



# Estructura comunitaria y diversidad de peces en el río Uruguay

Monitoreo en la zona receptora de efluentes de la planta de pasta de  
celulosa UPM S.A.

Abril, 2019



**Autores:**

Anahí López-Rodríguez  
Alejandro D'Anatro  
Samanta Stebniki  
Nicolás Vidal  
Franco Teixeira de Mello

**Colaboradores:**

Joaquín Pais  
Ivana Silva  
Giancarlo Tesitore

Distribución: UPM S.A., DINAMA, DINARA

Responsable: Franco Teixeira de Mello e-mail: frantei@cure.edu.uy

# UPM S.A.

## Estructura comunitaria y diversidad de peces en el río Uruguay

Monitoreo en la zona receptora de efluentes de la planta de pasta de  
celulosa UPM S.A.

Abril, 2019

Informe realizado en el marco de la asesoría técnica para el monitoreo de la comunidad de peces en las zonas de Nuevo Berlín, Fray Bentos y Las Cañas (Departamento de Río Negro, Uruguay) a pedido de UPM S.A.

El presente informe refleja la opinión de los autores y no es de carácter institucional.

Páginas: 53

Figuras: 11

Tablas: 4

Apéndices: 4

Imagen de tapa: Ejemplar de *A. pantaneiro* junto con su contenido estomacal (*Cyphocharax platanus*), abril, 2019.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>METODOLOGÍA</b> .....	9
DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA Y EFLUENTES .....	9
PERÍODOS Y ÁREA DE ESTUDIO .....	11
TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS .....	12
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	15
PERÍODO 2005-2019 .....	15
PERÍODO ABRIL 2019 .....	20
CONDICIÓN DE LA ESPECIE CENTINELA .....	29
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	33
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	37
<b>APÉNDICES</b> .....	41

## RESUMEN

En el presente documento se analiza la información generada en los monitoreos de la estructura comunitaria y diversidad específica de peces que forman parte del monitoreo ambiental que UPM S.A. lleva a cabo anualmente y de manera ininterrumpida desde el año 2007. Estos estudios se desarrollan en las mismas áreas y usando similar metodología a los estudios de línea de base realizados entre los años 2005-2007, también a cargo de la empresa UPM S.A. y anterior a la puesta en funcionamiento de la planta. La planta de UPM S.A. que se localiza en Fray Bentos inició su producción a comienzos de noviembre del año 2007 y ha estado en operación desde entonces. Este programa se enfoca en la estructura de la comunidad íctica en las zonas litoral y media del río Uruguay, considerando un área de referencia (Nuevo Berlín- ubicado aguas arriba del sitio de descarga), un área receptora inmediata del efluente de UPM S.A. (Fray Bentos- localizada inmediatamente aguas abajo de la descarga de efluentes) y un área receptora lejana (Las Cañas- localizada aproximadamente 15 km aguas abajo de la zona de descarga). Además, se estudia la condición general de una especie seleccionada como centinela (bagre trompudo: *Iheringichthys labrosus*) comparando el Factor de Condición (FC), el Índice Gonadosomático (IGS) y el Índice Hepatosomático (IHS) entre la zona de referencia y las zonas receptoras del efluente y entre estaciones climáticas (otoño vs. primavera). Esta aproximación metodológica permite estudiar el potencial efecto de los efluentes de la planta sobre la comunidad de peces, comparando parámetros descriptivos de la estructura comunitaria antes y después de la puesta en marcha de la misma, y también entre la zona referencia y las zonas receptoras del efluente. La metodología aplicada se denomina BACI (por sus siglas en inglés “*Before After Control Impact*”) y es una de las aproximaciones más adecuadas y utilizadas para monitoreos de impacto ambiental a nivel mundial. El presente informe corresponde al muestreo de otoño del año 2019 que se llevó a cabo en dos semanas consecutivas del mes de abril. Los principales resultados testeados en este informe sugieren que no existe una disminución en el número de especies, biomasa o abundancia de peces en la zona receptora inmediata de efluentes con respecto a la zona de referencia luego de la puesta en marcha de UPM S.A (monitoreando la comunidad de peces desde la puesta en marcha de la planta hasta el presente). En el presente muestreo (comparando únicamente los valores obtenidos en abril 2019), ninguno de los tres parámetros de estructura comunitaria (riqueza, abundancia o biomasa) presentaron diferencias significativas entre los sitios de estudio.

Analizando los datos obtenidos a lo largo de los estudios de línea de base y monitoreos ambientales previos (2005- diciembre 2018), los cambios ocurridos en parámetros de la estructura comunitaria estudiados han seguido las mismas tendencias en las tres zonas, no mostrando diferencias significativas. Los resultados que se obtuvieron en este estudio sugieren que no existiría un impacto apreciable en la diversidad, abundancia y biomasa de la comunidad de peces en las zonas que reciben efluentes provenientes de la planta de UPM S.A., en Fray Bentos. Los indicadores de condición de la especie centinela seleccionada, *I. labrosus* que mostraron diferencias entre los sitios fueron el IGS y el IHS. En el caso de las comparaciones estacionales, observamos que el IGS es el único indicador que mostró diferencias, siendo mayor en los muestreos de primavera. Los programas de biomonitoreo se realizan con el fin de evaluar periódicamente potenciales efectos nocivos y en caso de ser percibidos plantear estrategias para mitigarlos, informando sobre posibles efectos adversos e impactos para el ecosistema y la salud humana. En este sentido, el presente programa cumple con esa demanda desde su inicio con los estudios de línea de base en abril de 2005, proveyendo información esencial para el diagnóstico ambiental del río Uruguay bajo en la zona de estudio. La continuidad de este monitoreo y la obtención de nuevos datos posibilitará seguir completando vacío de información y por tanto un estudio más detallado para evaluar cuáles son los factores ambientales que naturalmente ocasionan variaciones en la composición de la comunidad de peces en esta zona del río Uruguay.

