la **unidad** de actuación para la planificación, gestión y control.
- **Educación ambiental** como herramienta de promoción del uso responsable
- Participación de usuarios y sociedad civil



POLÍTICA NACIONAL DE AGUAS (Ley 18.610)

- **Sustentable**, solidaria con las generaciones futuras
- **Preservación** del ciclo hidrológico
- **Integrada**, contemplando aspectos sociales, económicos y ambientales
- La **cuenca hidrográfica** es la **unidad** de actuación para la planificación, gestión y control.
- **Educación ambiental** como herramienta de promoción del uso responsable
- Participación de usuarios y sociedad civil



POLÍTICA NACIONAL DE AGUAS (Ley 18.610)

- Ingeniería civil: producción de bienes y servicios vinculados a obras de interés para la sociedad. El perfil hidráulico-ambiental **“ahonda en técnicas asociadas al uso de los recursos hídricos, la contaminación de los cuerpos de agua y aire, ...”**
(<https://udelar.edu.uy/portal/2019/02/ingenieria-civil/>)
- Un aspecto importante de la ingeniería ambiental es el **análisis de los datos relacionados a la calidad del agua** que se utilizan comúnmente para evaluar el estado de un cuerpo de agua (Chin, 2013).

- **Sustentable**, solidaria con las generaciones futuras
- **Preservación** del ciclo hidrológico
- **Integrada**, contemplando aspectos sociales, económicos y ambientales
- La **cuenca hidrográfica** es la **unidad** de actuación para la planificación, gestión y control.
- **Educación ambiental** como herramienta de promoción del uso responsable
- Participación de usuarios y sociedad civil

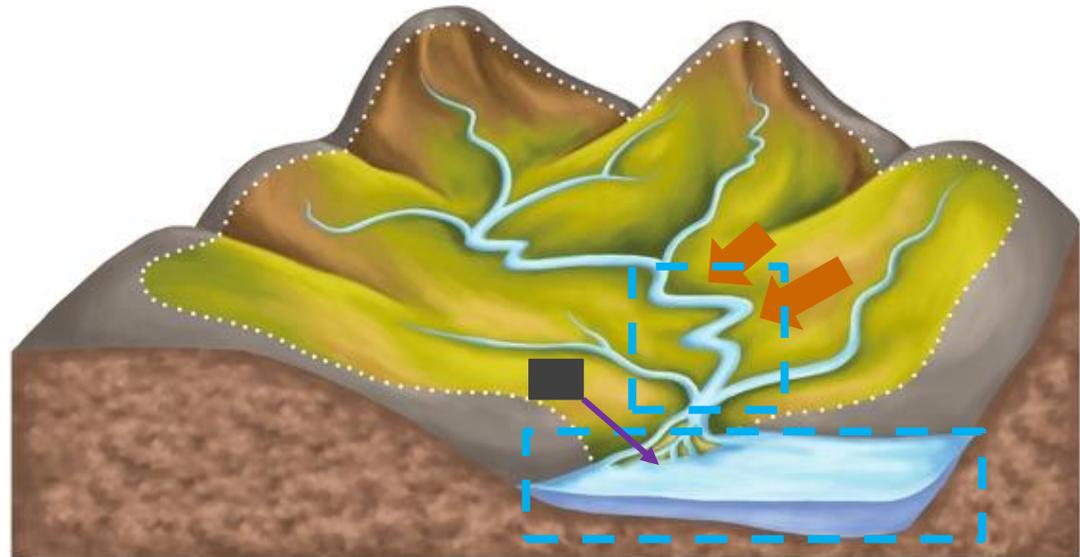


POLÍTICA NACIONAL DE AGUAS (Ley 18.610)

- Ingeniería civil: producción de bienes y servicios vinculados a obras de interés para la sociedad. El perfil hidráulico-ambiental **“ahonda en técnicas asociadas al uso de los recursos hídricos, la contaminación de los cuerpos de agua y aire, ...”**
(<https://udelar.edu.uy/portal/2019/02/ingenieria-civil/>)
- Un aspecto importante de la ingeniería ambiental es el **análisis de los datos relacionados a la calidad del agua** que se utilizan comúnmente para evaluar el estado de un cuerpo de agua (Chin, 2013).
- Es esencial comprender las **particularidades y limitaciones** de los métodos de medición en sí, así como la **representatividad** de la medida en el contexto del **problema o pregunta que se plantea.**

CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

- **Planteo del problema o pregunta de interés:** p.ej., la probabilidad de exceder un estándar; la identificación de tendencias en la calidad del agua.
- **Definición del sistema de estudio:**
 - **El cuerpo de agua de interés**
 - La cuenca hidrográfica
 - Fuentes de contaminación:
 - **Puntuales:** p.ej., vertidos (de plantas de tratamiento) industriales y residuales
 - **Difusas:** p.ej., actividades agrícolas
- **Caracterización, análisis y evaluación del sistema:**
 - parámetros de interés,
 - herramientas de estudio/análisis
 - Modelos (analíticos, numéricos)
 - Análisis estadísticos
 - Monitoreo (línea de base, impactos)



CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

○ **Planteo del problema o pregunta de interés:** p.ej., la probabilidad de exceder un estándar; la identificación de tendencias en la calidad del agua.

○ **Definición del sistema de estudio:**

• **El cuerpo de agua de interés**

• La cuenca hidrográfica

• Fuentes de contaminación:

- **Puntuales:** p.ej., vertidos (de plantas de tratamiento) industriales y residuales

- **Difusas:** p.ej., actividades agrícolas

○ **Caracterización, análisis y evaluación del sistema:**

• parámetros de interés,

• herramientas de estudio/análisis

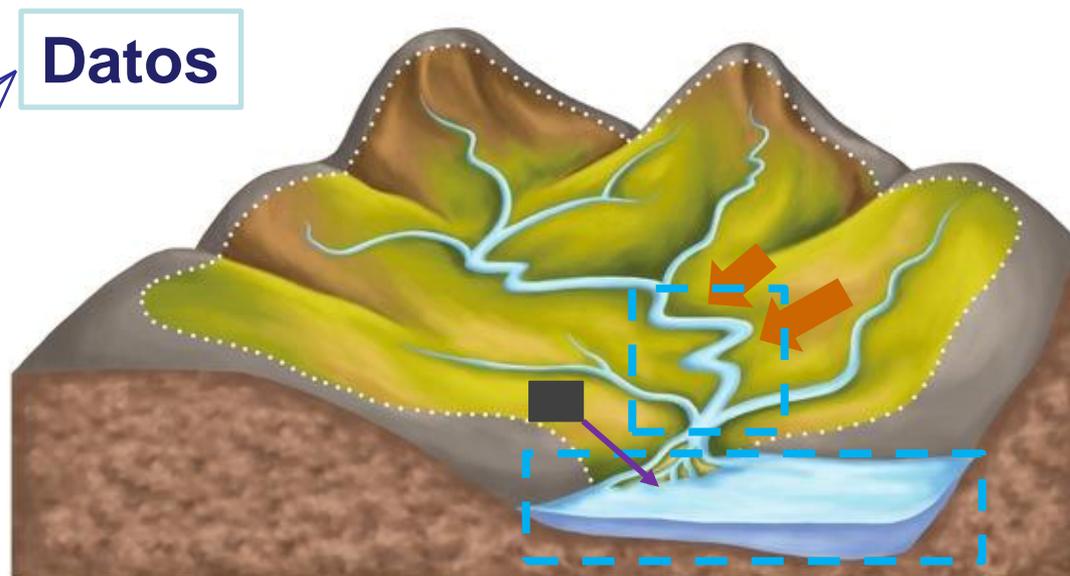
- Modelos (analíticos, numéricos)

- Análisis estadísticos

- Monitoreo (línea de base, impactos)

Datos

Las mediciones como herramienta de monitoreo y de apoyo a la gestión de recursos hídricos



¿Qué parámetros son relevantes para la gestión de un recurso hídrico? ¿Qué medir?

Ejemplos de parámetros:

- Temperatura
- Conductividad
- pH
- Alcalinidad
- Dureza
- Sólidos suspendidos
- Color
- Turbiedad
- Nutrientes
- Fitoplancton
- Oxígeno disuelto
- Materia orgánica
- Indicadores bacteriológicos
- Metales pesados

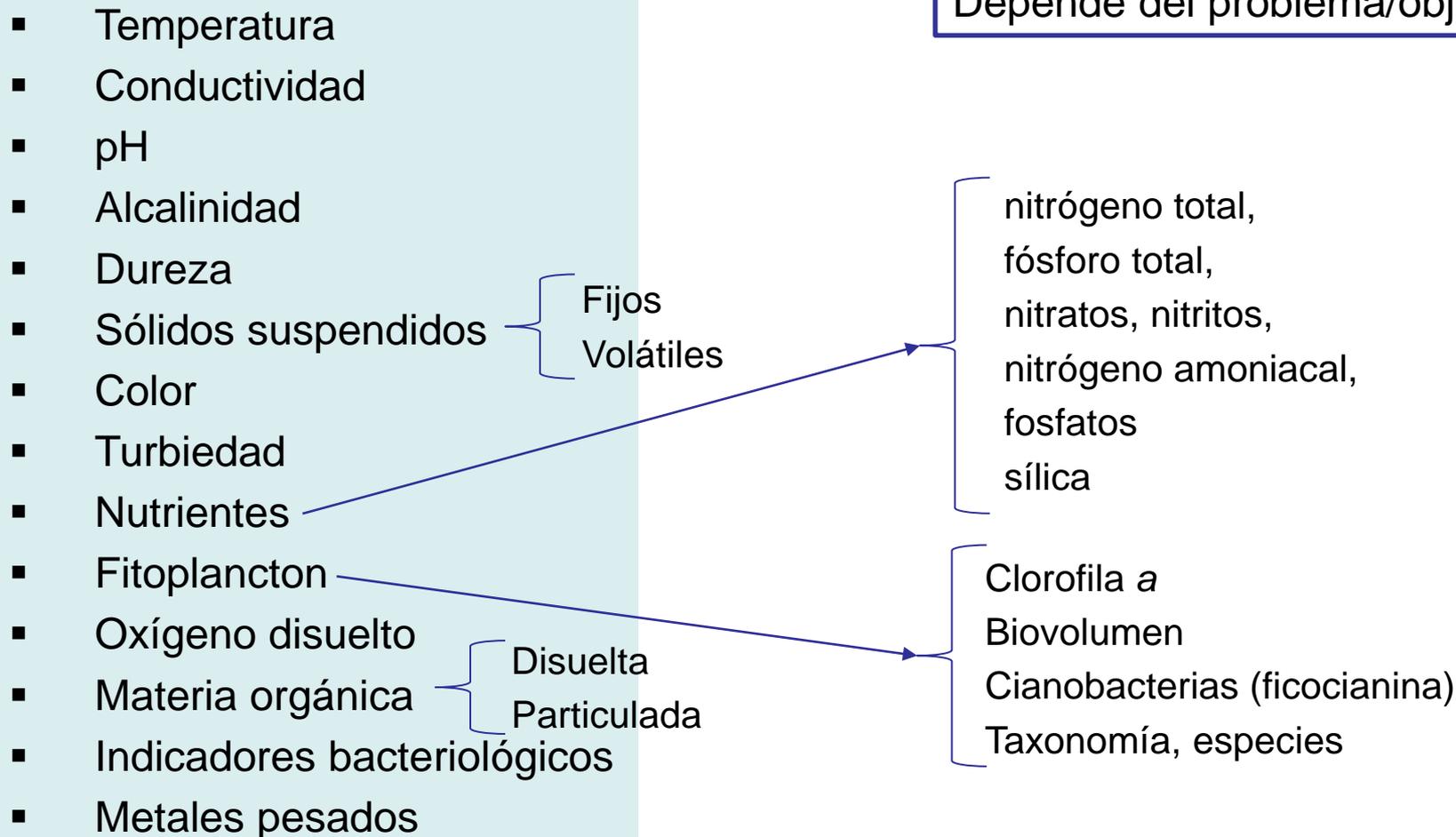
Depende del problema/objetivo

PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

¿Qué parámetros son relevantes para la gestión de un recurso hídrico? ¿Qué medir?

