

ISOS|2023

Simposio Internacional sobre Sistemas de Emisarios 2023

International Symposium on Outfall Systems 2023



International Association
for Hydro-Environment
Engineering and Research

Hosted by
Spain Water and IWHR, China



MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LOS EMISARIOS RIACHUELO Y BERAZATEGUI

ING. PABLO S. CHIESA, AYSA



Lo bueno
del agua
llega.



Ministerio de
Obras Públicas
Argentina

CONTENIDO

- Características de las obras
- Reseña cronológica
- Caracterización del Río de la Plata
- Parámetros de calidad adoptados
- Construcción y calibración del modelo
- Resultados
- Conclusiones

CARACTERÍSTICAS DE LAS OBRAS



■ Emisario RIACHUELO

$$\Phi_{\text{TRANSPORTE}} = 4.30 \text{ m}$$

$$L_{\text{TOTAL}} = 12 \text{ km}$$

$$L_{\text{DIFUSIÓN}} = 1,5 \text{ km}$$

$$N^{\circ}_{\text{RISERS}} = 34$$

$$Q_{\text{MÁXIMO}} = 27 \text{ m}^3/\text{s}$$

■ Emisario BERAZATEGUI

$$\Phi_{\text{TRANSPORTE}} = 3 \times 2.60 \text{ m}$$

$$L_{\text{TOTAL}} = 7,3 \text{ km}$$

$$L_{\text{DIFUSIÓN}} = 2,4 \text{ km}$$

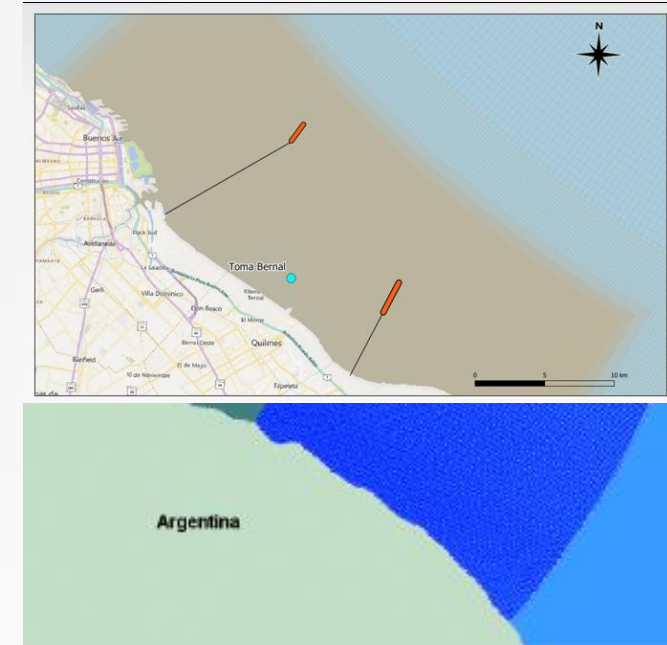
$$N^{\circ}_{\text{RISERS}} = 48$$

$$Q_{\text{MÁXIMO}} = 33,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

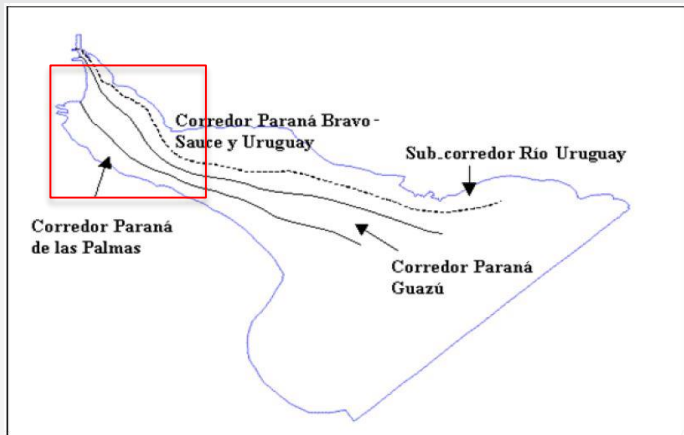
RESEÑA CRONOLÓGICA

- Año 2004: Primer modelo matemático Sistema RP2000 y SMS (RMA2 RMA4). AySA
- Primera campaña de mediciones de tributarios. AySAc
- Año 2005: Establecimiento por Prof. Gerhard H. Jirka de los Criterios de Diseño de los nuevos emisarios
- Modelación emisario Berazategui y determinación de su dimensionado ambiental. AySA
- Año 2008 – actualidad: Campañas de medición sistematicas hidrodinámicas y calidad. AySA
- Año 2010: Informe de ambos emisarios Prof. Philip Roberts y Beatriz Villegas
Roberts, P. J. W., y Villegas, B. (2010). “Modelado de los emisarios propuestos para Buenos Aires - Informe Final”. Preparado para Agua y Saneamientos Argentinos (AySA)
- Año 2014 - Actualidad:
 - 2014: desarrollo de modelos propios.
 - 2018: implementación de la version Delft 3D Flexible Mesh.
 - 2021: Emisión de nuevos informes. AySA

https://www.aysa.com.ar/medialibrary/sustentabilidad/banco_mundial/EIA320_Emisario_Riachuelo_Etapa_Operativa.pdf (Anexo VI)