**Rocha**

Ruta 9 y ruta 15  
Tel.: 4472 70 01  
[secretaria@cure.edu.uy](mailto:secretaria@cure.edu.uy)

**Maldonado**

Tacuarembó entre Av. Artigas y Aparicio Saravia.  
Tel.: 42255326/ 4223 6595/ 42246723  
[secretaria-maldonado@cure.edu.uy](mailto:secretaria-maldonado@cure.edu.uy)

**Treinta y Tres**

Simón del Pino 1132  
Tel.: 4453 0657  
[bedelia-33@cure.edu.uy](mailto:bedelia-33@cure.edu.uy)

## INTRODUCCIÓN

La planta de pasta de celulosa UPM S.A. localizada en Fray Bentos inició su producción a principios de Noviembre de 2007 y ha estado en operación desde entonces. El actual estudio sobre estructura comunitaria y diversidad específica de peces forma parte del monitoreo ambiental que UPM S.A. lleva a cabo anualmente y de manera ininterrumpida desde el año 2007. El presente programa y protocolo de monitoreo estandarizado ha sido aprobado por la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) y se realiza en tres zonas del río Uruguay bajo: Nuevo Berlín, sitio considerado como zona de referencia, ya que está ubicado aproximadamente 24 Km aguas arriba del sitio de descarga de los efluentes de la planta de UPM S.A.; Fray Bentos, catalogada como zona receptora inmediata, por estar localizado inmediatamente aguas abajo de la zona de descarga de efluentes; y Las Cañas, tomándose como zona receptora lejana, localizada aproximadamente 15 Km aguas abajo de la descarga de efluentes. Este programa de monitoreo se lleva a cabo en las mismas áreas y usando similar metodología a los estudios de línea de base realizados entre los años 2005-2007, también a cargo de la empresa UPM S.A. y anterior a la puesta en funcionamiento de la planta (Tana, 2007). Esta aproximación metodológica permite estudiar el potencial efecto de los efluentes de la planta sobre la comunidad de peces, comparando parámetros descriptivos de la estructura comunitaria antes y después de la puesta en marcha de la misma, y también entre la zona referencia y las zonas receptoras del efluente. Esta metodología se denomina BACI (por sus siglas en inglés “*Before After Control Impact*”) y es una de las aproximaciones más adecuadas y utilizadas para monitoreos de impacto ambiental a nivel mundial (Underwood, 1991).

Los estudios previos a la puesta en funcionamiento de la planta de UPM S.A. han revelado que la estructura comunitaria y diversidad de peces son relativamente similares entre las tres áreas, aunque existe, en promedio, un menor número de especies de peces en la zona receptora lejana, i.e. Las Cañas (Tana, 2007). Durante los estudios de línea de base también se ha constatado la alta variabilidad temporal natural en la estructura de la comunidad de peces, pero siempre existiendo gran similitud en la composición específica (en cuanto a las especies dominantes) entre los tres sitios de muestreo (Tana, 2007). Durante los monitoreos posteriores a los estudios de línea de base, realizados a partir de Diciembre de 2007, se ha observado también la existencia de una gran variabilidad temporal en la estructura comunitaria de los peces, aunque

sin existir grandes diferencias en la abundancia, biomasa y diversidad específica total entre la zona de referencia y las dos zonas receptoras de efluentes. Estos resultados indicarían que la variabilidad en la comunidad de peces podría estar influenciada por factores ambientales independientes de las actividades de la planta de UPM S.A. No se han constatado diferencias sistemáticas en la condición de los individuos de la especie indicadora entre las tres zonas (e.g., factor de condición e índices hepato- y gonado-somático) (Tana, 2007, 2014, López-Rodríguez *et al.*, 2018b). En conjunto los trabajos previos de monitoreo no han indicado impactos de los efluentes sobre la estructura de la comunidad y diversidad de peces ya que no se han encontrado diferencias entre las zonas receptoras de efluentes (Fray Bentos y Las Cañas) y la zona referencia o control (Nuevo Berlín) (Tana, 2014, López-Rodríguez *et al.*, 2018b y referencias allí presentes).