Ejemplos de parámetros:

Depende del problema/objetivo

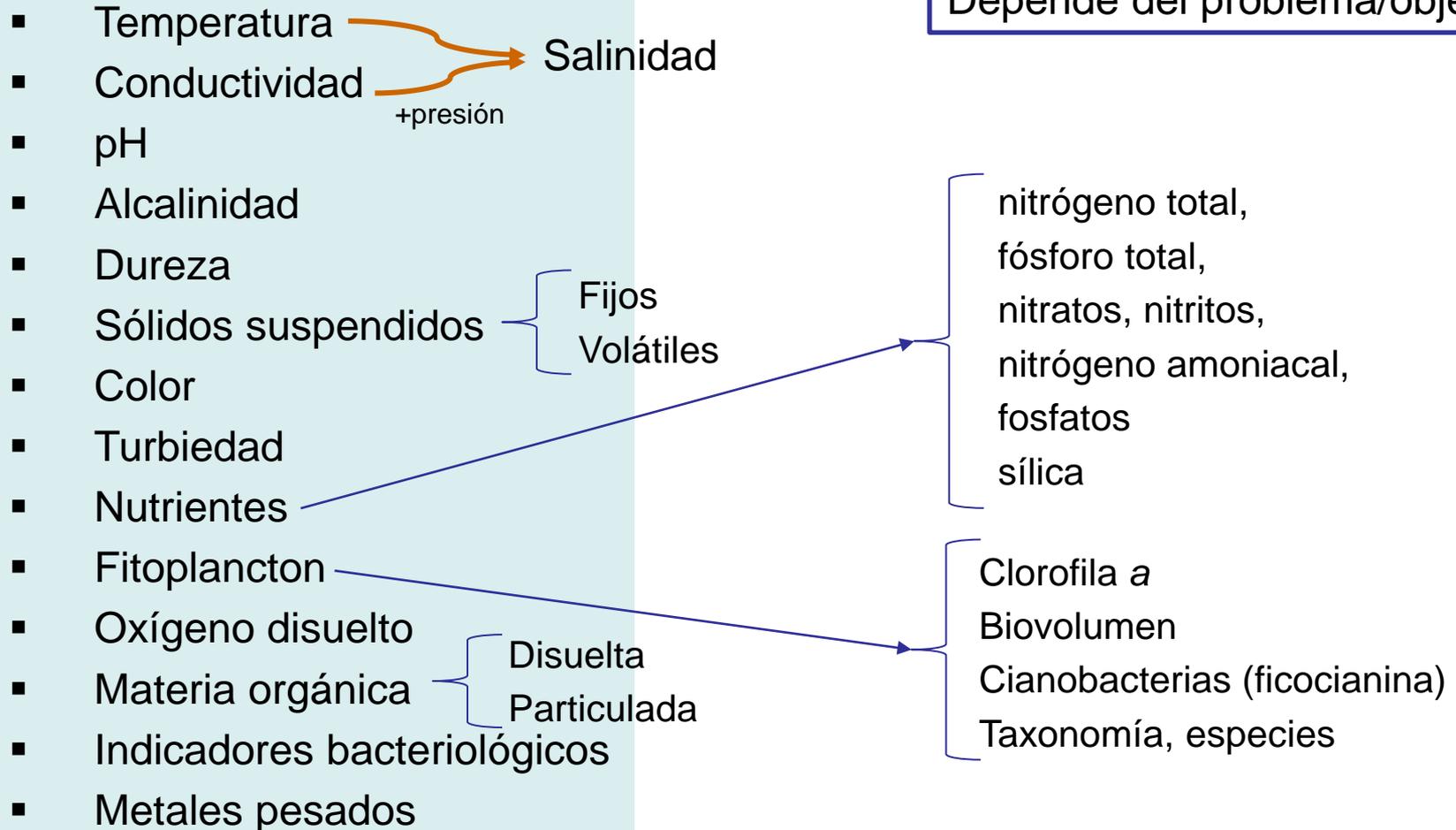


PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

¿Qué parámetros son relevantes para la gestión de un recurso hídrico? ¿Qué medir?

Ejemplos de parámetros:

Depende del problema/objetivo

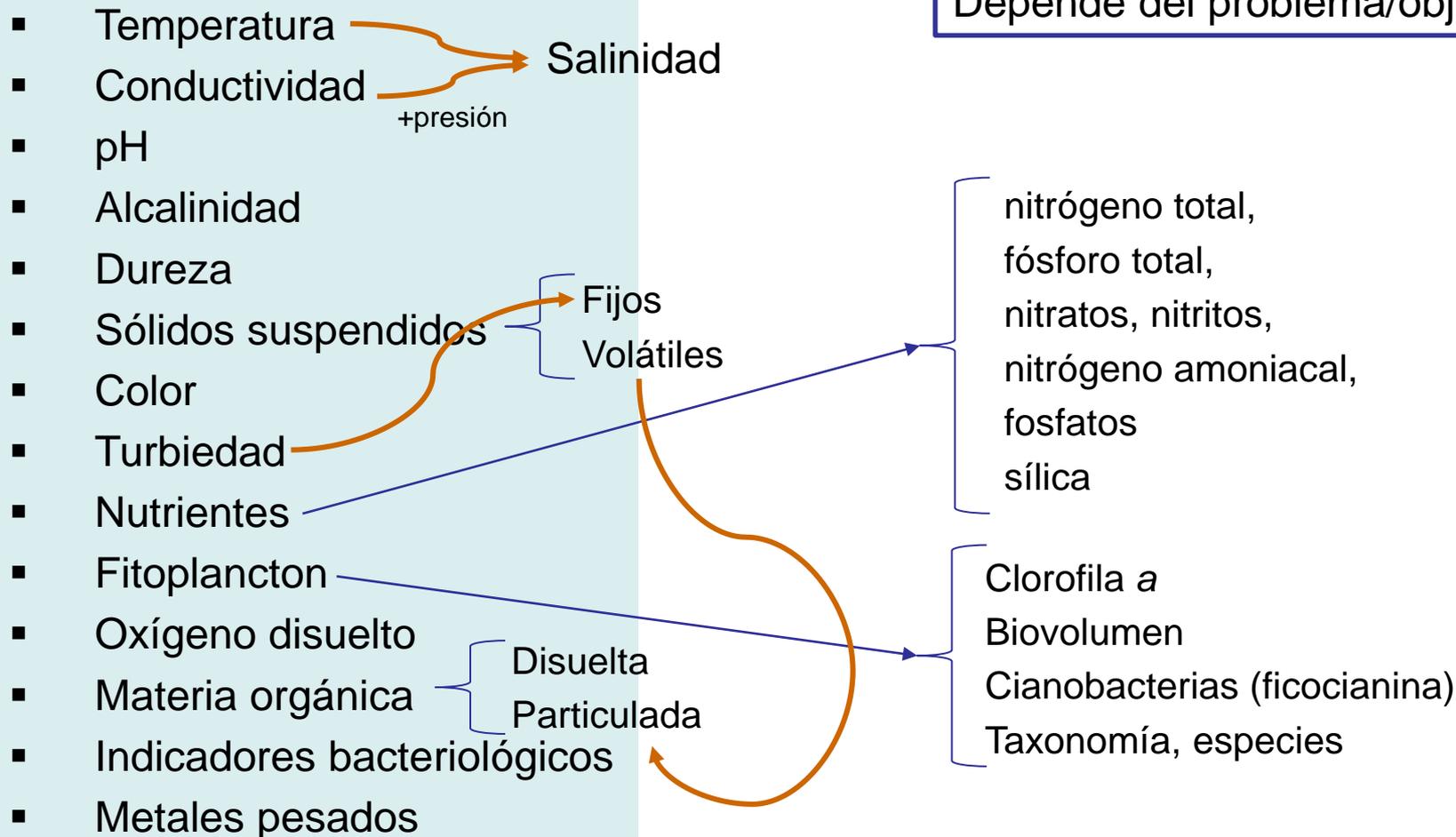


PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

¿Qué parámetros son relevantes para la gestión de un recurso hídrico? ¿Qué medir?