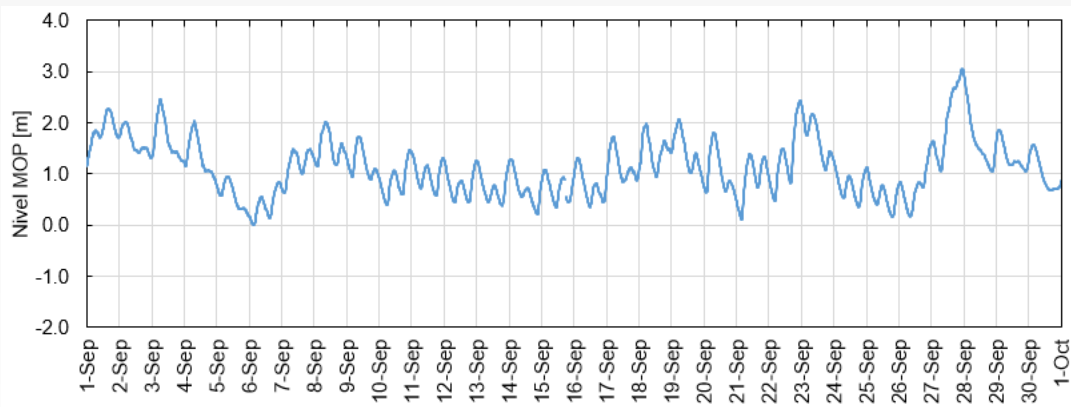


CARACTERIZACIÓN RÍO DE LA PLATA

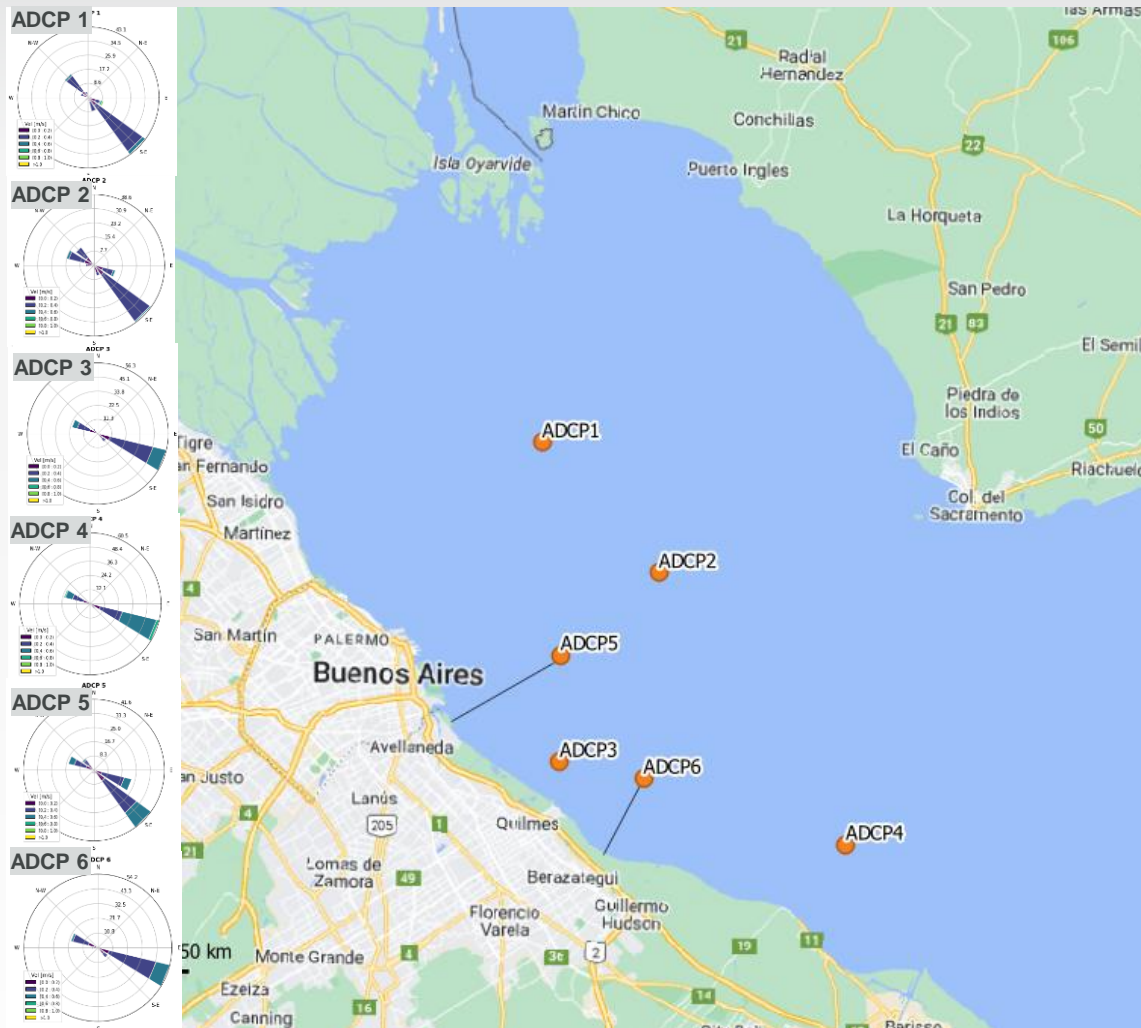


Corredores de flujo en el RDLP

Fuente: "Corredores de Flujo en el Río de la Plata Interior".
Univ. De la República. 2003



Nivel de marea del RDLP en ubicación del ADCP 5 (Sep. 2009)



Ubicación ADCP's y estadística velocidades

PARÁMETROS DE CALIDAD ADOPTADOS

CALIDAD DEL EFLUENTE

- Se establece en base a mediciones de calidad en Planta Berazategui actual (2009-2021)

NIVELES BASE DEL RÍO DE LA PLATA

- Muestreos en el RDLP en puntos alejados de la costa (2010-2019)

VALORES GUÍA

- La Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable definió criterios de caracterización de Zonas de Uso para la Franja Costera del Río de la Plata:
 - Uso I – Apta para consumo humano con tratamiento convencional: Se entiende por tratamiento convencional a aquel que consiste de etapas de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección final.
 - Uso III – Apta para actividades recreativas sin contacto directo (o contacto secundario): Son las actividades recreativas para las cuales existe un eventual contacto con el agua, pero en donde es improbable que se produzca su ingesta (remo, vadeo, navegación, pesca).

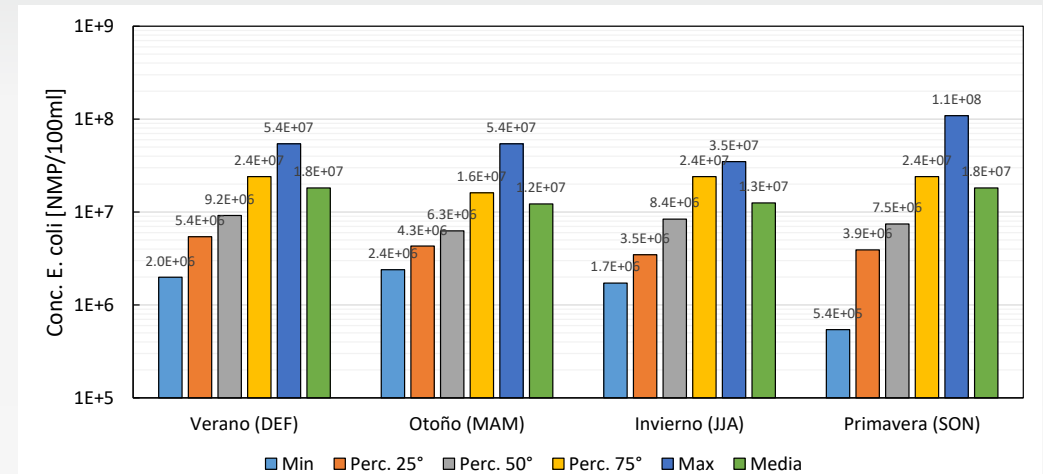
Parámetro	Concentración del efluente	Niveles base en el río	Estándar Tipo III	Frecuencia
Conservativo:				
Fenoles (µg/l)	50	10	< 100	90%
Detergentes (mg/l)	1.4	0.2	< 5	90%
Plomo (µg/l)	29	5	NR	
Cromo (µg/l)	95	5	NR	
No conservativo - Bacteria				
E. coli (MPN/100 ml)	2.4E+07	20	< 20000	0%
No conservativo - Degradación Ambiental				
DBO (gO ₂ /m ³)	120	2	< 10	90%
OD (g/m ³)	0.3	9.1	> 4	90%
NH ₄ (gN/m ³)	18	0.06	NR	
NO ₃ (gN/m ³)	1	2	< 10	90%
PO ₄ (gP/m ³)	3.0	0.17	-	
Total P (gP/m ³)	-	-	< 1	90%

Calidad del efluente, valores base del RDLP y valores guía

BACTERIAS E. COLI

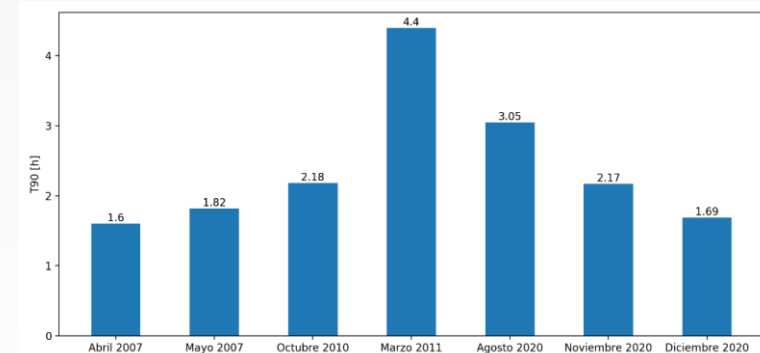
- El compuesto de mayor preocupación son las bacterias debido a su impacto potencial sobre la salud pública. Adicionalmente, la bacteria E. Coli es la única regulada por las normas de cuerpos de agua y es el indicador de contaminación utilizado comúnmente para evaluar el estado de la calidad del agua.
- Para el parámetro o indicador E. Coli los valores de concentración y porcentajes del tiempo que definen estos Usos son:
 - Uso I: menor a 2.000 NMP/100 ml el 80% del tiempo.
 - Uso III: menor a 20.000 NMP/100 ml el 90% del tiempo.

CONCENTRACIÓN EN EL EFLUENTE



Se adopta 2.4×10^7 NMP/100 ml (percentil 75%)

TASA DE DECAIMIENTO



Se adopta $T_{90} = 4.4$ hs (el mayor de los valores)

CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO



MODELO UTILIZADO

Software utilizado: Delft3D Flexible Mesh (Deltares).

Módulo hidrodinámico y de transporte: D-FLOW FLEXIBLE MESH

- Solución numérica de las ecuaciones de Navier-Stokes
- Calcula los fenómenos de flujo y transporte no estacionarios en mallas (o grillas) estructuradas y no estructuradas

Módulo de calidad: D-WATER QUALITY

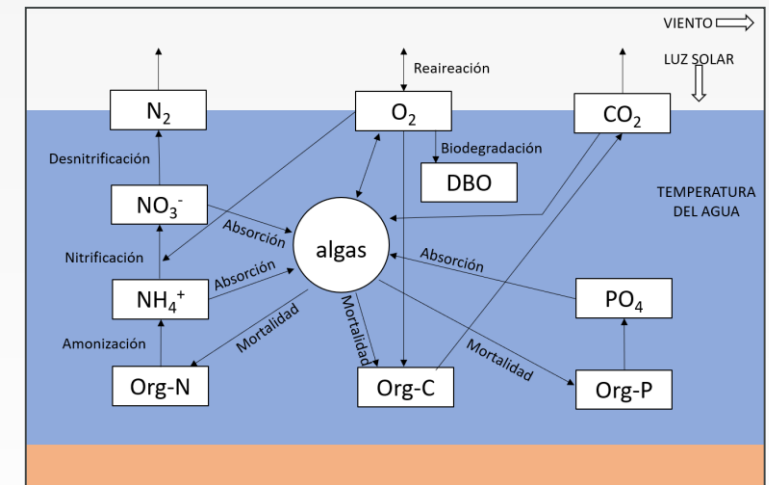
- Cálculo de parámetros de calidad de agua, tanto conservativos como no conservativos

Bacterias:

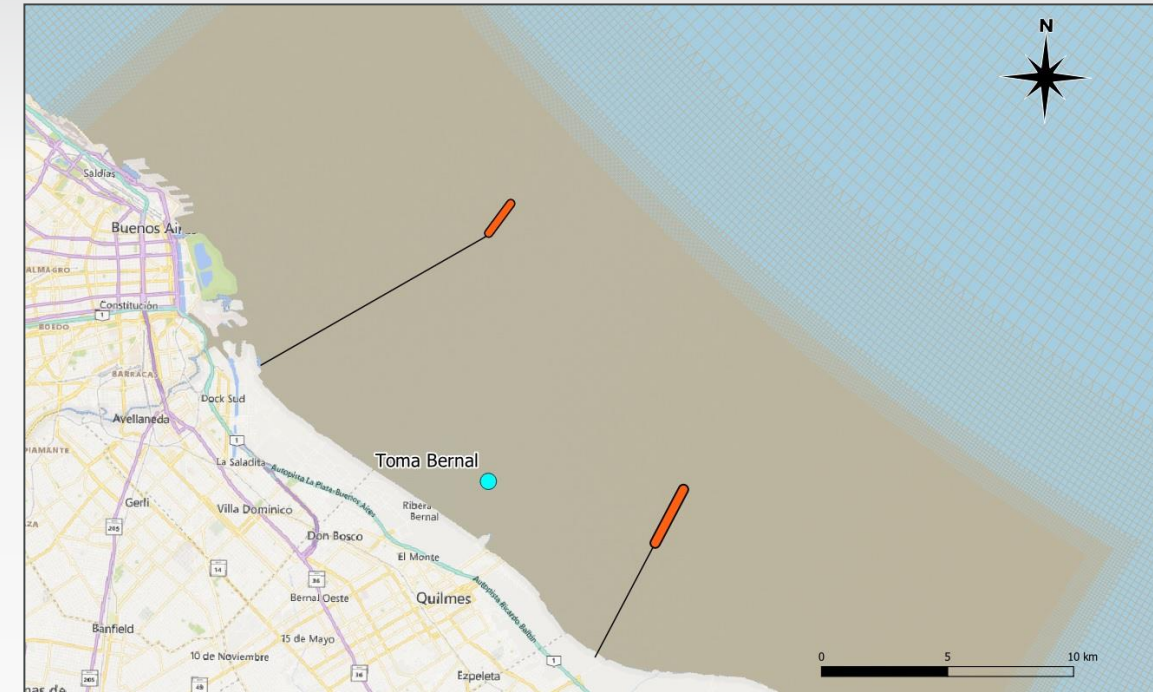
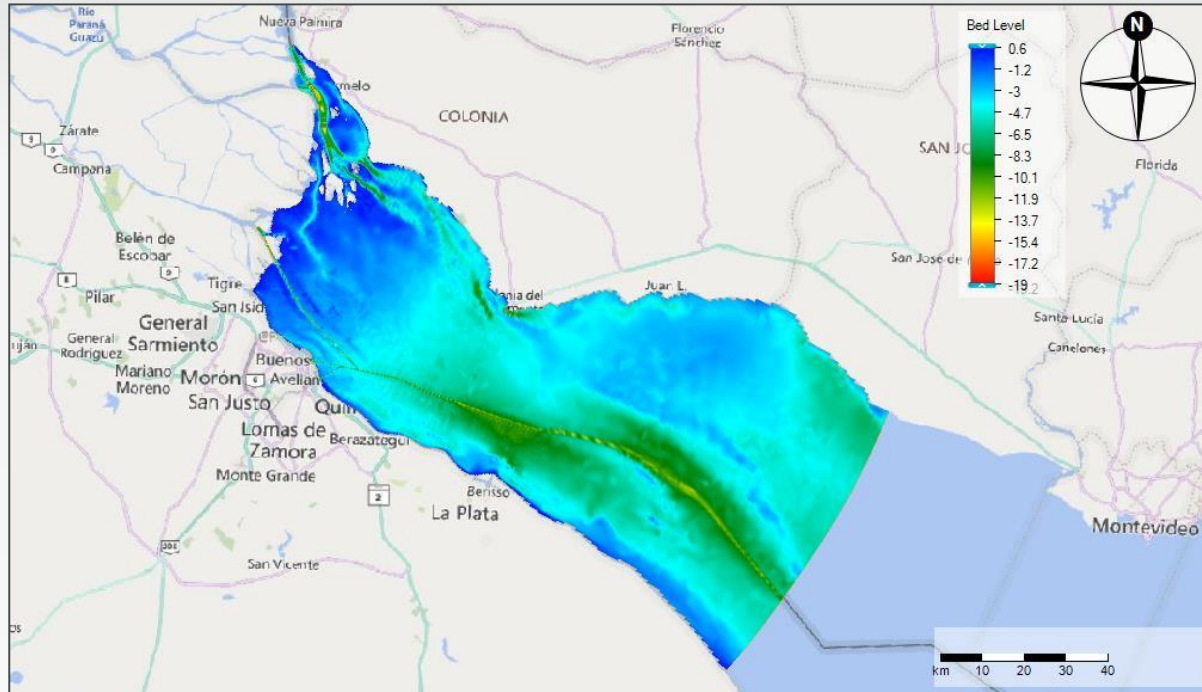
$$C_{(t)} = C_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

(decaimiento de 1° orden)

Oxígeno, nutrientes y algas:



DOMINIO DEL MODELO, BATIMETRÍA, MALLADO Y FORZANTES



- **DOMINIO:** Desde cabecera del río hasta línea Punta Indio – Kiyú .
Long 180 km, ancho 50-80 km
- **BATIMETRÍA:** Cartas náuticas y relevamientos propios
- **FORZANTES:**
 - Caudal de ingreso: Río Paraná de las Palmas, P. Guazú y Uruguay
 - Nivel de marea: nivel en Torre Oyarvide
 - Dirección e intensidad del viento
 - Radiación solar y temperatura del agua

- **MALLADO:**
 - Grilla curvilínea no estructurada orientada según la dirección del flujo
 - Resolución variable, entre:
 - 30 m para franja costera argentina y área implantación emisarios, y
 - 500 m para áreas más alejadas

OTROS PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN

- Rugosidad de fondo: n Manning = 0.015
- Viscosidad de remolino: $1 \text{ m}^2/\text{s}$
- Tasa de biodegradación y Nitrificación: 0.25 d^{-1} y 0.10 d^{-1}
- Dispersión horizontal: $1 \text{ m}^2/\text{s}$
- Número de Courant > 2

VENTANAS DE SIMULACIÓN

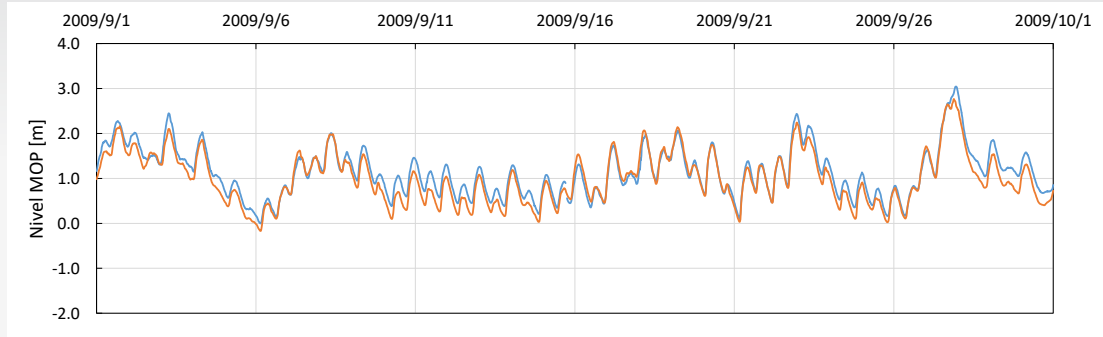
Mes	Caudal RDLP [m ³ /s]	Percentil
Julio 2009	18540	20°
Septiembre 2009	26030	Caudal medio
Diciembre 2009	38720	90°
Marzo 2010	27750	65°
Agosto 2016	25923	Caudal medio
Julio 2019	26000	Caudal medio

Se simularon seis ventanas temporales, abarcando:

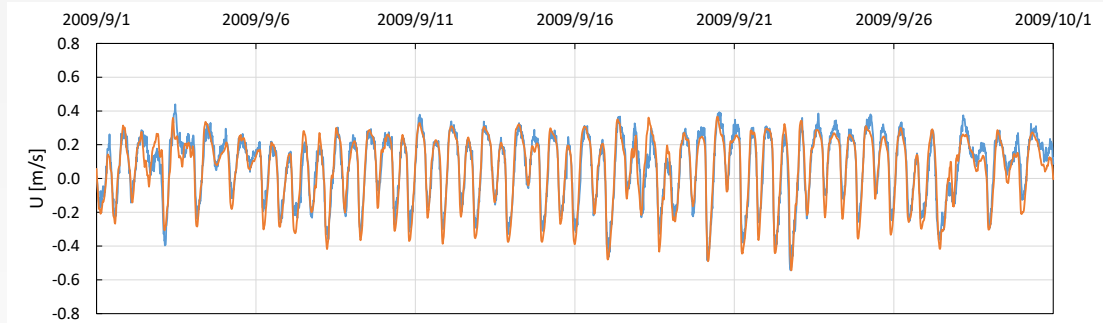
- Un amplio rango de caudales de los tributarios
- Distintas condiciones hidrometeorológicas con mareas normales, crecientes (sudestadas) y bajantes
- Distintas estaciones del año