Estos estudios de monitoreo, tanto los de línea de base, como los posteriores a la puesta en marcha de la planta, han sido diseñados de acuerdo a las regulaciones gubernamentales del “Canadian EEM” (por sus siglas en inglés: "*Environmental Effects Monitoring*") en Canadá. Este programa se basa en la experiencia de estudios científicos de muchos años de monitoreo de impacto de efluentes de plantas de celulosa (información disponible en: <http://laws-lois.justice.gc.ca>). De acuerdo a este programa, se deben monitorear a nivel poblacional indicadores de reproducción, condición y supervivencia de peces expuestos a efluentes comparándolos con peces de zonas de referencia donde el efluente no está presente, en este caso el área de Nuevo Berlín. Cambios en estos indicadores pueden ocurrir con anterioridad a la extinción local de una especie, aunque los cambios observados a nivel comunitario no siempre se correspondan con estos indicadores (EEM, 2010). En el período previo a la puesta en marcha de la planta es muy importante generar información de línea de base para ser utilizada como referencia en futuros monitoreos. Idealmente se sugiere enfocarse en dos especies locales y de movimiento restringido, utilizándose como “especies modelo” sobre las cuales monitorear indicadores de reproducción y condición general, comparando zonas de referencia con zonas expuestas, y también antes y después de la presencia de efluente en una misma zona siguiendo la antes mencionada metodología BACI (Underwood, 1991; EEM, 2010). Los estudios de línea de base, así como los estudios previos, han sugerido que la mejor especie “modelo” a utilizar en el sistema del río Uruguay es el bagre trompudo, *Iheringichthys labrosus*, debido a su alta frecuencia de ocurrencia en los tres sitios de muestreo y abundancia

en todos los muestreos, así como gran representación de diversas clases de talla, a su probable carácter local y a que posee hábitos alimenticios bentívoros. Además existen diferencias alimenticias y fisiológicas entre estas tres áreas (Masdeu *et al.*, 2011; D'Anatro *et al.*, 2013, respectivamente), que confirmaría el carácter local de la especie al menos en determinados períodos. Sin embargo, no existen estudios detallados sobre migraciones entre las tres áreas de estudio (véase como excepción Calvelo *et al.*, 2013). No obstante, sí existe evidencia de migraciones locales (i.e. de corta distancia) de esta especie con fines reproductivos desde el río Paraná hacia pequeños arroyos afluentes (Vazzoler, 1996; Holzbach *et al.*, 2009), lo que podría apoyar la posible migración entre las tres zonas de estudio.

En las diferentes áreas donde se llevó a cabo el estudio, los ambientes del río Uruguay se pueden dividir a gran escala entre: i) la zona litoral, entre 1.5-2 m de profundidad y localizada en la zona costera (<100 m), ii) la zona media, con profundidad de 2-5 m extendiéndose hasta aproximadamente 500 m de la línea costera, y finalmente iii) la zona profunda en el canal principal, con profundidades mayores a 8 m. Esta zonación ha sido también utilizada previamente en estudios de plancton y fauna bentónica (CELA, 2006).

El presente informe se enfoca en el monitoreo de la estructura de la comunidad de peces en las zonas litoral y media del río Uruguay bajo, considerando un área de referencia (Nuevo Berlín) y dos áreas receptoras de efluente de UPM S.A. (Fray Bentos y Las Cañas), llevado a cabo en dos semanas consecutivas en el mes de abril de 2019 (período comprendido entre los días 5 al 7 y 12 al 14 de abril). Este monitoreo se realiza en forma conjunta y complementaria al monitoreo de calidad de agua y de exposición de moluscos y peces a contaminantes, realizado en los mismos sitios y durante los mismos períodos a cargo de UPM S.A. (e.g. Tana, 2014; López-Rodríguez *et al.*, 2019 en preparación).

## METODOLOGÍA

### DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA Y EFLUENTES

#### *La planta*

La planta de celulosa de UPM S.A. está ubicada 5 km aguas arriba de la ciudad de Fray Bentos y posee una capacidad de producción anual de 1,3 millones de toneladas de pulpa de celulosa kraft blanqueada de *Eucaliptus spp.* La planta aplica las mejores técnicas disponibles (denominada planta “BAT”, por sus siglas en inglés: “Best Available Techniques”) como ha sido presentado en el reporte preparado por la comisión europea (Anon, 2001). Los troncos son descortezados en las plantaciones al cosecharlos y son chipeados en la planta. El proceso de cocción aplica la tecnología Lo-Solids®, en un digestor continuo de 3200 m<sup>3</sup>. El proceso de deslignificación continúa por medio de un tratamiento en dos etapas con oxígeno. Posteriormente, la pulpa es blanqueada usando una secuencia ECF “light” (A/D EOP D P) en la cual los principales agentes blanqueadores usados son el dióxido de cloro, hidróxido de sodio (y/o licor blanco oxidado), ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno. Este proceso ha sido diseñado para obtener un producto final con blancura de 89-92% ISO. La pulpa se seca en dos líneas paralelas iguales y luego de embalada es transportada por vía fluvial hasta el puerto de Nueva Palmira, c.a. 100 Km aguas abajo en el río Uruguay, desde donde es exportada a papeleras en otros continentes.

La línea de recuperación consiste en una planta de evaporación de siete efectos con unidades evaporadoras de película descendente, una caldera de recuperación de 4.450 toneladas de sólidos secos por día, y una línea recaustificadora para producir el licor blanco usado en la cocción de los chips de madera. Los gases olorosos generados se recolectan y se queman en la caldera de recuperación; dos calderas de respaldo están instaladas para quemar esos gases en el caso de ocurrir perturbaciones en la operativa normal.