Ejemplos de parámetros:

Depende del problema/objetivo

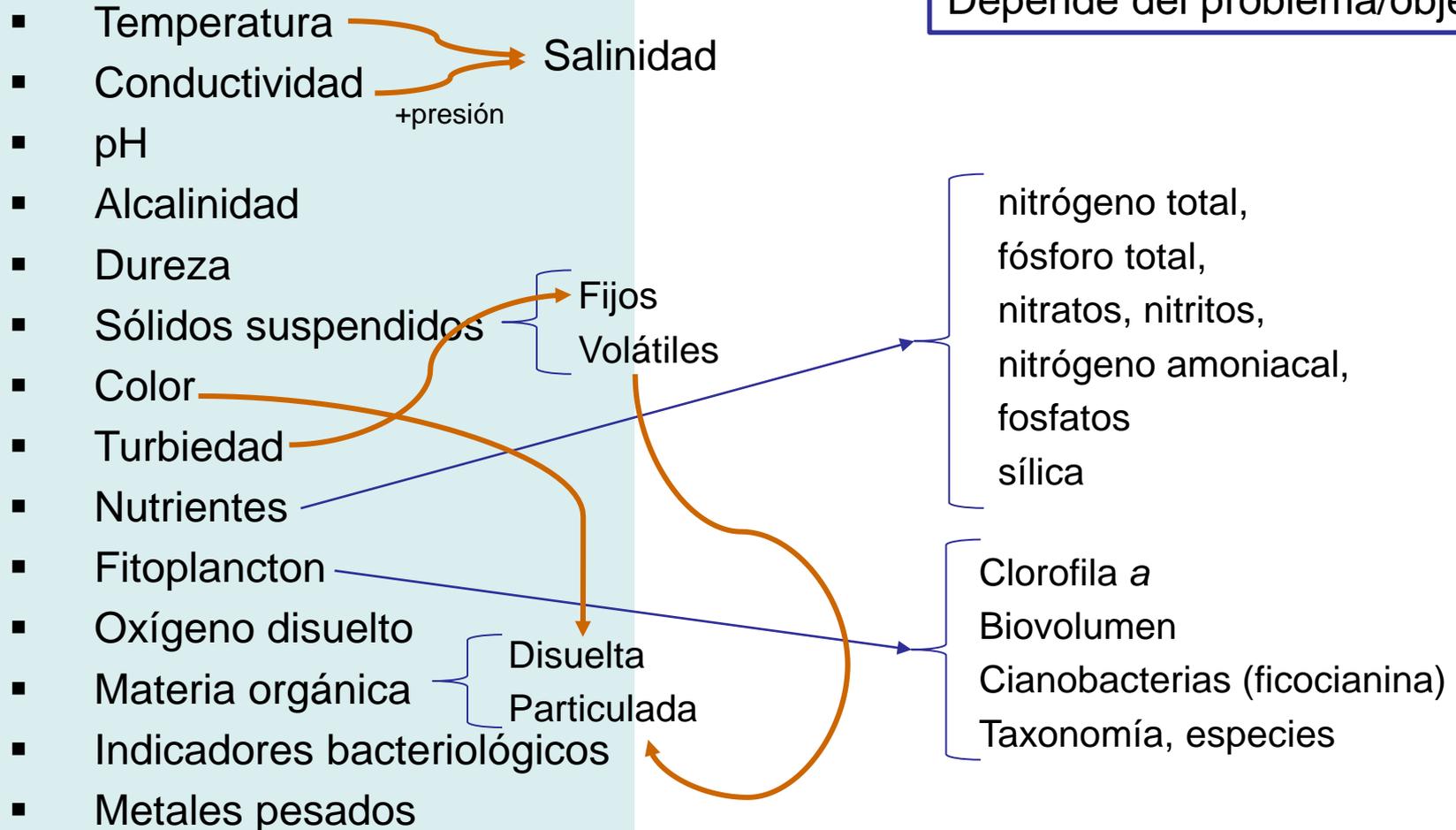


PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

¿Qué parámetros son relevantes para la gestión de un recurso hídrico? ¿Qué medir?

Ejemplos de parámetros:

Depende del problema/objetivo



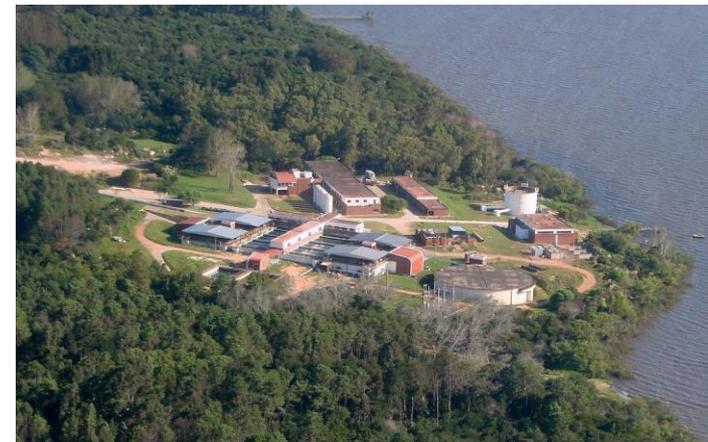
- Algunos afectan la **hidrodinámica** (relevantes para calibración/validación de modelos numéricos).
- Para otros, los **aportes de la cuenca** (escurrimiento, tributarios) pueden ser importantes.

Ejemplos:

- Lagos/reservorios con estratificación térmica → **temperatura**
- Estuarios/zonas costeras → **salinidad**
- Floraciones algales → **nutrientes**, clorofila *a*, disponibilidad de luz (turbiedad, color)
- Vertido aguas residuales domésticas → OD, DBO, NT, indicadores bacteriológicos
- Potabilización → SST, turbidez, color, dureza, alcalinidad, salinidad?

Planta potabilizadora de Laguna del Sauce,
Maldonado, Uruguay

Fuente: <https://www.maldonadonoticias.com/beta/actualidad/13261-valoran-inicio-de-obras-de-actualizaci%C3%B3n-en-planta-potabilizadora-de-ose-en-laguna-del-sauce.html>



TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE AGUA

CLASIFICACIÓN Y EJEMPLOS DE MÉTODOS Y SENSORES

- Bibliografía:** Bakker et al. (2009). Principles of Remote Sensing. An introductory textbook. Klaus Tempfli, Norman Kerle, Gerrit C. Huurneman and Lucas L.F. Hanssen (eds.). Fourth edition, ISBN978-90-6164-270-1 ITC, Enschede, The Netherlands.
- USGS (2006, 2019, 2023). Chapters 4 and 6 of Section A, National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data. Book 9, Handbooks for Water-Resources Investigations.
- Manual de procedimientos analíticos para muestras ambientales (2017). Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/manual-procedimientos-analiticos-para-muestras-ambientales-tercera-edicion-2017>

CLASIFICACIÓN DE TÉCNICAS DE MEDICIÓN

2º Semestre 2024 Fernanda Maciel Técnicas de Medición – Calidad de aguas superficiales

21



Laboratorio

De campo

Remotas

CLASIFICACIÓN DE TÉCNICAS DE MEDICIÓN

2º Semestre 2024 Fernanda Maciel Técnicas de Medición – Calidad de aguas superficiales

22



Laboratorio



1. Toma de muestras.
 2. Preservación de las muestras hasta el momento del ensayo.
 3. Ensayo de laboratorio.
- Se recomienda seguir un protocolo establecido para 3), pueden incluir recomendaciones para 1) y 2) con distinto nivel de detalle.
 - Consideraciones generales a tener en cuenta:
 - Método de muestreo
 - Tipo de recipientes para almacenar las muestras
 - Etiquetado de las muestras
 - Traslado y preservación

Laboratorio

MUESTREO: El acto de recolectar una parte de material para fines analíticos que representa con precisión el material siendo muestreado con respecto a los objetivos planteados.

- **Método de muestreo:** manual, con blade o botella muestreadora, depende de la distancia al cuerpo de agua (p.ej., muestreo desde puente o embarcación elevada) y/o profundidad de muestreo (p.ej., muestreo a distintas profundidades o cercano al fondo).

Laboratorio

MUESTREO: El acto de recolectar una parte de material para fines analíticos que representa con precisión el material siendo muestreado con respecto a los objetivos planteados.

- **Método de muestreo:** manual, con blade o botella muestreadora, depende de la distancia al cuerpo de agua (p.ej., muestreo desde puente o embarcación elevada) y/o profundidad de muestreo (p.ej., muestreo a distintas profundidades o cercano al fondo).
- **La muestra debe ser representativa** del cuerpo de agua en el momento que se tomó, por eso es muy importante evitar reacciones (e.g., descomposición de materia orgánica, crecimiento de fitoplancton, etc.). **Pensar en posibles fuentes de contaminación en cada etapa del muestreo para asegurar la integridad de la muestra (USGS, 2006).**

Laboratorio

MUESTREO: El acto de recolectar una parte de material para fines analíticos que representa con precisión el material siendo muestreado con respecto a los objetivos planteados.

- **Método de muestreo:** manual, con blade o botella muestreadora, depende de la distancia al cuerpo de agua (p.ej., muestreo desde puente o embarcación elevada) y/o profundidad de muestreo (p.ej., muestreo a distintas profundidades o cercano al fondo).
- **La muestra debe ser representativa** del cuerpo de agua en el momento que se tomó, por eso es muy importante evitar reacciones (e.g., descomposición de materia orgánica, crecimiento de fitoplancton, etc.). **Pensar en posibles fuentes de contaminación en cada etapa del muestreo para asegurar la integridad de la muestra (USGS, 2006).**
- **Recipiente apropiado:** p.ej., botellas opacas/ámbar para clorofila o color para minimizar ingreso de luz; llenar a tope la botella para evitar oxidación (DBO); NO llenar a tope cuando es necesario mezclar la muestra (filtrado de SST).

Laboratorio

MUESTREO: El acto de recolectar una parte de material para fines analíticos que representa con precisión el material siendo muestreado con respecto a los objetivos planteados.

- **Método de muestreo:** manual, con blade o botella muestreadora, depende de la distancia al cuerpo de agua (p.ej., muestreo desde puente o embarcación elevada) y/o profundidad de muestreo (p.ej., muestreo a distintas profundidades o cercano al fondo).
- **La muestra debe ser representativa** del cuerpo de agua en el momento que se tomó, por eso es muy importante evitar reacciones (e.g., descomposición de materia orgánica, crecimiento de fitoplancton, etc.). **Pensar en posibles fuentes de contaminación en cada etapa del muestreo para asegurar la integridad de la muestra (USGS, 2006).**
- **Recipiente apropiado:** p.ej., botellas opacas/ámbar para clorofila o color para minimizar ingreso de luz; llenar a tope la botella para evitar oxidación (DBO); NO llenar a tope cuando es necesario mezclar la muestra (filtrado de SST).
- **Etiquetado:** fecha, hora, parámetros a ensayar, sitio/estación de muestreo, profundidad, etc.

Laboratorio

MUESTREO: El acto de recolectar una parte de material para fines analíticos que representa con precisión el material siendo muestreado con respecto a los objetivos planteados.