CALIBRACIÓN

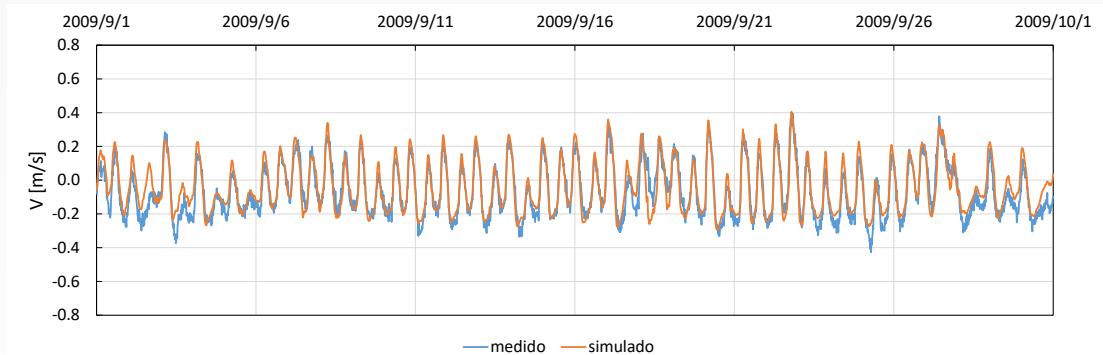
Altura de marea
d=0.97



Componente Este
de la velocidad
d=0.97



Componente Norte
de la velocidad
d=0.95



Grado de ajuste:

$$d = 1 - \frac{\sum(O_i - S_i)^2}{\sum(|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

d : grado de ajuste

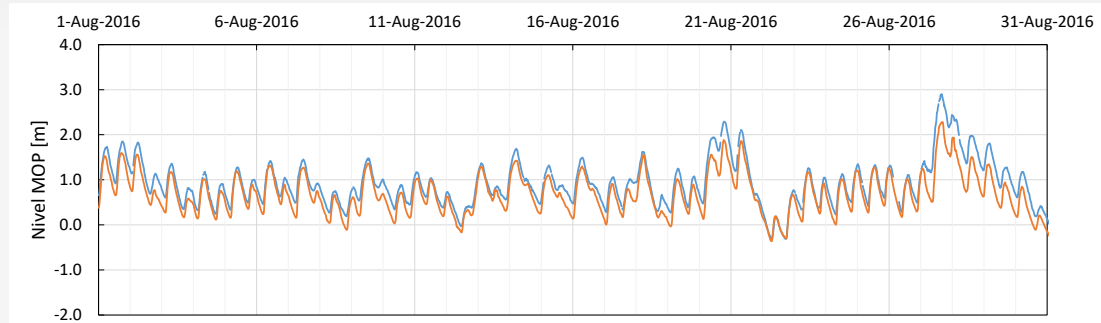
O_i : valores observados o medidos

S_i : valores simulados

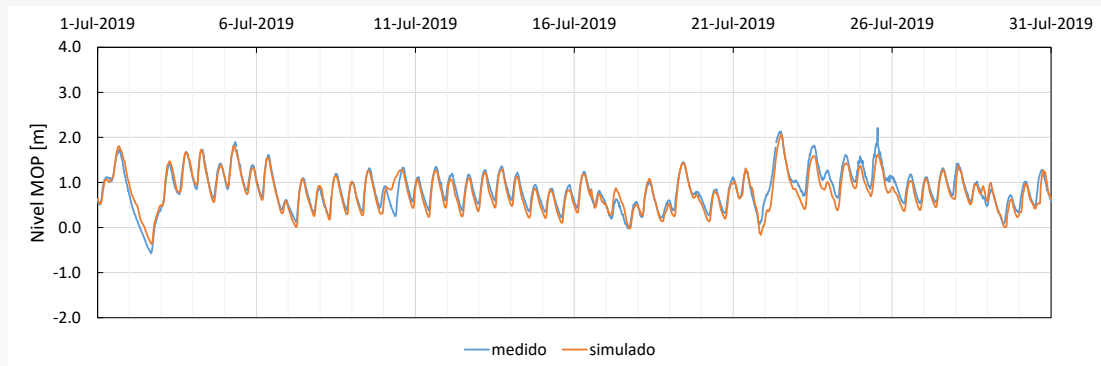
\bar{O} : promedio de valores observados o medidos

CALIBRACIÓN

Altura de marea
d=0.91



Altura de marea
d=0.96



*Datos medidos y simulados en la toma de
Planta san Martín. Agosto 2016 y julio 2019*

Grado de ajuste:

$$d = 1 - \frac{\sum(O_i - S_i)^2}{\sum(|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

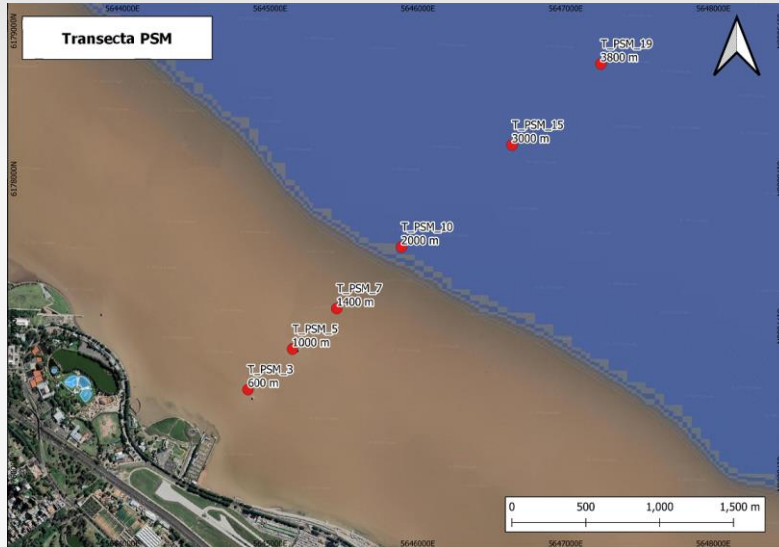
d : grado de ajuste

O_i : valores observados o medidos

S_i : valores simulados

\bar{O} : promedio de valores observados o medidos

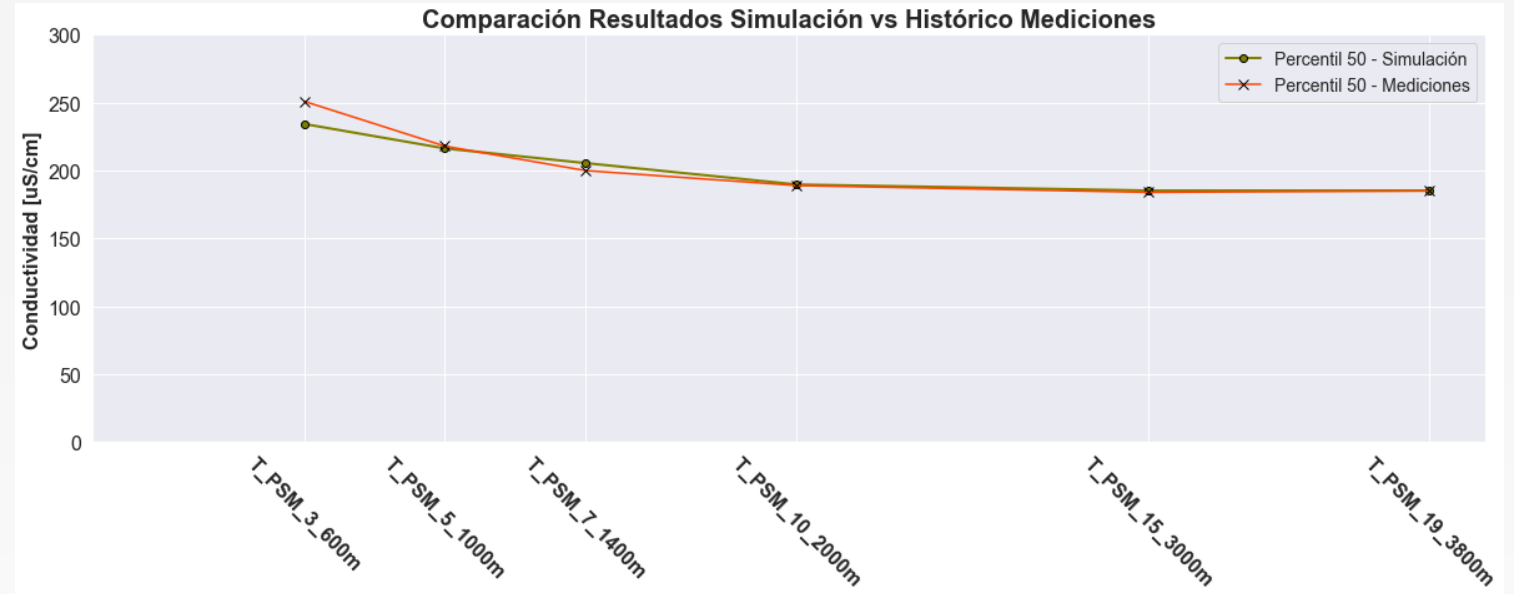
CALIBRACIÓN



Transecta Planta San Martín

Tributario	Conductividad [uS/cm]
Medrano	1740
Orientales, Perú y Borges	953
Vega	500
Luján	250
Reconquista	800
Paraná	185