El agua bruta es tomada del río Uruguay a una tasa promedio de 900 L/s y se trata para su uso en el proceso de forma similar a una planta de tratamiento de agua convencional. El efluente es vertido al río por medio de un difusor de 200 m, a una tasa promedio de 700 L/s. La planta de tratamiento del efluente consiste en un tratamiento primario (sedimentación) seguido de un tratamiento de lodos activados (tratamiento biológico). Luego del tratamiento primario, el

efluente se dirige a un sistema de piletas de seguridad y ecualización, con un volumen de 75.000 m<sup>3</sup>, diseñado y operado para la prevención de anomalías en la calidad del efluente que se envía al tratamiento biológico. El sistema de lodos activados posee un volumen de 150.000 m<sup>3</sup>, en dos líneas, con un tiempo de residencia hidráulica de aproximadamente 48 horas. El promedio anual de flujo del efluente en el 2019 previo al monitoreo fue de 17,5 m<sup>3</sup>/ADT (tonelada de pulpa seca, ADT por sus siglas en inglés: “Air-Dried Ton of pulp”). Durante el presente período de estudio en abril de 2019 (datos entre 5/04/2019 al 7/04/2019 y entre 12/04/2019 al 14/04/2019) el flujo diario fue de 16,8 m<sup>3</sup>/ADT.

### **Calidad del efluente**

Las características físico-químicas del efluente tratado durante el presente período de estudio se presentan en la Tabla 1. La tabla describe los valores promedios para el primer cuatrimestre del 2019 (enero-abril), así como para el último período de muestreo (5 al 7 y 12 al 14 de abril de 2019). En la tabla se incluyen los valores límites rangos aceptados en las tecnologías BAT de acuerdo a la comisión europea (Anon, 2001). Tanto durante el presente período de monitoreo (abril 2019), como durante el período enero-abril 2019 (hasta la fecha del muestreo), los valores descargados al río nunca excedieron los valores permitidos por la normativa vigente.

**Tabla 1.** Características del efluente descargado de la planta de UPM S.A. en Fray Bentos. La tabla incluye valores promedios de descarga expresados en kilogramos por cada tonelada seca de pulpa producida (kg/ADT) para enero-abril de 2019, así como durante el período de muestreo (5 al 7 y 12 al 14 de abril de 2019) y los valores BAT, calculados en base anual.

<b>Kg / ADT</b>	<b>COD (Kg/ADT)*</b>	<b>BOD<sub>5</sub> (Kg/ADT)</b>	<b>AOX (Kg/ADT)</b>	<b>N total (Kg/ADT)</b>	<b>P total (Kg/ADT)</b>	<b>SST (Kg/ADT)</b>	<b>Flujo del efluente (m<sup>3</sup>/ADT)</b>
<b>BAT</b>	23	1,5	0,25	0,25	0,030	1,5	50
<b>Rangos BAT#</b>	15	0,70	0,15	0,20	0,02	1,0	-
<b>Promedio enero-abril 2019</b>	3,30	0,150	0,040	0,050	0,018	0,140	17,50
<b>Período de muestreo abril, 2019</b>	3,70	0,150	0,040	0,020	0,018	0,13	16,80

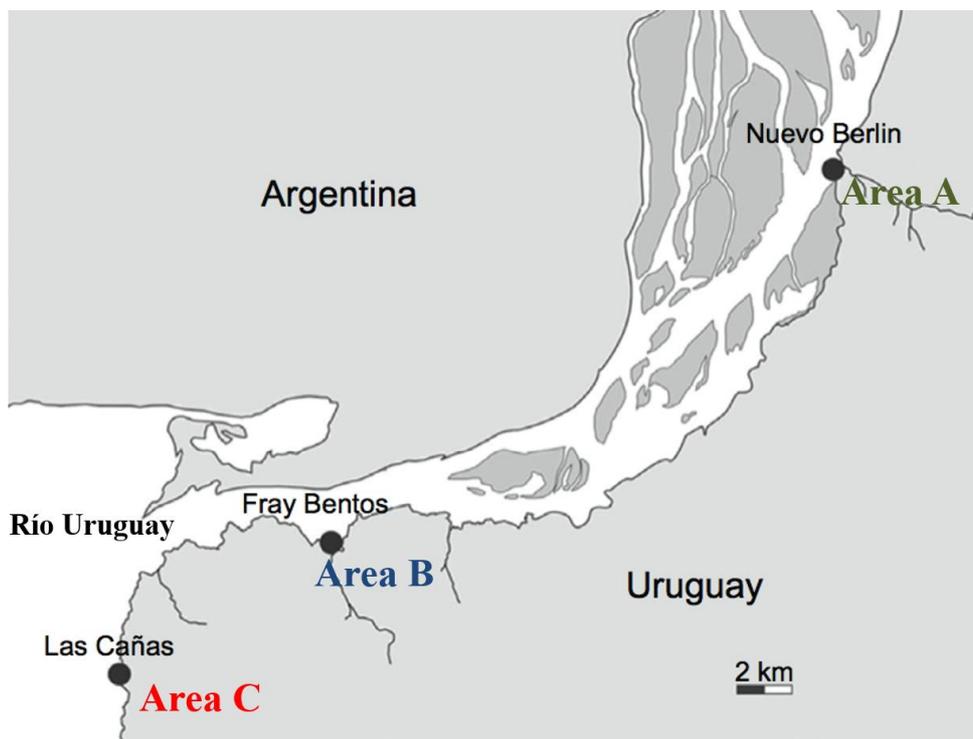
\*ADT = Tonelada de pulpa seca (ADT por sus siglas en inglés: “Air Dried Ton of pulp”)

# Los rangos son a escala anual

## PERÍODO Y ÁREAS DE ESTUDIO

La comunidad de peces fue estudiada en el período comprendido entre los días 5 al 7 y 12 al 14 de abril, en los mismos sitios analizados durante los estudios de línea de base y monitoreos previos. Los sitios de muestreo fueron situados en el área referencia de Nuevo Berlín (área A; 32°58'42"S, 58°04'02"O), en la zona receptora cercana del efluente, en Fray Bentos (área B; 33°04'41"S, 58°16'15"O) y en la zona receptora lejana en Las Cañas (área C; 39°09'41"S, 58°22'11"O) (Fig. 1).