- **Método de muestreo:** manual, con blade o botella muestreadora, depende de la distancia al cuerpo de agua (p.ej., muestreo desde puente o embarcación elevada) y/o profundidad de muestreo (p.ej., muestreo a distintas profundidades o cercano al fondo).
- **La muestra debe ser representativa** del cuerpo de agua en el momento que se tomó, por eso es muy importante evitar reacciones (e.g., descomposición de materia orgánica, crecimiento de fitoplancton, etc.). **Pensar en posibles fuentes de contaminación en cada etapa del muestreo para asegurar la integridad de la muestra (USGS, 2006).**
- **Recipiente apropiado:** p.ej., botellas opacas/ámbar para clorofila o color para minimizar ingreso de luz; llenar a tope la botella para evitar oxidación (DBO); NO llenar a tope cuando es necesario mezclar la muestra (filtrado de SST).
- **Etiquetado:** fecha, hora, parámetros a ensayar, sitio/estación de muestreo, profundidad, etc.
- **Preservación de las muestras:** del sitio de muestreo a laboratorio (p.ej., conservadoras con hielo y tapa) y en laboratorio (cuando el ensayo no se realiza en seguida, tener en cuenta máximo tiempo recomendado para almacenar muestras, en algunos casos se puede congelar la muestra o filtrar y congelar el filtro).

Laboratorio

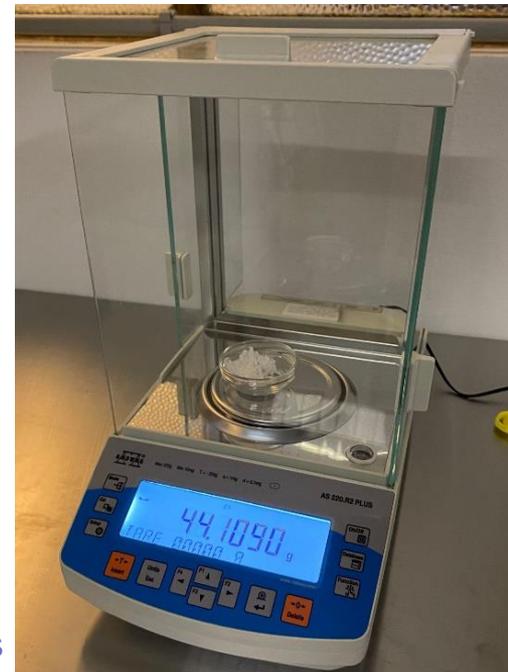
- **Método de muestreo:** manual, con blade o botella muestreadora, depende de la distancia al cuerpo de agua (p.ej., muestreo desde Puente o embarcación elevada) y/o profundidad de muestreo (p.ej., muestreo a distintas profundidades o cercano al fondo).
- **Seguir protocolos establecidos minimiza potenciales errores y contaminación en la toma y procesamiento de muestras, acota la incertidumbre de los resultados, hace intercomparables resultados de distintos proyectos/estudios/análisis**
- **Preservación de las muestras:** del sitio de muestreo a laboratorio (p.ej., conservadoras con hielo y tapa) y en laboratorio (cuando el ensayo no se realiza en seguida, tener en cuenta máximo tiempo recomendado para almacenar muestras, en algunos casos se puede congelar la muestra o filtrar y congelar el filtro).

Laboratorio

- **Ministerio de Ambiente: Manual de procedimientos analíticos para muestras ambientales. Tercera edición, 2017:**
- <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/manual-procedimientos-analiticos-para-muestras-ambientales-tercera-edicion-2017>
 - Parámetros Físico-Químicos Generales
 - Parámetros Orgánicos Generales
 - Parámetros Metálicos
 - Parámetros Inorgánicos No Metálicos
 - Parámetros Microbiológicos
 - Parámetros de Ecotoxicidad
 - Parámetros Biológicos
 - Parámetros Orgánicos
- Obligatorios para procedimientos y tramitaciones de evaluación, autorización o control ambiental que incluya resultados analíticos.

Laboratorio

- **Ejemplo: SST y SSF-SSV [mg/L]**
- Se estiman concentraciones mediante filtrado de un volumen conocido de muestra y diferencia de masa entre el filtro seco (en estufa y/o mufla) antes y luego del filtrado de la muestra.
- Tamaño de poro del filtro suficientemente pequeño para retener los sólidos suspendidos ($\leq 1,5 \mu\text{m}$).
- Estufa 105°C: SST
- Mufla 500°C: SSF (la gran mayoría del contenido orgánico se volatiliza).



Ejemplo de balanza de precisión utilizada en métodos gravimétricos

EJEMPLO: MÉTODO GRAVIMÉTRICO

Laboratorio

Protocolo exigido por Ministerio de Ambiente



1020UY

Determinación de sólidos suspendidos totales, fijos y volátiles en aguas naturales y efluentes líquidos.

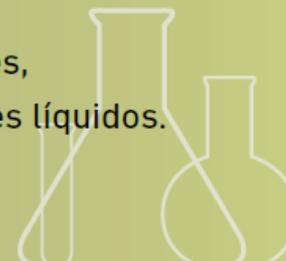
Método gravimétrico

Elaborado - M. Menéndez

Modificado - C. Grau

Revisado - S. Azambuya, Jefe Sección Físicoquímico

Aprobado - N. Barboza, Director División Laboratorio Ambiental



utilizada en métodos gravimétricos

- **Ejemplo: SST**
- Se estiman con volumen conocido de filtro seco (en g) de la muestra.
- Tamaño de poro para retener los sólidos.
- Estufa 105°C: Sólidos suspendidos totales (SST).
- Mufla 500°C: Sólidos suspendidos totales volátiles (SSTV).

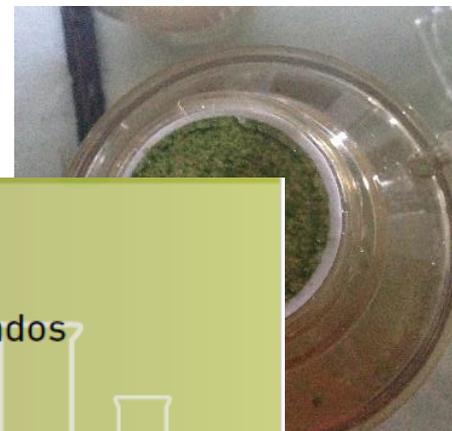
Laboratorio



- **Ejemplo: clorofila-a [$\mu\text{g/L}$]**
- Se filtra un volumen conocido y se retiene el filtro para extraer el pigmento con algún solvente (p.ej., acetona).
- Tamaño de poro del filtro suficientemente pequeño para retener el fitoplancton ($0,7 \mu\text{m}$).
- Se utiliza un **espectrofotómetro** para medir absorbancia/transmitancia de la luz en longitudes de onda específicas para estimar el parámetro de interés. La absorbancia se mide respecto a un “cero”, que es el solvente (p.ej., acetona).

Laboratorio

Protocolo exigido por
Ministerio de Ambiente



7004UY

Determinación de Clorofila-a y Feofitina-a encontrados
en fitoplancton de agua dulce y marina

Método espectrofotométrico de extracción
con acetona

Elaborado - M. Menéndez

Modificado - G. Pistone

Revisado - G. Pistone, Jefe Sección Microbiología y Ecotoxicidad

Aprobado - N. Barboza, Director División Laboratorio Ambiental

- **Ejemplo:** cl
- Se filtra un v
- Solvente (p.e
- Tamaño de p
- Se utiliza un
- Longitudes d
- respecto a un



on algún

n (0,7 μm).

uz en

ancia se mide

De campo

Las mediciones de campo deben representar, lo más fielmente posible, las propiedades físicas y químicas ambientales del sistema de aguas en el momento del muestreo (USGS, 2023).

1. Mediciones con muestreo y sensores de campo
2. In situ (directamente en la masa de agua, con sensores sumergidos)

- **Consideraciones generales a tener en cuenta** (USGS, 2023):

- Se recomienda medir in situ la temperatura y el OD.
- Otros parámetros como turbidez, pH, conductividad se recomiendan medir in situ o a partir de una muestra extraída del cuerpo de agua, según el equipo seleccionado/disponible para medir.
- Las mediciones de campo con muestreo se deben completar lo antes posible para minimizar cambios de temperatura y exposición a la atmósfera (importante para conductividad, pH, alcalinidad).



De campo

Ejemplo de procedimiento para mediciones de campo según el tipo de cuerpo de agua (USGS, 2023)

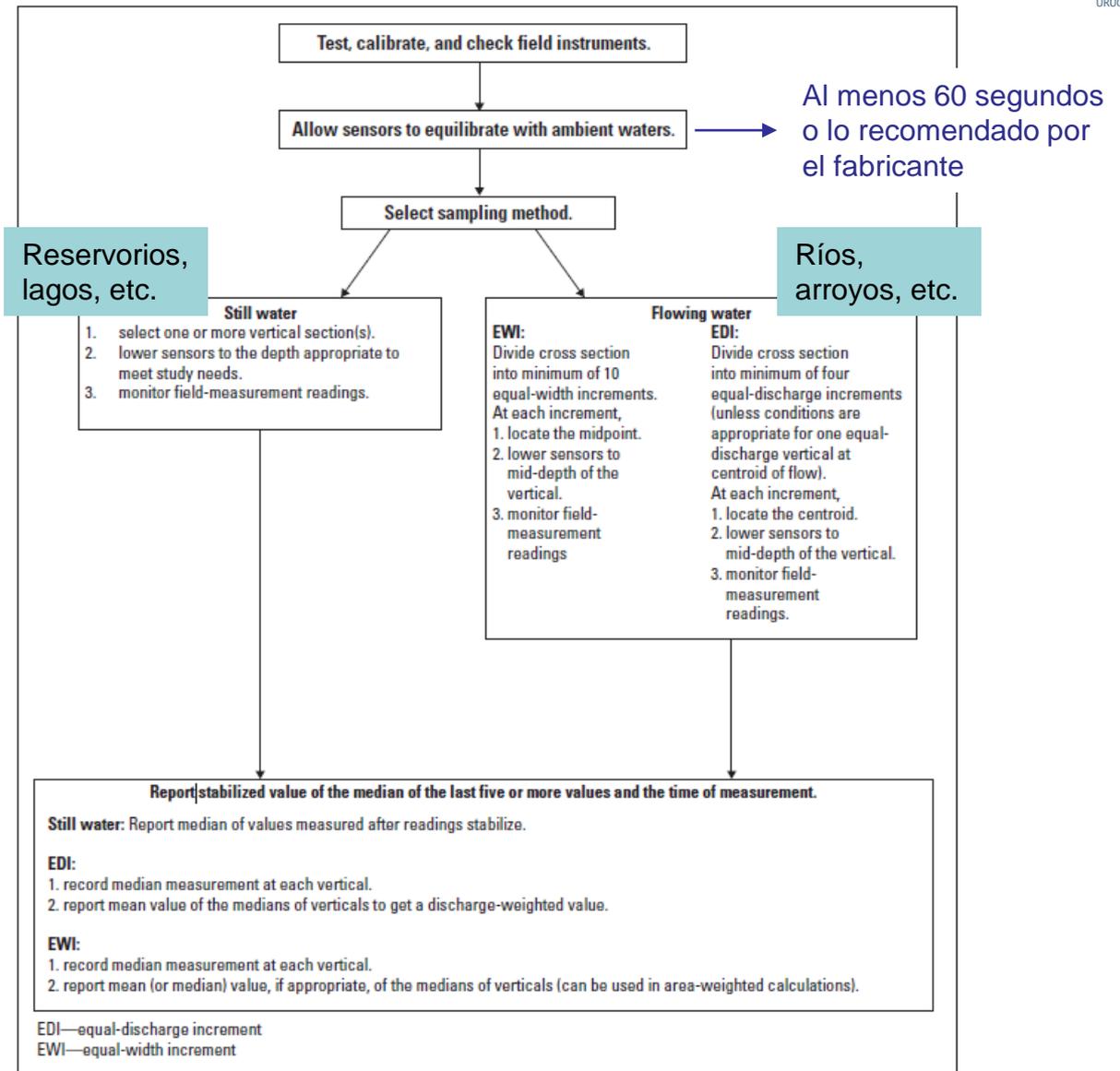


Figure 6.0-1. In situ field-measurement procedures for surface water.