Conductividad asignada a las condiciones de borde

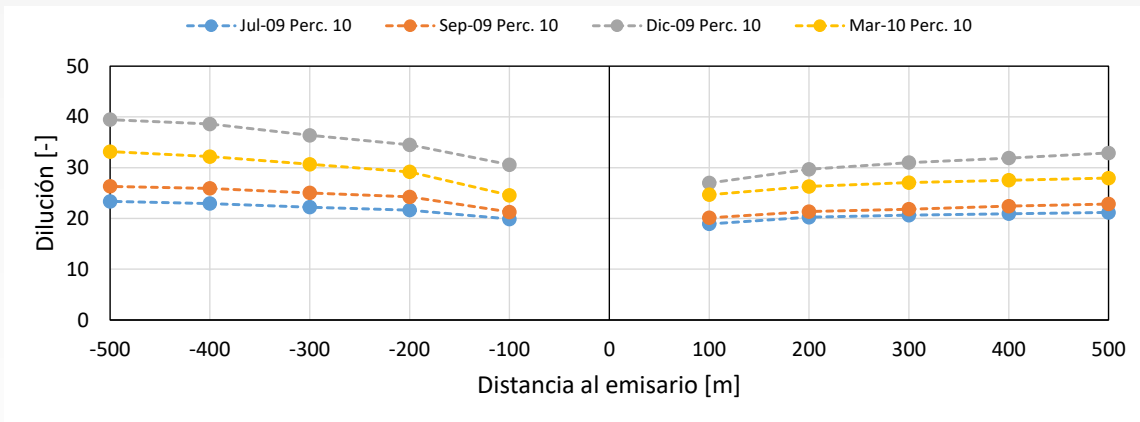
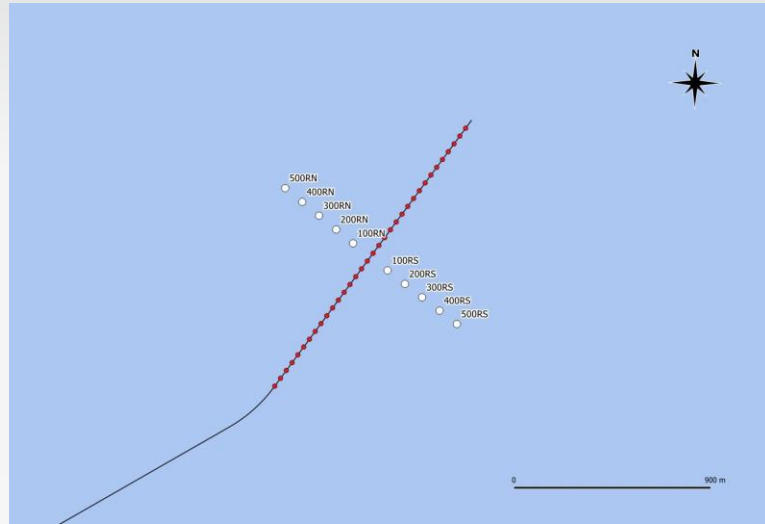


Estadístico de mediciones de conductividad eléctrica (gráfico de líneas) y resultados de la simulación (gráfico de cajas)