En estas mismas áreas, un equipo de trabajo del Laboratorio Tecnológico del Uruguay toma muestras regularmente para el estudio de calidad de agua, plancton y fauna bentónica de acuerdo con el mismo plan de monitoreo (LATU, 2014). Los estudios de exposición a contaminantes en músculo y bilis de peces así como en *Limnoperna fortunei* con diferente exposición al efluente también fueron realizados simultáneamente en dichas áreas y serán reportados en el informe de exposición de abril 2019 (López-Rodríguez *et al.*, 2019 *en preparación*).



**Figura 1.** Áreas de monitoreo de la comunidad de peces. Área A: Nuevo Berlín como área de referencia. Área B: Fray Bentos, bahía del Arroyo Yaguareté como área receptora cercana al efluente de UPM S.A. Área C: Las Cañas como área receptora lejana del efluente de la planta de UPM S.A. Figura modificada de D'Anatro *et al.* (2013).

Para el muestreo de peces se utilizaron redes Nórdicas estándar de 30 m de largo y 1,5 m de altura, las cuales consisten de 12 paños de 2,5 m de largo cada uno, de tamaños diferentes de malla, con distancia entrenudo de: 5,0; 6,25; 8,0; 10; 12,5; 15,5; 19,5; 24; 29; 35; 43 y 55 mm respectivamente. Las redes se calaron a las 20:00 hs aproximadamente y fueron levantadas a las 8:00 hs. En cada área se utilizaron ocho redes, calándose cuatro sets, cada uno consiste de dos redes unidas en serie, de los cuales se sitúan dos en la zona litoral (dos réplicas) y dos en la zona media o pelágica (dos réplicas). La distancia entre las dos réplicas fue de aproximadamente 300 m y la distancia entre redes de la zona litoral y media fue de aproximadamente 500 m. El muestreo se desarrolló en la zona A, luego en la zona B y por último en la zona C, de idéntica forma y repetido con una semana de diferencia en un mismo sitio. En total 16 redes fueron caladas en cada sitio, 8 en la zona litoral y 8 en la zona media. Los peces fueron identificados al mínimo nivel taxonómico posible (nivel de especie en la mayoría de los casos) y separados en clases de tamaño cada ca. 1,0 o 0,5 cm de diferencia (según el tamaño y especie), medidos (largo estándar, milímetros) y pesados (masa total, gramos), siguiendo el mismo procedimiento realizado desde el inicio de los estudios de línea de base (e.g. Tana, 2007; López-Rodríguez *et al.* 2018a).

El bagre trompudo *Iheringichthys labrosus* (Siluriformes, Pimelodidae) fue utilizada como especie indicadora para el estudio de la condición general de los peces entre la zona referencia y las zona receptora del efluente. Como indicadores se utilizaron el Factor de Condición (FC), el Índice Gonadosomático (IGS) y el Índice Hepatosomático (IHS) de una sub-muestra de esta especie, utilizando individuos adultos (>13 cm de longitud estándar) incluidos en una o más réplicas dependiendo de la abundancia de la especie.

## TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.

### **Período 2005- 2019**

Para comparar la biomasa y abundancia de peces capturada por unidad de esfuerzo entre el período de línea de base y los períodos de monitoreo posteriores a la puesta en marcha de UPM S.A. entre los sitios receptores y el de referencia, se utilizó un test de ANOVA factorial de 2 vías ( $\alpha = 0,05$ ). Estos tests permiten seguir la metodología BACI comparando parámetros antes y después de la puesta en marcha de la planta y entre la zona de referencia y aquellas

potencialmente impactadas. Como situación de línea de base se utilizan los muestreos de comunidad de peces desde 2005 a abril de 2007 y, como situación posterior a la instalación de la planta de UPM S.A. los muestreos de comunidad de peces entre noviembre 2007 y abril 2019. Cabe destacar que durante los muestreos de línea de base del año 2005 y el muestreo de abril de 2006 no se separaron las capturas de peces en dos réplicas litorales y dos pelágicas por sitio, como sí se hizo posteriormente. Por este motivo, los datos de estos muestreos se presentan como un sólo valor promedio de Captura de peces Por Unidad de Esfuerzo (CPUE) por cada muestreo.

### ***Período abril 2019***

#### *Comparación de capturas entre hábitats*

Para comparar estadísticamente las variaciones en la riqueza específica, biomasa y abundancia capturadas por unidad de esfuerzo entre el hábitat litoral y la zona media de cada sitio, cada set de redes (cada set consiste de dos redes unidas en serie) fue tratado como réplica, sin considerar las posibles diferencias entre los días de muestreo (4 réplicas litorales vs. 4 réplicas en la zona media). Estas diferencias fueron analizadas mediante un test ANOVA ( $\alpha = 0,05$ ) y Tukey *post hoc* siempre que se cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, de lo contrario se utilizaron las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney *post hoc*. La potencial diferencia en las capturas entre los dos muestreos ha sido testeada de manera similar, agrupando zona litoral y zona media en cada sitio y tratando cada set de redes dispuesto en un mismo día de muestreo como una réplica ( $n = 4$  réplicas en la primer semana vs.  $n = 4$  réplicas en la segunda semana).