De campo

- **Ejemplo: temperatura [°C]**
- La temperatura se mide generalmente con un **termistor**, que consiste en un dispositivo eléctrico hecho de un semiconductor sólido con un gran coeficiente de resistividad de temperatura. Un procesador de señales eléctricas (medidor) convierte los cambios de resistencia en una lectura calibrada en unidades de temperatura (USGS, 2006).



Ejemplos de sensores de temperatura con almacenamiento interno para mediciones *in situ*.

De campo

Ejemplo de un CTD perfilador (sensor de temperatura, conductividad y presión para uso *in situ*)



- **Ejemplo: conductividad [$\mu\text{S}/\text{cm}$]; salinidad [psu]**
- La conductividad se mide con un conductímetro y celda de conductividad correspondiente, previamente estandarizada con una solución de conductividad conocida.
- Es una medida de la conductancia eléctrica [S] (inverso de la resistencia eléctrica [Ω]) de la solución normalizada a una unidad de longitud y área de sección transversal (a una temperatura de referencia de 25 °C) (USGS, 2019).
- Es la capacidad que posee una solución acuosa de conducir la corriente eléctrica y una medida indirecta de la concentración de iones disueltos.
- A partir de la conductividad, temperatura y presión se puede estimar la cantidad de sales disueltas o salinidad, estimada como cociente de conductividad entre la muestra y solución de referencia (1psu~1g/kg).

De campo



- **Ejemplo: nitrato, fosfato [mg/L]**
- Requiere el uso de reagentes químicos para que la muestra de agua reaccione y se vuelva de un cierto color.
- El **fotómetro** mide absorbancia/transmitancia de la luz en longitudes de onda específicas. La absorbancia se mide respecto a un “cero”, que es la muestra “cruda” (antes de la reacción). Los fotómetros de campo vienen con calibraciones precargadas para estimar concentraciones de parámetros en base a la medida de absorbancia.
- El principio es el mismo que el de la espectrofotometría, pero los fotómetros tienen menos canales y resolución espectral que los espectrofotómetros de laboratorio.
- Pueden requerir el filtrado previo de la muestra para cuerpos de agua naturales con niveles medios-altos de sólidos suspendidos.

De campo

Ejemplo de sonda multiparamétrica con diversos sensores (entre ellos de fluorescencia) para uso *in situ*



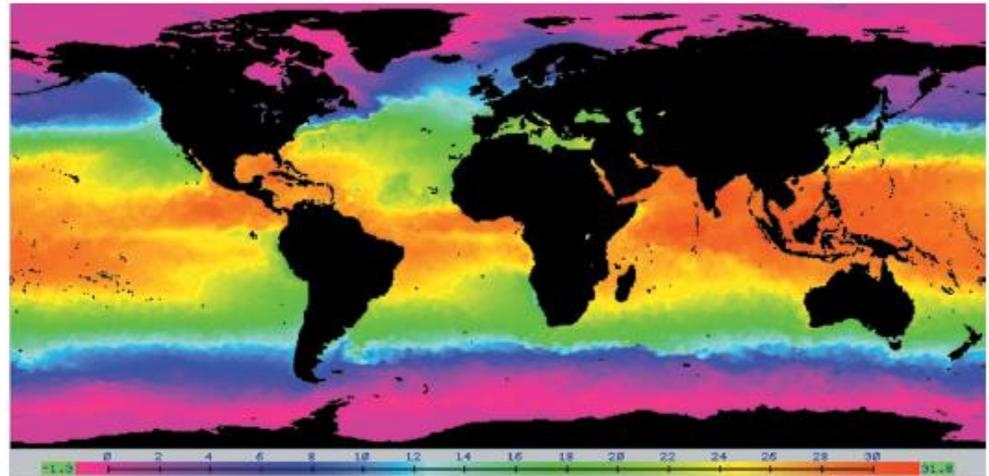
- **Ejemplo: clorofila-a [UAF; $\mu\text{g/L}$]**
- Se basa en el principio de fluorescencia de distintas sustancias (capacidad de absorber energía en forma de radiaciones electromagnéticas y luego emitir parte de esa energía en forma de radiación electromagnética de longitud de onda diferente)
- Un **fluorómetro** excita (EX) a cierta longitud de onda y mide cerca del pico de emisión (EM) de la sustancia de interés. Esta información se reporta típicamente en el manual (p.ej., EX: 470+/-15 nm, EM: 685+/-20 nm para la estimación de clorofila-a de la sonda EXO2 (fabricante YSI, EE.UU.)
- Las unidades arbitrarias de fluorescencia permiten conocer cambios relativos de la fluorescencia de la sustancia de interés. Para convertirlas a unidades de concentración se requieren calibraciones. Las calibraciones del fabricante (usando sustancias disueltas en agua) pueden no ser precisas para aguas naturales.

Remotas

El sensoramiento remoto es el arte, ciencia y tecnología de observar un objeto, escena o fenómenos utilizando técnicas basadas en instrumentos y a una distancia (sin contacto físico) con el objeto de interés (Bakker et al., 2009).

Consideraciones generales del uso de sensoramiento remoto para la observación de la Tierra (Bakker et al., 2009):

- Los sensores remotos detectan energía que es emitida o reflejada por un objeto o escena. Esta energía puede ser la **luz u otra forma de radiación electromagnética**, campos de fuerza o energía acústica .
- Provee datos espaciales para grandes áreas (difíciles de obtener con otras técnicas).
- Es en general un método más indirecto.
- La relación costo beneficio es alta.
- En general brinda datos cercanos a la superficie.



Ejemplo: Temperatura superficial del mar determinada a partir de datos satelitales de AVHRR de la NOAA. Fuente: Bakker et al. (2009).

Remotas



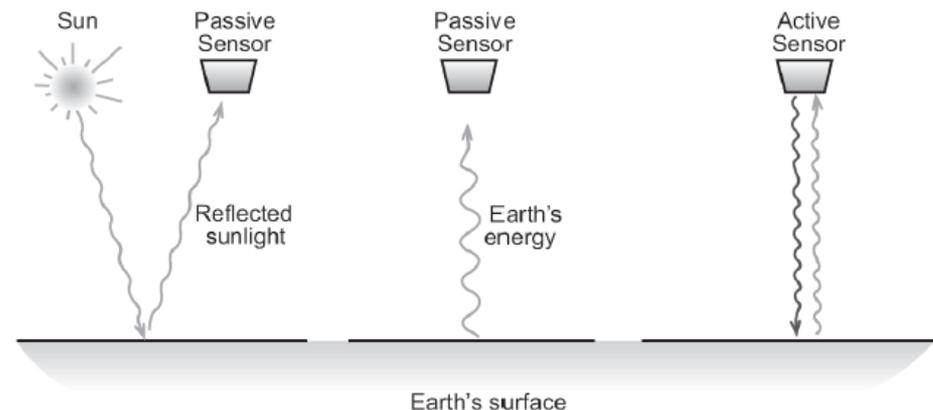
Dron DJI Mavic Pro

• Plataformas:

- Satélites
- Vehículos aéreos tripulados o no (p.ej., drones)
- En superficie, fijas (p.ej., torres en escolleras) o móviles (p.ej. buques)

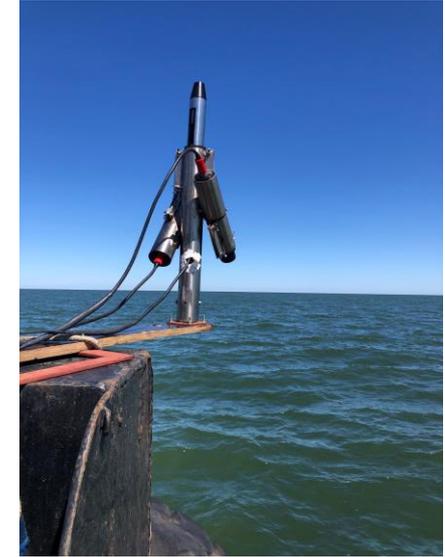
• Sensores:

- Pasivos (p.ej., ópticos, térmicos)
- Activos: posee su propia fuente de energía (p.ej., radar de apertura sintética SAR).



Remotas

Ejemplo: Radiómetros (en superficie, desde embarcación, sensores pasivos, fuente de energía: sol, miden reflectancia del agua en el rango visible e infrarrojo cercano del espectro electromagnético).

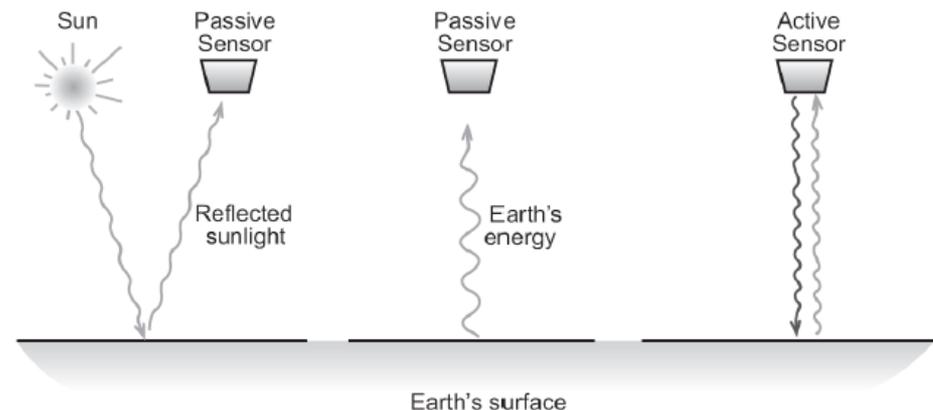


• Plataformas:

- Satélites
- Vehículos aéreos tripulados o no (p.ej., drones)
- En superficie, fijas (p.ej., torres en escolleras) o móviles (p.ej. buques)

• Sensores:

- Pasivos (p.ej., ópticos, térmicos)
- Activos: posee su propia fuente de energía (p.ej., radar de apertura sintética SAR).