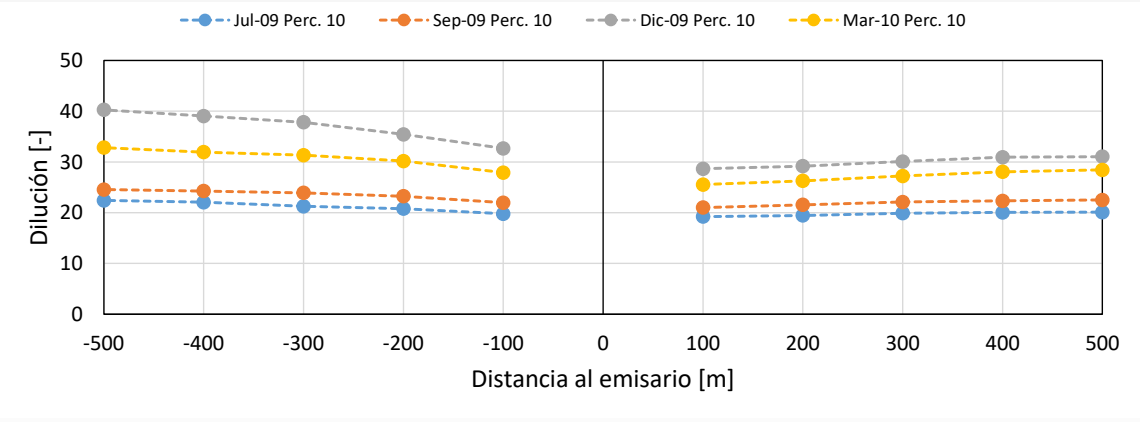
RESULTADOS



DILUCIONES

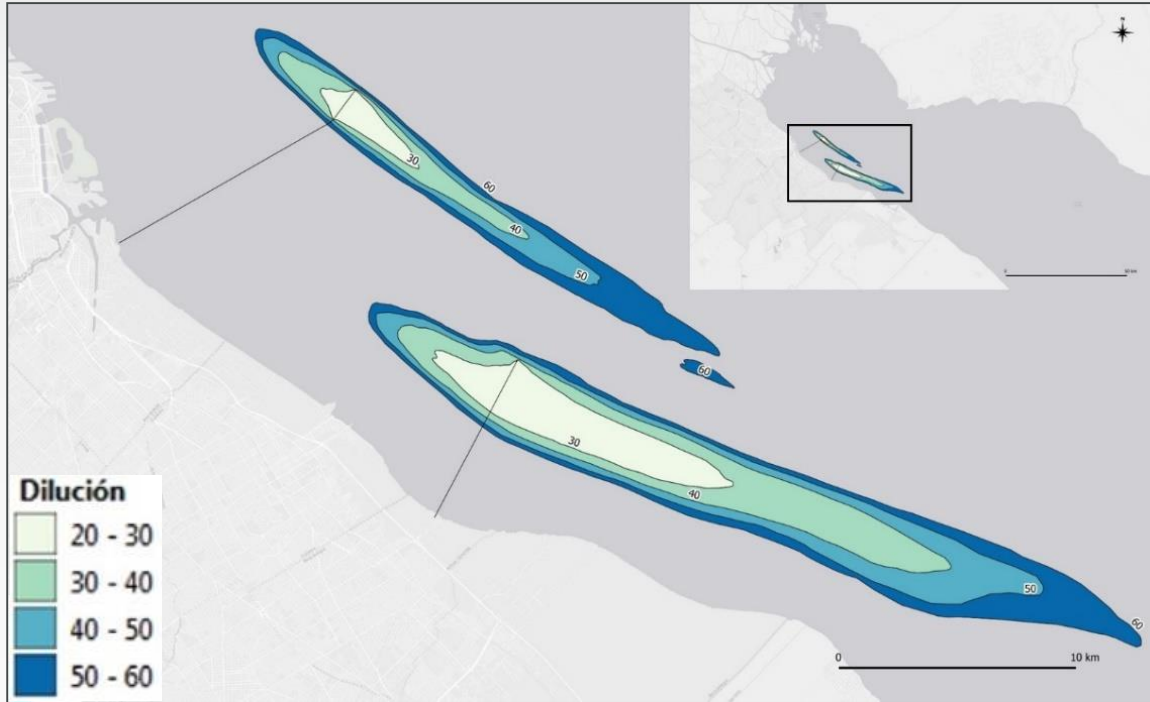


Diluciones Emisario Riachuelo – Percentil 10

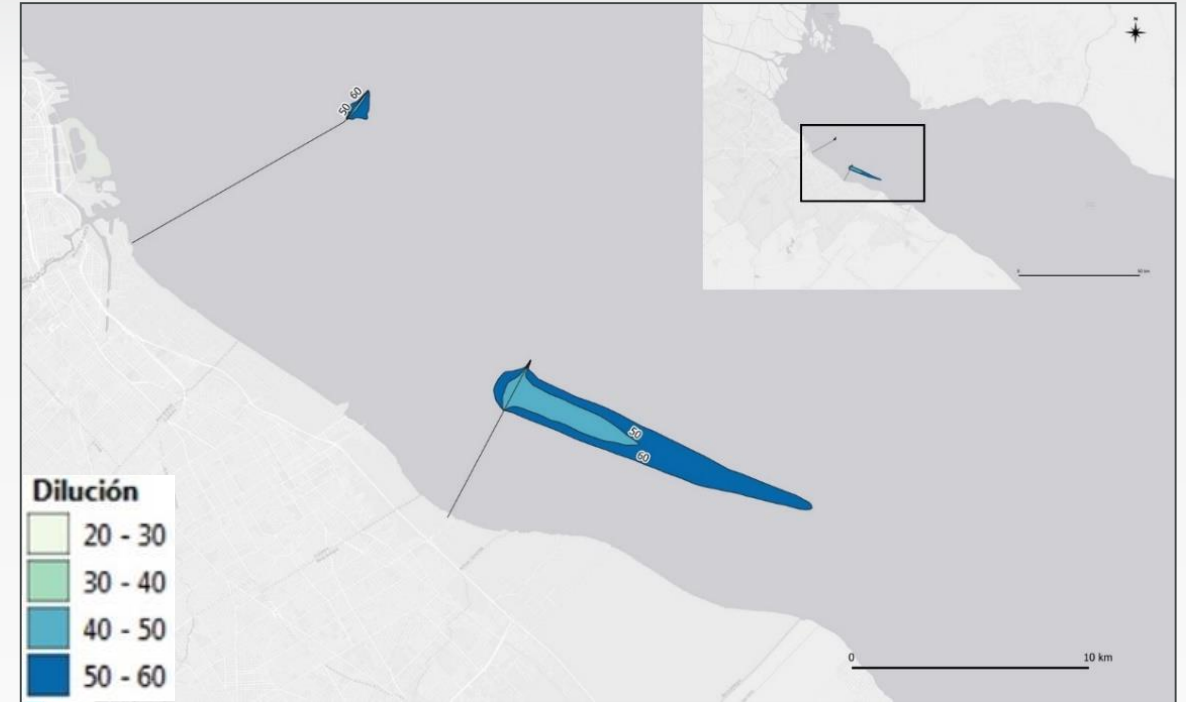


Diluciones Emisario Berazategui – Percentil 10

DILUCIONES

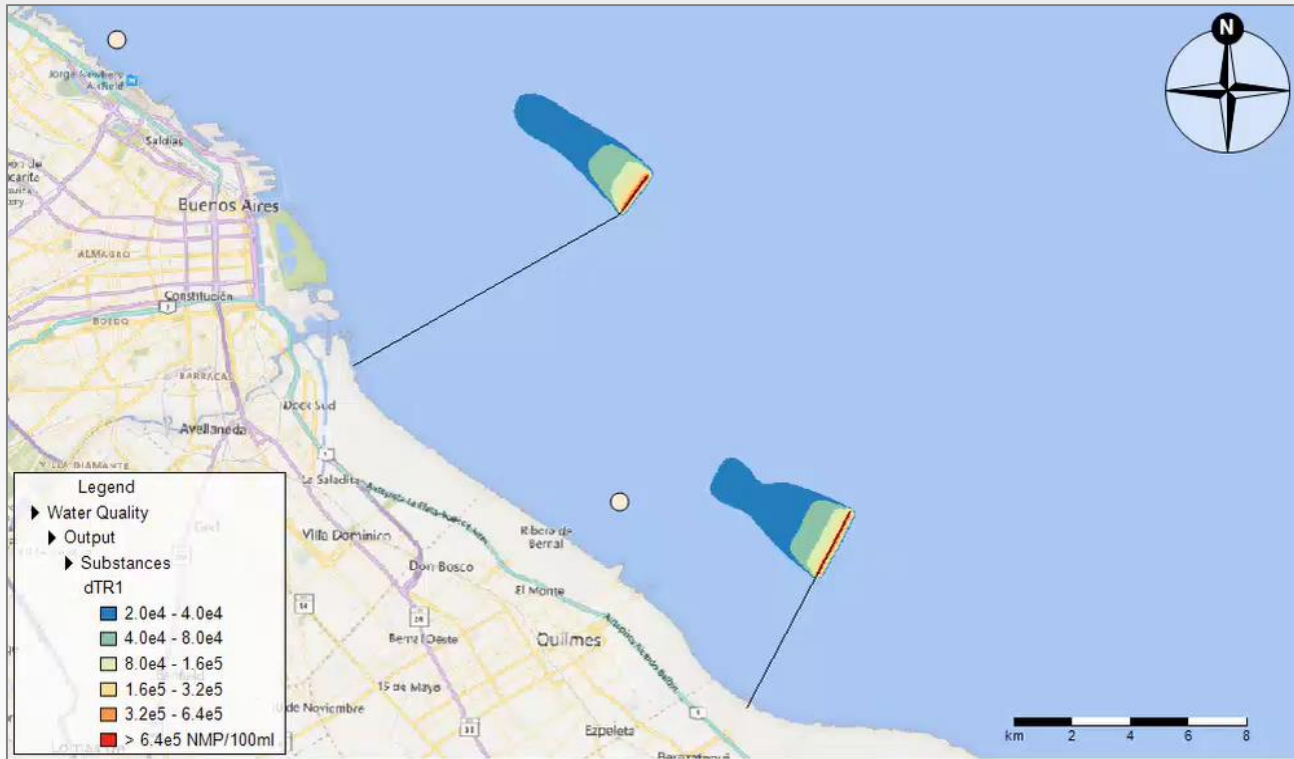


Diluciones superadas el 90% del tiempo (percentil 10) correspondientes a un mes de caudales medios de los tributarios (sep-2009)

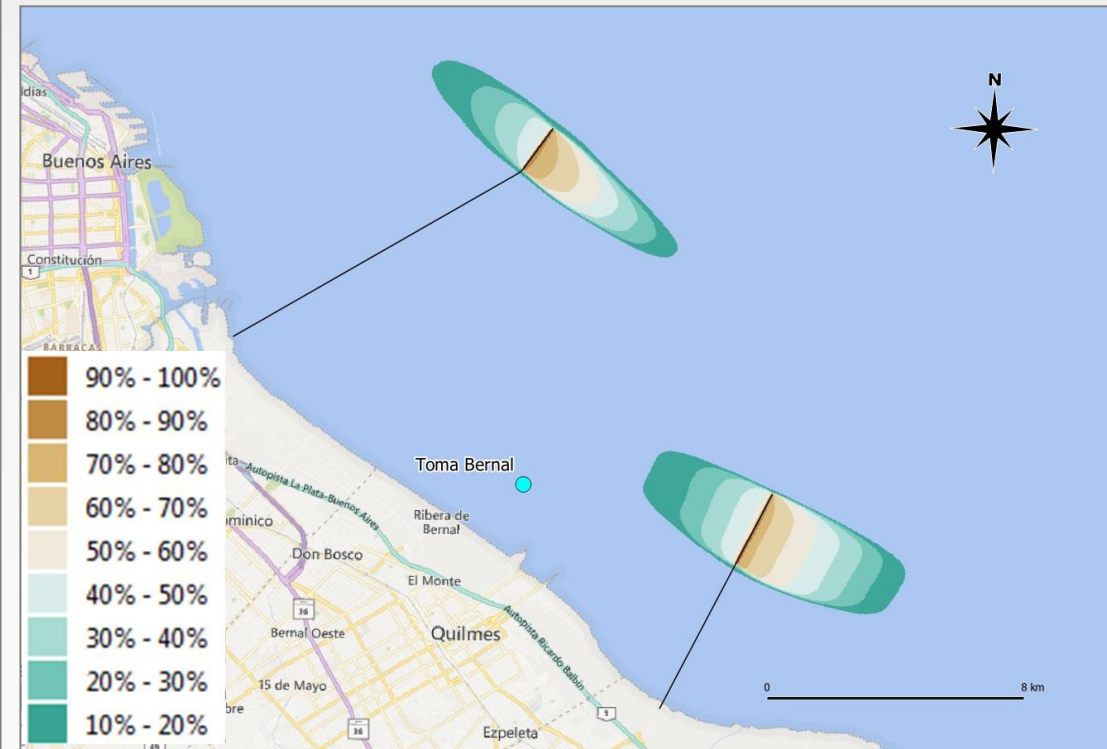


Diluciones medias (percentil 50) correspondientes a un mes de caudales medios de los tributarios (sep-2009)