#### *Comparación de capturas entre sitios*

Para comparar la riqueza específica, biomasa y abundancia de peces entre la zona referencia y las zonas receptoras del efluente se estandarizaron las capturas de acuerdo a una misma unidad de esfuerzo, fijada en una red en el caso de biomasa y abundancia, y en un set de redes en el caso de la diversidad específica. Esta estandarización se lleva a cabo debido a que en ocasiones las redes sufren daños o roturas de magnitud y no pueden ser consideradas para los análisis. Luego de la estandarización, los valores comparados corresponden al número medio de especies, abundancia y biomasa capturadas dada una misma unidad de esfuerzo (CPUE). En

cada zona, cada set de redes dispuesto fue utilizado como una réplica indistintamente del día de muestreo o el hábitat, de modo de obtener parámetros de captura que integren la variabilidad en el espacio (zona media y litoral) y tiempo (dos muestreos con una semana de diferencia,  $n = 8$  réplicas en cada sitio). Las diferencias en estos parámetros de captura fueron analizadas mediante test ANOVA, seguido de pruebas de Tukey a posteriori en caso de encontrar diferencias significativas ( $\alpha = 0,05$ ). En el caso de incumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad, se utilizaron los tests de Kruskal-Wallis, seguido del test de Mann-Whitney ( $\alpha = 0,05$ ).

### *Comparación de la condición general de la especie indicadora*

La variabilidad en la condición de los peces entre áreas también puede ser determinada estudiando índices indicadores de estado y salud de los individuos, como por ejemplo, la variabilidad en la relación del peso de los peces con el peso de su hígado y de las gónadas respecto a su tamaño corporal. En este caso el Factor de Condición de Fulton [FC =  $100 \times (\text{peso corporal}/(\text{largo estándar})^3)$ ] describe que tan “gordos” o “delgados” están los peces en cada área, (Froese, 2006) y los Índices Hepato-Somático [IHS =  $100 \times (\text{peso del hígado}/\text{peso corporal})$ ] y Gonado-Somático [IGS =  $100 \times (\text{peso de las gónadas}/\text{peso corporal})$ ] en relación al tamaño corporal, pueden dar indicaciones de posibles alteraciones en la reproducción y el metabolismo en general de los animales (Wootton, 1991).

Para el cálculo de los indicadores se consideraron únicamente las hembras de *Iheringichthys labrosus* mayores a 13 cm de largo estándar (criterio basado en observaciones personales del grupo de trabajo sobre tamaño de primera madurez de esta especie en esta zona del río Uruguay y a bibliografía que define el tamaño de la madurez  $>11.5\text{cm}$  (de Santa *et al.* 2016)). Al utilizar 13 cm como límite inferior nos aseguramos que todos los individuos analizados alcanzaron la madurez sexual, lo que asegura la comparabilidad de los resultados entre sitios.

Las comparaciones de FC, IHS e IGS entre las tres áreas y entre estaciones se realizaron mediante tests de ANOVA (para los datos que se ajustaron a distribución normal y homogeneidad de varianza), seguido del test de Tukey en caso de encontrar diferencias significativas. Cuando los datos no cumplieron con los supuestos, se utilizó el test Kruskal-Wallis, seguido del test de Mann-Whitney en caso de encontrar diferencias significativas.

Por otra parte, se realizaron regresiones largo-peso de los individuos de la especie indicadora para cada uno de los sitios de muestreo en cada año y en cada estación (primavera vs. otoño). Los parámetros de la ecuación de crecimiento:  $WT=aSL^b$  (Ricker, 1973), se calcularon mediante regresiones lineales, previa transformación logarítmica de las variables, donde  $WT$ = Peso total;  $a$ = intercepto,  $SL$ = Largo estándar y  $b$ = pendiente de la recta. El valor  $b$  fue el parámetro utilizado para comparar entre sitios y estaciones, mediante test de ANOVA en caso de cumplir los supuestos, y test de Kruskal-Wallis en caso de heterogeneidad de varianza.