Remotas

• Plataformas:

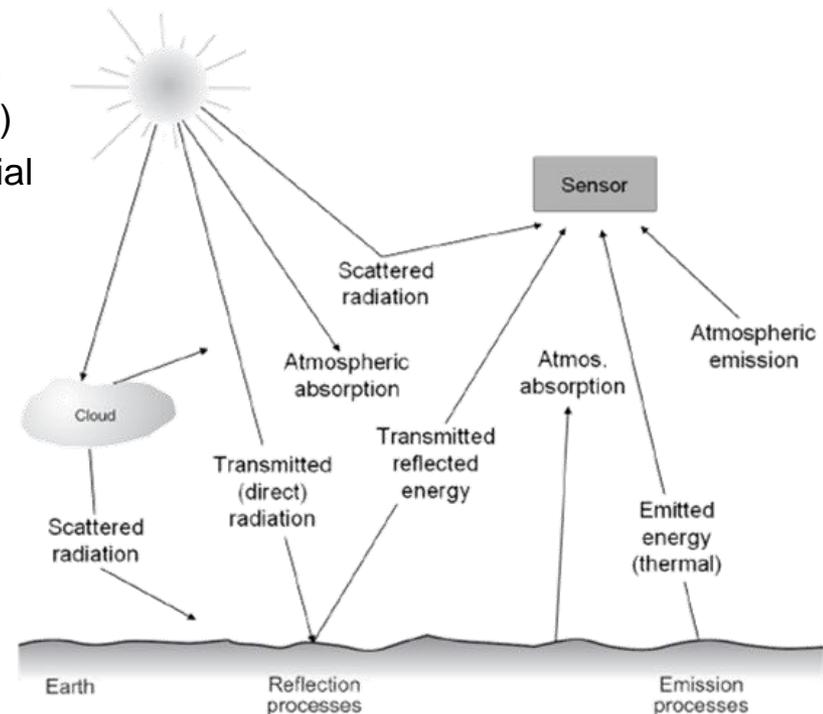
- Satélites
- Vehículos aéreos
- En superficie



- Aumenta interacciones no deseadas (p.ej. atmósfera)
- Aumenta cobertura espacial
- Disminuye resolución temporal

• Sensores:

- Pasivos (p.ej., óptico, térmico)
- Activos: posee su propia fuente de energía (p.ej., radar de apertura sintética SAR).



Remotas

- **Plataformas:**

- Satélites
- Vehículos aéreos tripulados o no (p.ej., drones)
- En superficie, fijas (p.ej., torres en escolleras)

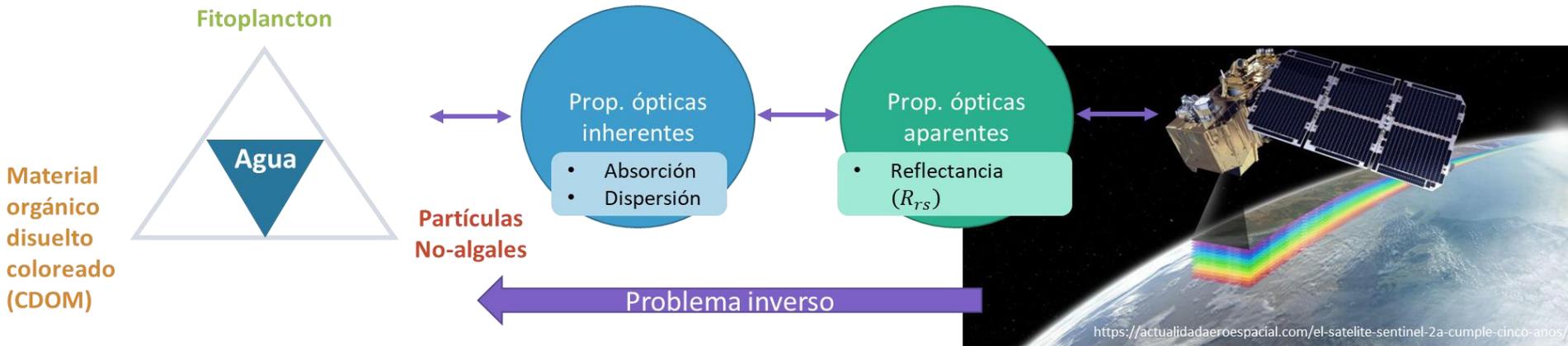
- **Sensores:**

- **Pasivos** (p.ej., **ópticos**, térmicos)
- **Activos:** posee su propia fuente de energía (p.ej., radar de apertura sintética SAR).

Sensores remotos ópticos:

brindan información de parámetros de calidad de agua que son ópticamente activos (variaciones en sus concentraciones producen un cambio medible en el color del agua)

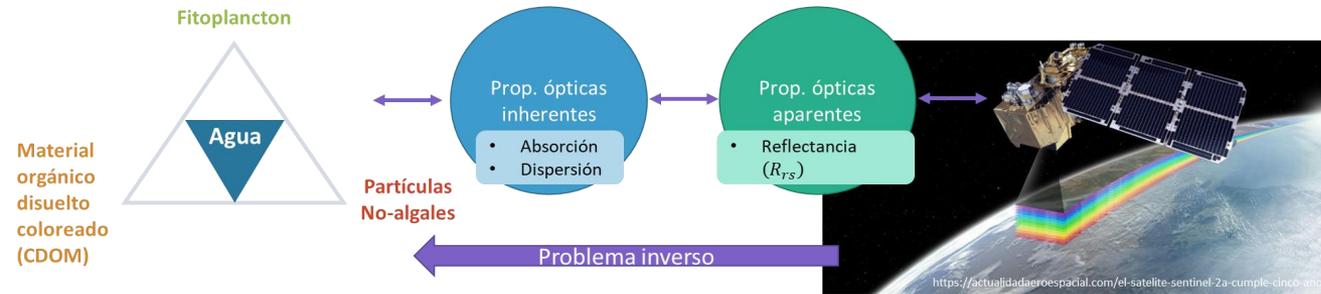
TÉCNICAS REMOTAS DE COLOR DEL AGUA



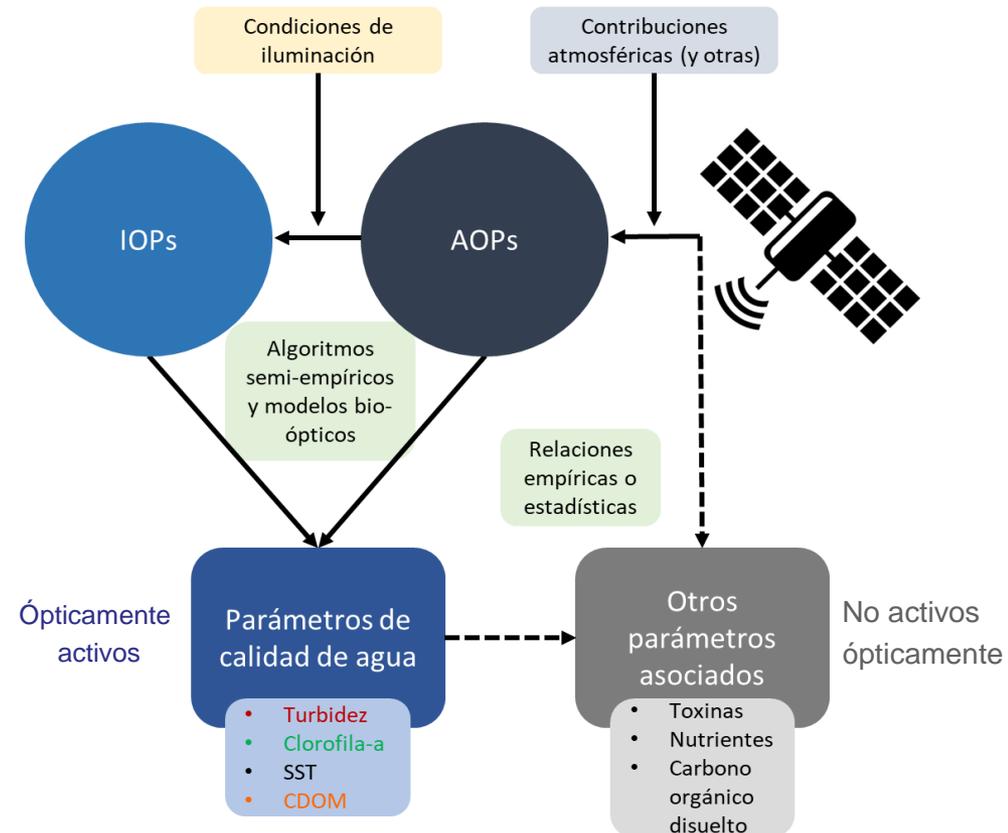
- Se pueden clasificar típicamente tres componentes principales relacionados con el color del agua.
- Pueden describirse mediante propiedades ópticas inherentes (POIs), que están relacionadas con su capacidad para absorber y dispersar la luz.
- Los sensores remotos miden propiedades ópticas aparentes (POAs), que dependen tanto de las POIs (medio) como de las condiciones de iluminación ambiental.
- La reflectancia es una AOP útil ya que depende principalmente del medio.

Sensores remotos ópticos:
brindan información de parámetros de calidad de agua que son ópticamente activos (variaciones en sus concentraciones producen un cambio medible en el color del agua)

TÉCNICAS REMOTAS DE COLOR DEL AGUA



- Se pueden clasificar típicamente tres componentes principales relacionados con el color del agua.
- Pueden describirse mediante propiedades ópticas inherentes (IOPs), que están relacionadas con su capacidad para absorber y dispersar la luz.
- Los sensores remotos miden propiedades ópticas aparentes (AOPs), que dependen tanto de las IOPs (medio) como de las condiciones de iluminación ambiental.
- La reflectancia es una AOP útil ya que depende principalmente del medio.





COMPLEMENTARIAS



En general:

- Mayor costo y tiempo
- Más “confiable” (convencional)
- Menor variabilidad espacial

MEDICIONES DE CALIDAD DE AGUA

EJEMPLO DE APLICACIÓN

Bibliografía: UNEP. 2021. Understanding the State of the Ocean: a global manual on measuring SDG 14.1.1, SDG 14.2.1 and SDG 14.5.1. Nairobi: UNEP.