E. COLI – LÍMITE USO III

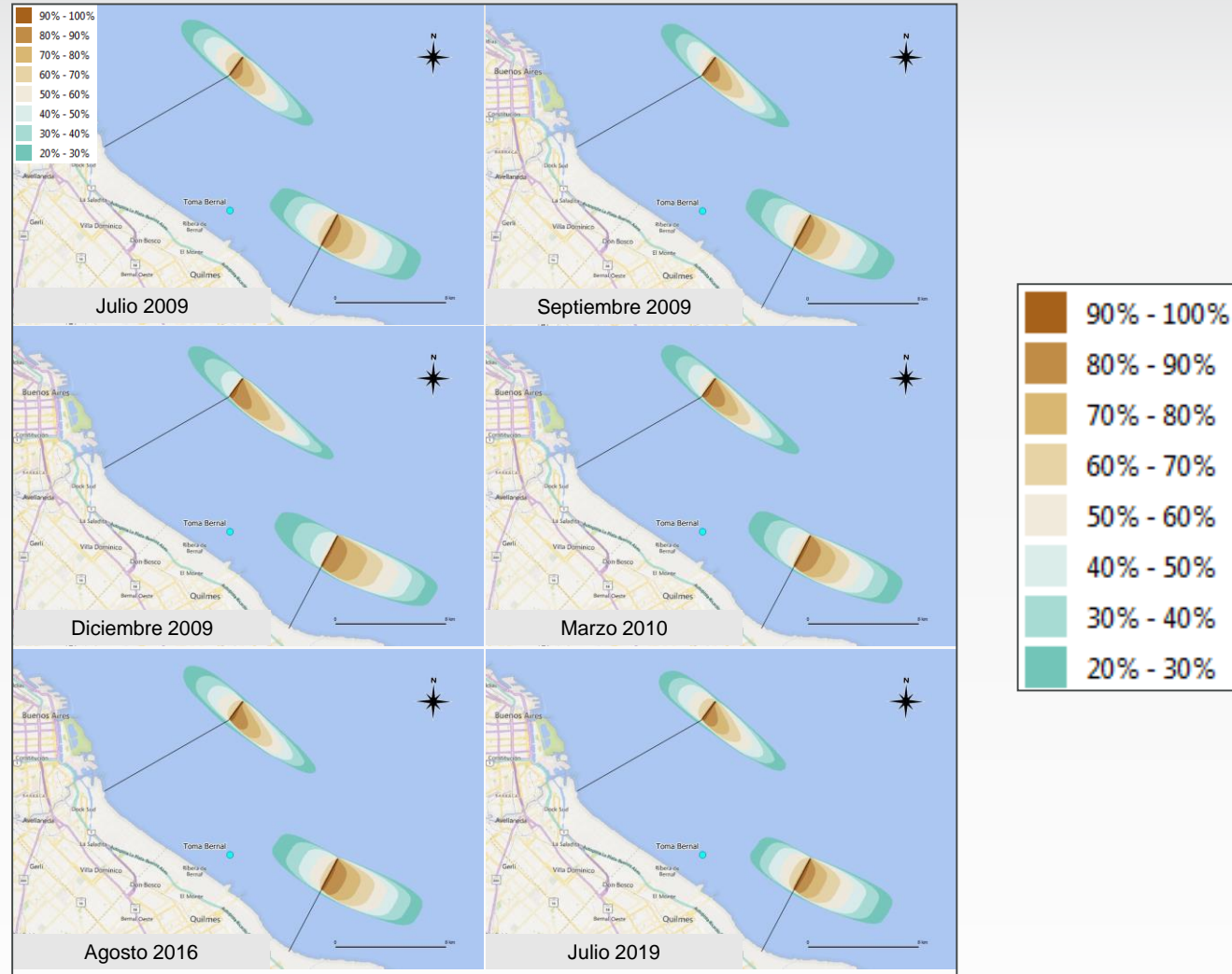


Animación pluma concentraciones E. Coli



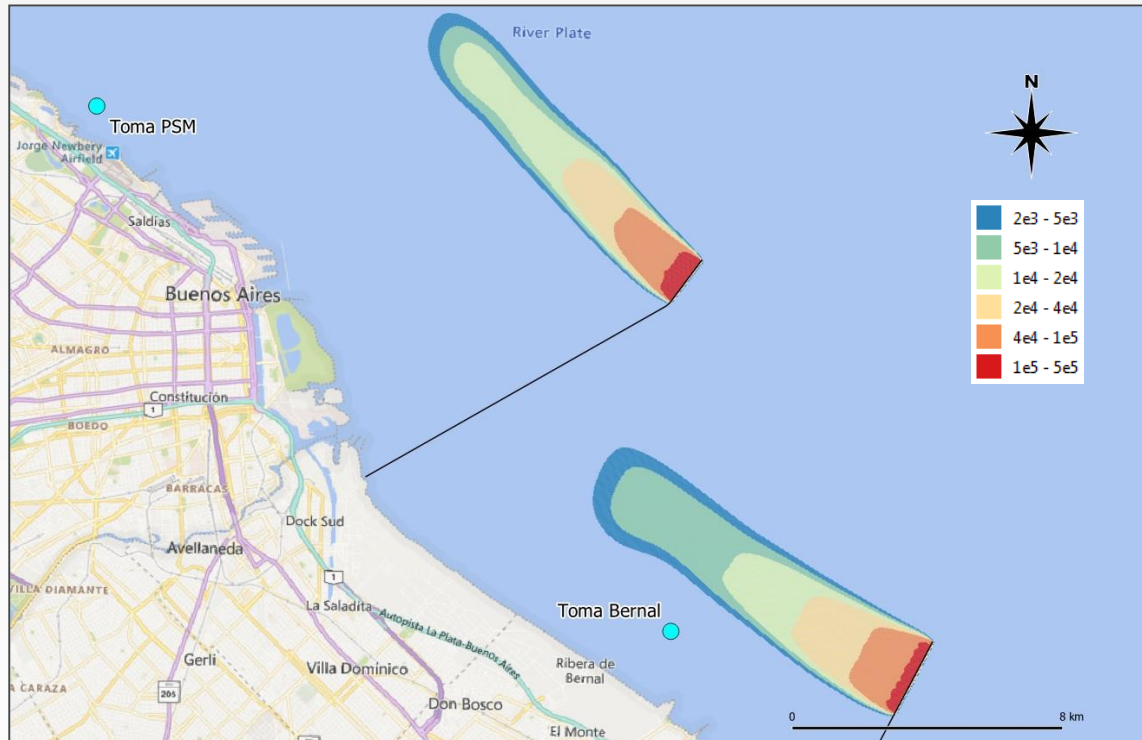
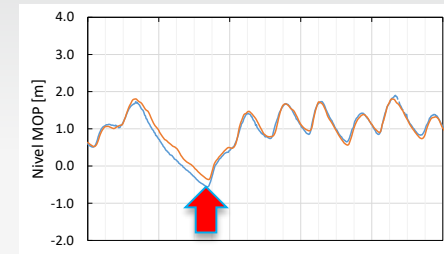
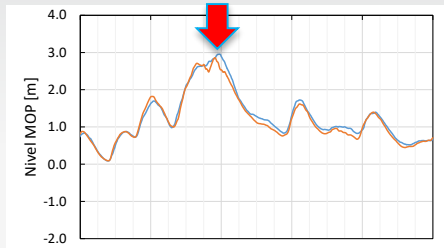
Frecuencia de concentraciones de E. Coli mayores a 20.000 NMP/100 ml

E. COLI – LÍMITE USO I

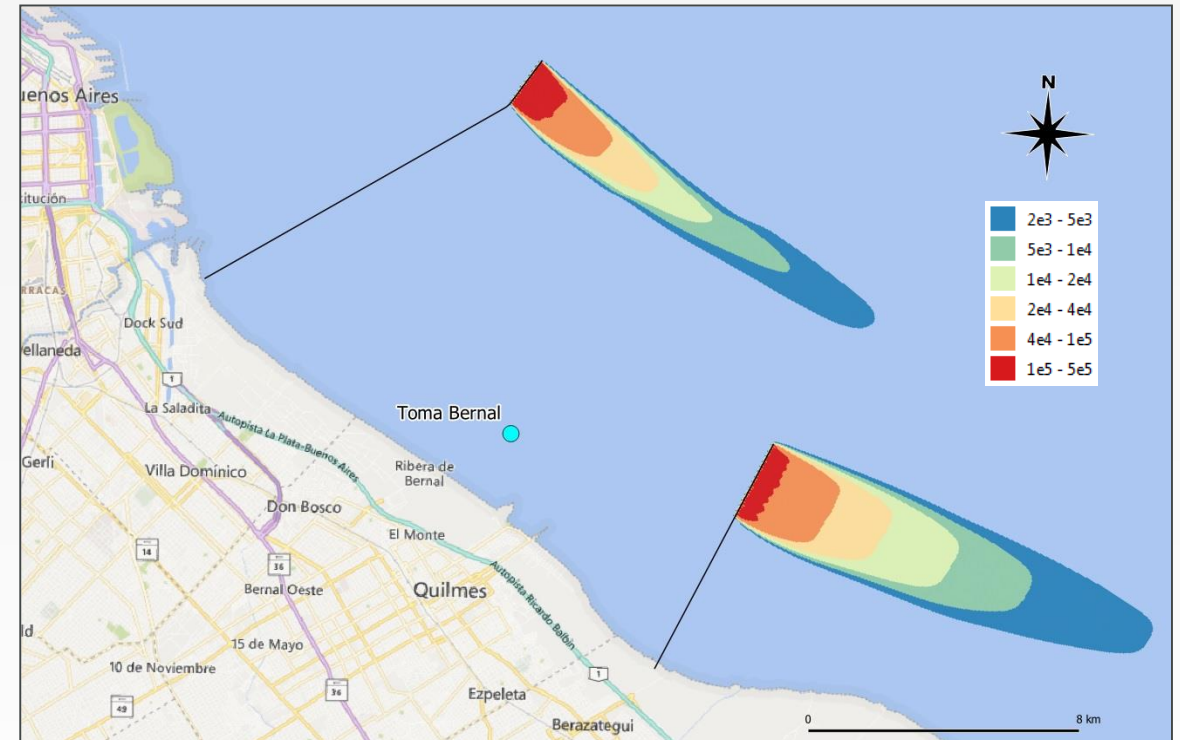


Frecuencia de concentraciones de E. Coli mayores a 2.000 NMP/100 ml

E. COLI – SUDESTADA Y BAJANTE DE MAREA

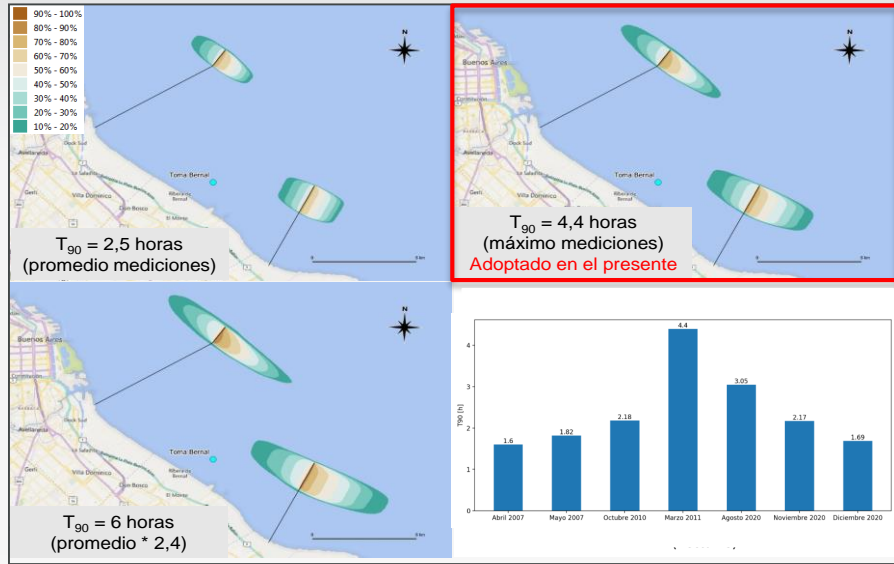


Pluma de E. Coli en un evento de sudestada
[NMP/100ml]