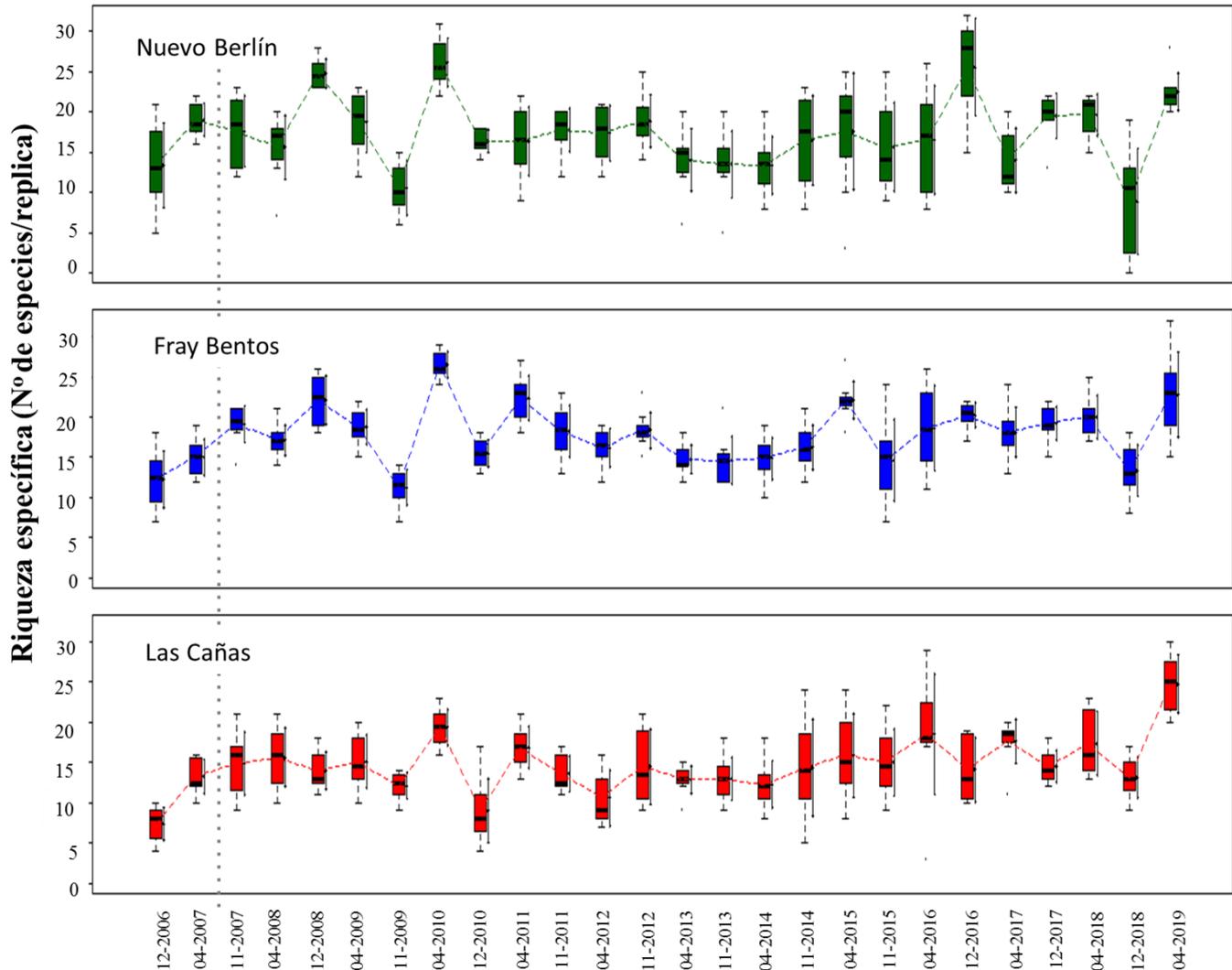
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Período 2005- abril 2019*

El número de especies colectadas ha sido altamente variable entre años a lo largo de todo el período de muestreo, oscilando entre 0 y 32 especies colectadas en promedio por set de redes. La variación temporal en la riqueza aparenta ser consistente entre las tres áreas, observándose picos mínimos de riqueza durante los muestreos de diciembre de 2010 y diciembre de 2018 en las tres zonas. En el caso de diciembre de 2018, el pico mínimo se observó en Nuevo Berlín con 0 especie, debido a que una de las réplicas no capturó ningún individuo, sin embargo en los tres sitios la riqueza fue baja durante ese muestreo. Por otra parte, la mayor riqueza específica de todo el período fue capturada durante el muestreo de diciembre de 2016 en Nuevo Berlín, con 32 especies en una misma réplica, no coincidiendo con aumentos de riqueza en Fray Bentos o Las Cañas en ese período (Fig. 2). Asimismo, en el presente período se observó un pico de 32 especies en una réplica en Fray Bentos, acompañado de altos valores de riqueza también en los otros dos sitios.

La riqueza por unidad de esfuerzo en el período post-UPM fue mayor que la encontrada en el período de línea de base (ANOVA,  $F_{(1,619)} = 5,42$ ;  $p = 0,02$ ), lo que podría deberse a que en el período posterior a la instalación de la planta, existe mayor número de eventos de muestreo, aumentando la probabilidad de capturar de forma continua un mayor número de especies (Fig. 2, Apéndice 1). El análisis estadístico reveló que la riqueza específica también difiere entre los sitios de muestreo, siendo siempre significativamente menor en Las Cañas (ANOVA,  $F_{(1,619)} = 24,22$ ;  $p < 0,001$ ; *post hoc* Tukey HSD) (Fig. 2, Apéndice 1). Cabe destacar que estas

diferencias entre los tres sitios, ya fueron encontradas en los estudios de línea de base (Tana, 2007), y no han cambiado luego de la puesta en marcha de la planta de UPM S.A.