Malone TC, Newton A. 2020. The globalization of cultural eutrophication in the coastal ocean: causes and consequences. *Front Mar Sci.* 7:670. doi:10.3389/fmars.2020.00670.

- El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) tiene definidos objetivos de desarrollo sostenible (SDG):

- SDG 14.1 (UNEP, 2021): prevenir y disminuir considerablemente la contaminación marina de todo tipo, en particular las provenientes de actividades terrestres

- 14.1.1a Índice de eutrofización costera
- 14.1.1b Residuos plásticos marinos



- **Eutrofización cultural:** proceso (y no un estado) de **aumento de la materia orgánica en un ecosistema** que es alimentado por **aportes antropogénicos de nutrientes inorgánicos**, donde los aumentos de materia orgánica son **a menudo debido al exceso de producción del fitoplancton** (Malone & Newton, 2020).
- Anomalías y desviaciones de **clorofila-a** satelital como indicador de **eutrofización potencial** en aguas costeras



Floraciones de cianobacterias en la costa del Río de la Plata (2019 y 2014).

- El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) tiene definidos objetivos de desarrollo sostenible (SDG):

- SDG 14.1 (UNEP, 2021): prevenir y disminuir considerablemente la contaminación marina de todo tipo, en particular las provenientes de actividades terrestres

- 14.1.1a Índice de eutrofización costera
- 14.1.1b Residuos plásticos marinos

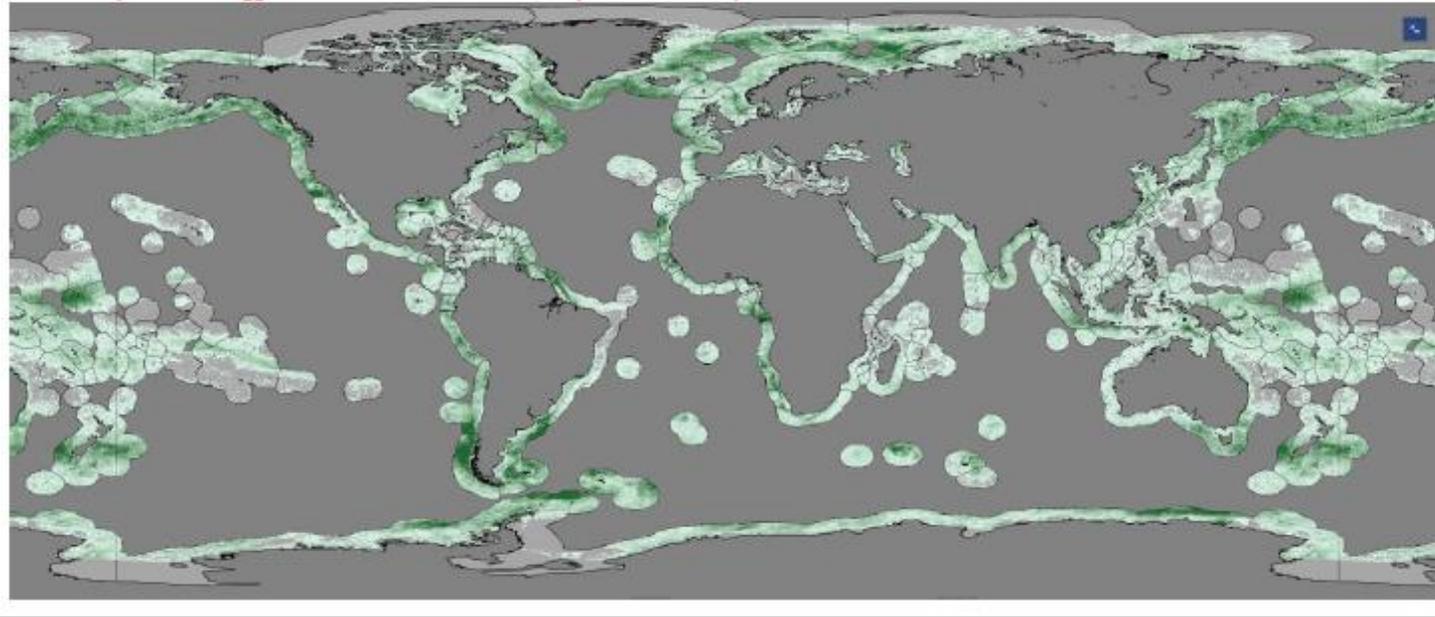


- **Eutrofización cultural:** proceso (y no un estado) de aumento de la materia orgánica en un ecosistema que es alimentado por aportes antropogénicos de

nutrición
debido

- Anomalías
eutrofikación

Figure 10. Distribution of chlorophyll-a deviations from 2005 – 2020. The plot shows the number of times between 2005 and 2020 that an individual pixel was flagged as anomalous for the time span under study.



- **El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) tiene definidos objetivos de desarrollo sostenible (SDG):**

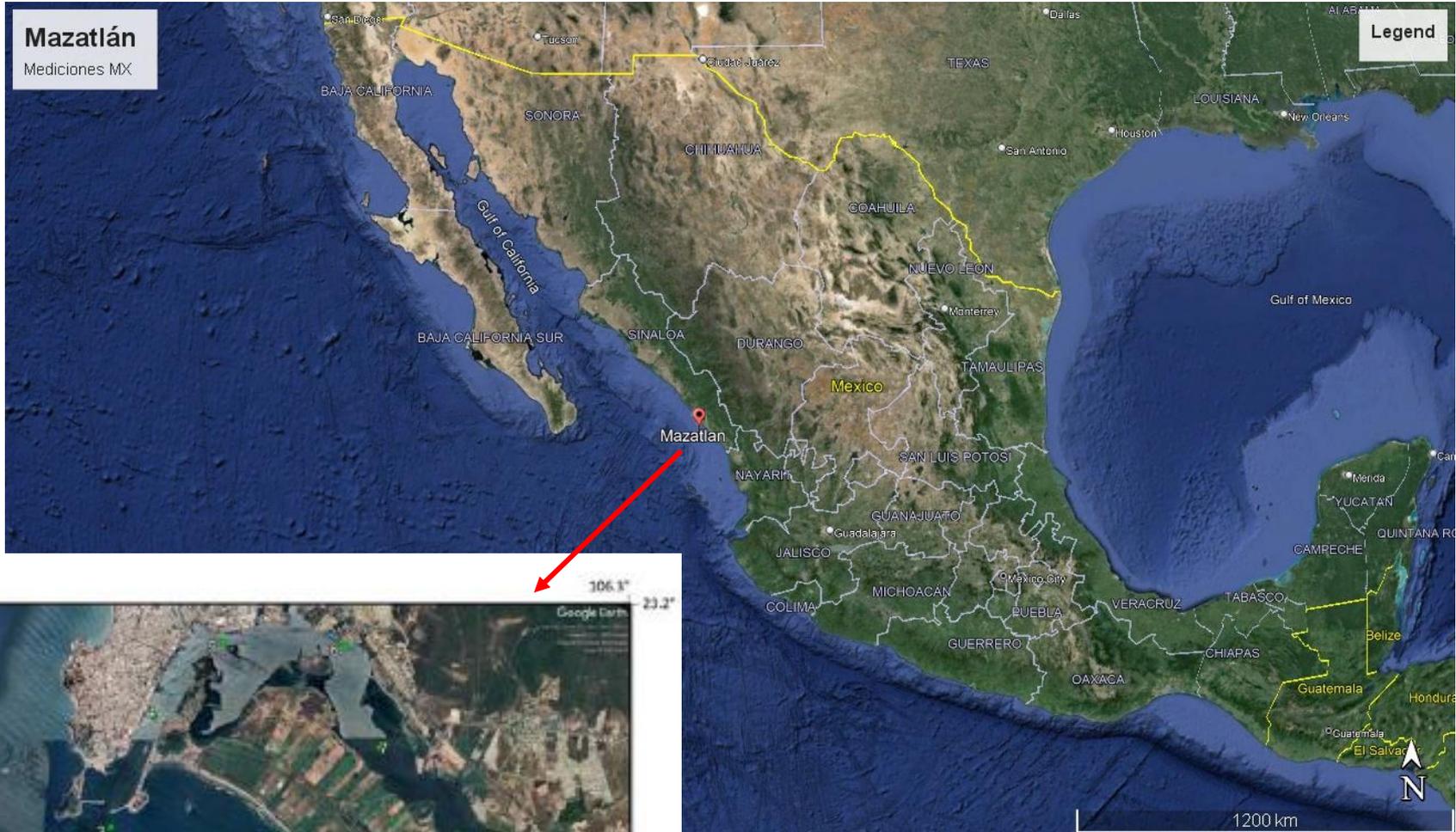
- SDG 14.1 (UNEP, 2021): prevenir y disminuir considerablemente la contaminación marina de todo tipo, en particular las provenientes de actividades terrestres