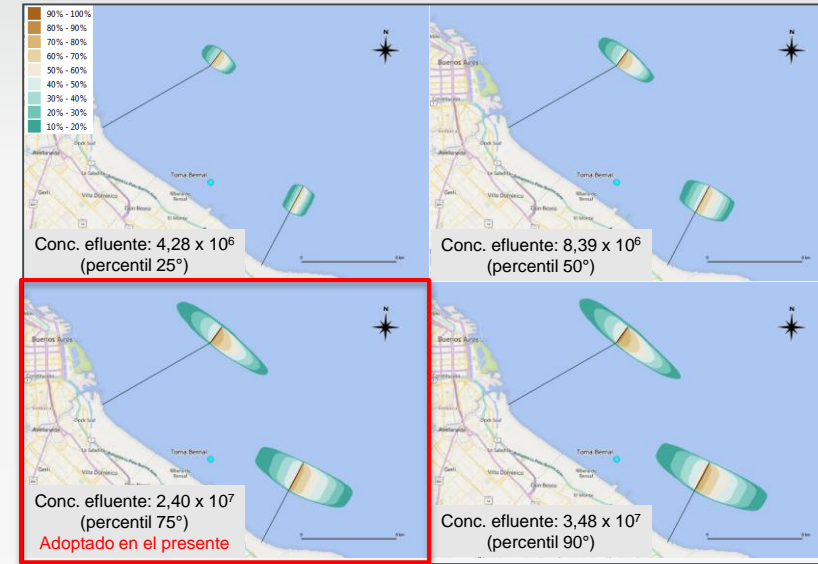


Pluma de E. Coli en un evento de bajante de marea
[NMP/100 ml]

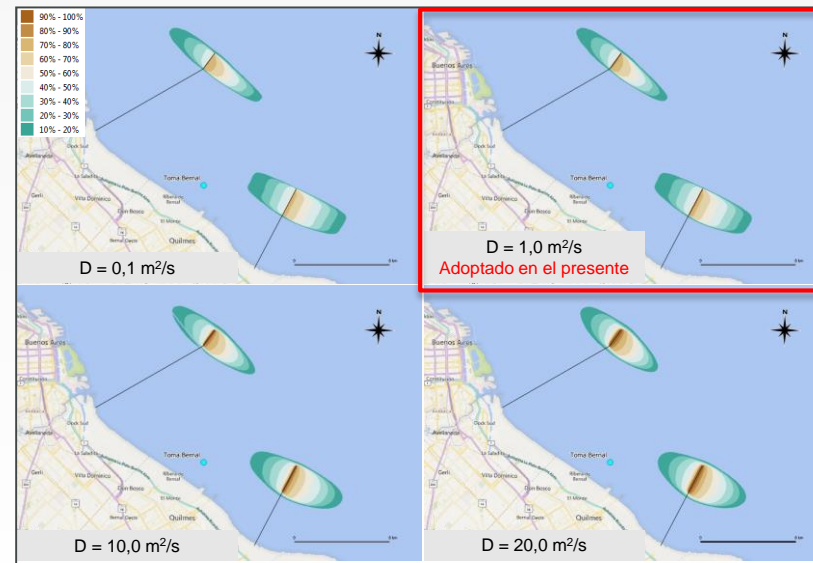
E. COLI – ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD



Sensibilidad a T_{90}

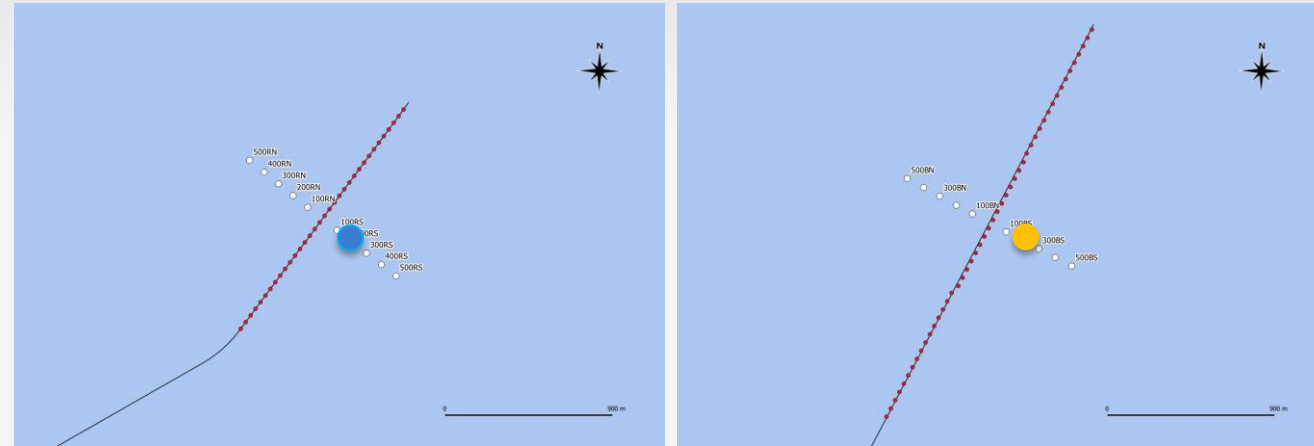


Sensibilidad a concentraciones *E. Coli*

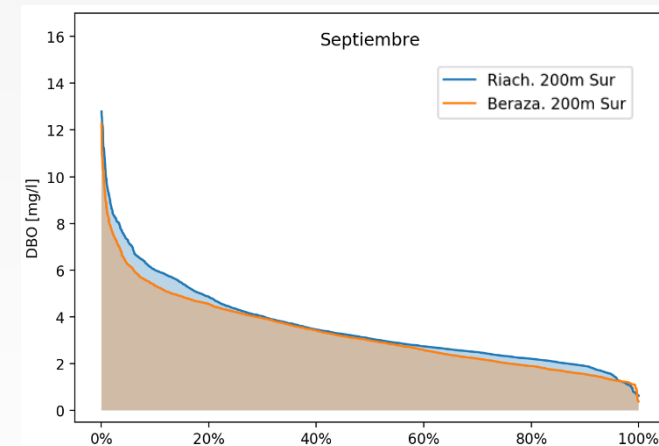


Sensibilidad a coef. de dispersión

PARÁMETROS DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL



Puntos de monitoreo a 200 m de los emisarios Riachuelo y Berazategui



Curva permanencia DBO a 200 m de los difusores

CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

- Estudio de larga trayectoria con intervención de varios actores
- Para esta versión final, se implementó un modelo matemático, hidrodinámico y de calidad de agua para determinar el alcance o zona de afectación de las plumas del efluente de los emisarios Riachuelo y Berazategui.
- Se cuenta con extensas campañas de mediciones hidrométricas y de calidad en el Río de la Plata. También se cuenta con extensas muestras de calidad en el efluente.
- Se calibró y validó la modelación hidrodinámica mediante comparación de alturas de marea y velocidades medidas por ADCP's. También se validó los fenómenos de transporte y mezcla a través de una transecta de conductividad.
- Se realizó la modelación de los futuros emisarios y se obtuvieron los siguientes resultados:
 - Diluciones mayores a 1:20 el 90% del tiempo.
 - El parámetro bacteriológico E. Coli resultó ser la limitante de la pluma. Se verificó la zona de mezcla para los Usos I y III. No se esperaría afectación a la costa ni de las tomas de agua cruda, incluso en condiciones de sudestada o bajante pronunciada de marea.
 - Para los compuestos no conservativos asociados a la degradación ambiental (DBO, OD, N, P, etc.) los niveles de los parámetros cumplen las normas para el Uso III, a menudo por un amplio margen. No se produce el crecimiento de algas.



ISOS|2023

Simposio Internacional sobre Sistemas de Emisarios 2023

International Symposium on Outfall Systems 2023



Lo bueno
del agua
llega.



Ministerio de
Obras Públicas
Argentina