- 14.1.1a Índice de eutrofización costera
- 14.1.1b Residuos plásticos marinos



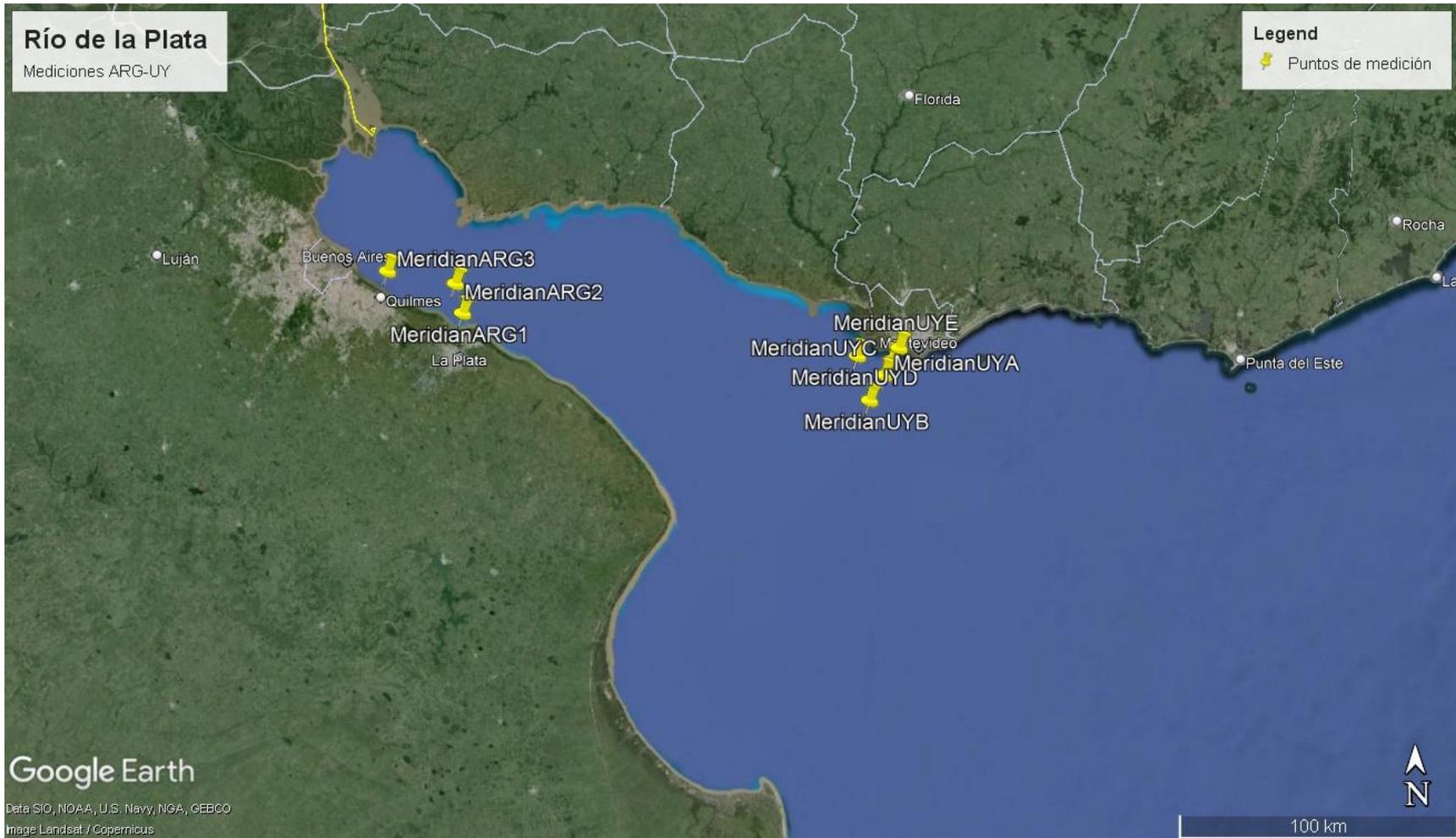
- **Eutrofización cultural:** proceso (y no un estado) de **aumento de la materia orgánica en un ecosistema** que es alimentado por **aportes antropogénicos de nutrientes inorgánicos**, donde los aumentos de materia orgánica son **a menudo debido al exceso de producción del fitoplancton** (Malone & Newton, 2020). Anomalías y desviaciones de **clorofila-a** satelital como indicador de **eutrofización potencial** en aguas costeras
- **Objetivo: evaluación de clorofila-a satelital que se usa para los indicadores de eutrofización**
- Para ellos se realizaron campañas de medición en Río de la Plata (Argentina y Uruguay) y en la zona costera de Mazatlán (México) en noviembre 2022.

EJEMPLO: EVALUACIÓN DE PRODUCTO SATELITAL



Mediciones en zona costera y laguna Estero de Urías

EJEMPLO: EVALUACIÓN DE PRODUCTO SATELITAL



Mediciones en ambas costas (Uruguay y Argentina)

EJEMPLO: EVALUACIÓN DE PRODUCTO SATELITAL

Ejemplo de mediciones en la costa uruguaya del Río de la Plata desde embarcación. En simultáneo: muestreo para mediciones en laboratorio, perfiles in situ y sensoramiento remoto (satelital y radiometría en superficie).



EJEMPLO: EVALUACIÓN DE PRODUCTO SATELITAL

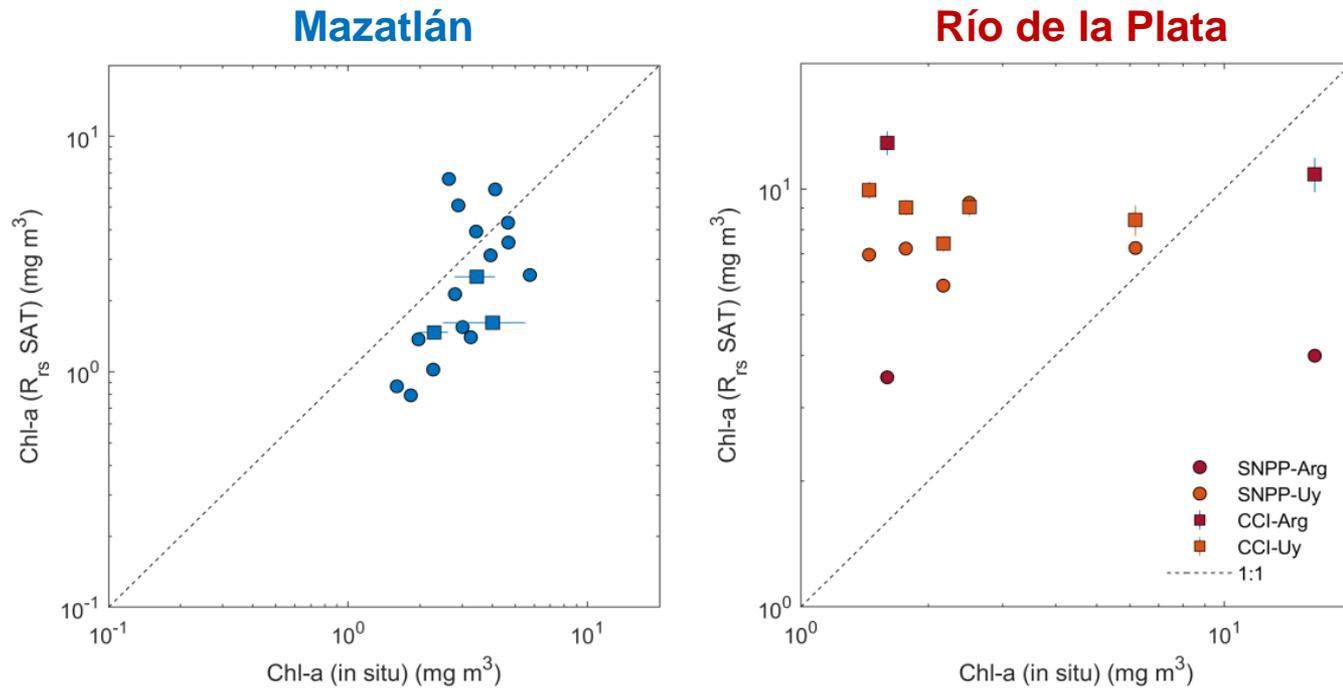
2º Semestre 2024 Fernanda Maciel Técnicas de Medición – Calidad de aguas superficiales

56

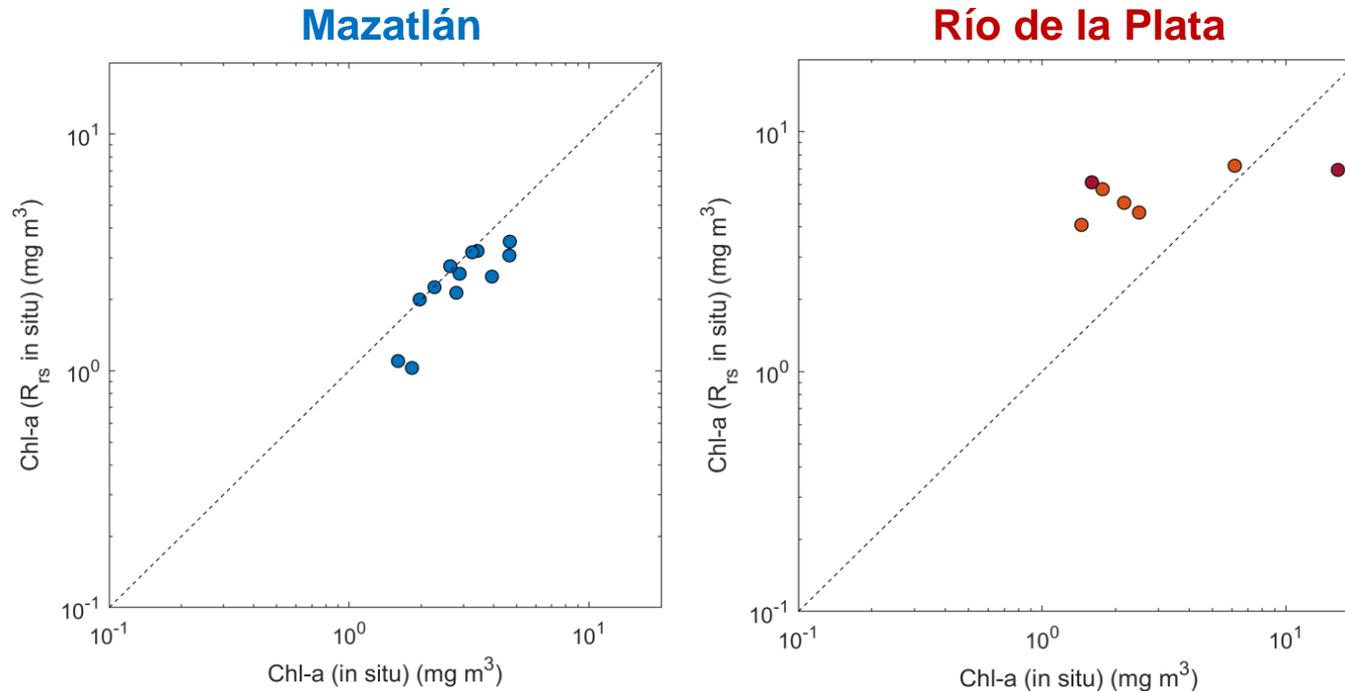
Ejemplo de mediciones en la costa uruguaya del Río de la Plata desde embarcación. En simultáneo: muestreo para mediciones en laboratorio, perfiles in situ y sensoramiento remoto (satelital y radiometría en superficie).



Clorofila-a satelital vs medida en campo



Clorofila-a estimada con radiometría en superficie vs medida en campo



- Tres muestras fueron claramente sobreestimadas en **Mazatlán** con la estimación satelital, mientras que este ya no es el caso cuando se utilizan mediciones radiométricas en superficie. Estos datos correspondieron a muestras recolectadas cerca de la laguna que pueden verse influenciadas por los procesos de la laguna y, por lo tanto, el desfase espacio-temporal entre la muestra in situ y el pasaje del satélite podría causar la discrepancia observada en la comparación con el producto satelital.
- A su vez, en el **Río de la Plata** se evidencia un claro problema en la aplicación del algoritmo de clorofila-a global en este tipo de aguas ópticamente complejas y ricas en sedimentos.

FIN

Gracias!