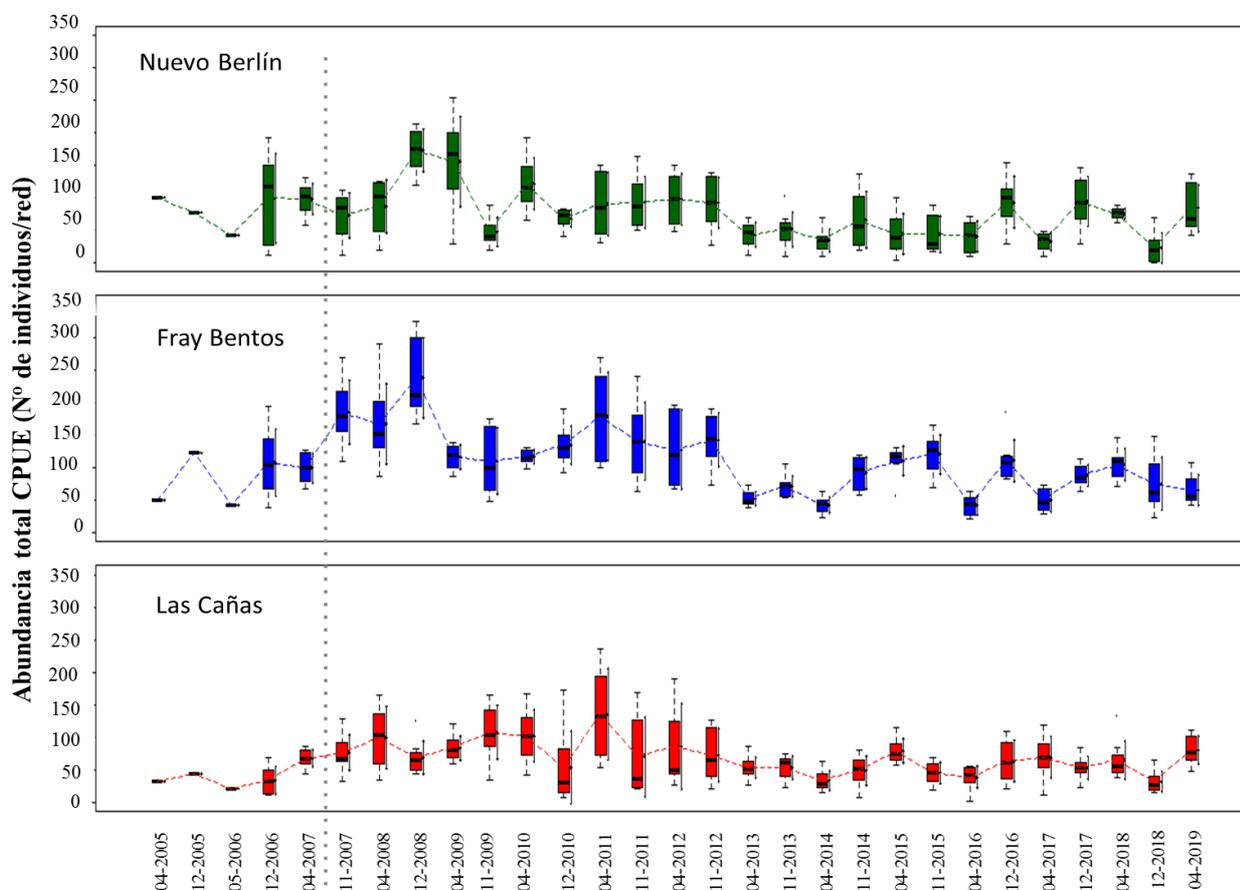
**Figura 2.** Evolución de la riqueza específica de peces colectada por unidad de esfuerzo desde los estudios de línea de base (abril de 2005) hasta el presente período (abril de 2019) en los tres sitios muestreados, integrando la variabilidad espacial y temporal de cada muestreo ( $n = 8$  por sitio por muestreo). En verde: área referencia de Nuevo Berlín; en azul: área receptora inmediata de Fray Bentos; en rojo: área receptora lejana de Las Cañas. La fecha de puesta en funcionamiento de la planta de UPM S.A. está indicada con línea punteada (noviembre 2007). Las líneas de los boxplots indican la mediana de los datos, la parte inferior de la caja indica el percentil 25 y la parte superior el percentil 75 y las líneas verticales de las cajas indican los valores máximos y mínimos encontrados para cada fecha de muestreo. Las líneas verticales a la izquierda de los boxplots indican la media y el desvío estándar.

La CPUE en términos de abundancia total no mostró variaciones estadísticamente significativas durante el período post-UPM en comparación con el período pre-UPM (línea de base) (ANOVA,  $F_{(1,619)} = 0,2$ ;  $p = 0,66$ ; Fig. 3; Apéndice 1). La menor abundancia total (CPUE) fue obtenida en el muestreo de diciembre de 2018 en la localidad de Nuevo Berlín, siendo en Las Cañas (diciembre 2018) el segundo valor más bajo de todo el período de muestreo (Fig. 3). Comparando las abundancias en todo el período post-UPM entre los sitios, se observa que la CPUE abundancia total fue mayor en Fray Bentos que en los otros dos sitios (ANOVA,  $F_{(1,619)} = 40,69$ ;  $p = 2 \times 10^{-16}$ ), diferencias entre sitios: test *post hoc* Tukey). Sin embargo, en el período pre-UPM las abundancias en Nuevo Berlín y Fray Bentos eran aparentemente similares, y diferentes entre Nuevo Berlín y Las Cañas (siendo mayor en Nuevo Berlín). Estas diferencias no pudieron ser analizadas estadísticamente por falta de réplicas, por lo que no se puede establecer la magnitud de las mismas. En el período post-UPM, la abundancia en Fray Bentos es mayor que en Nuevo Berlín y Las Cañas (ANOVA,  $F = 4,27$   $p = 0,01$  en la interacción sitio\*período) (Apéndice 1).

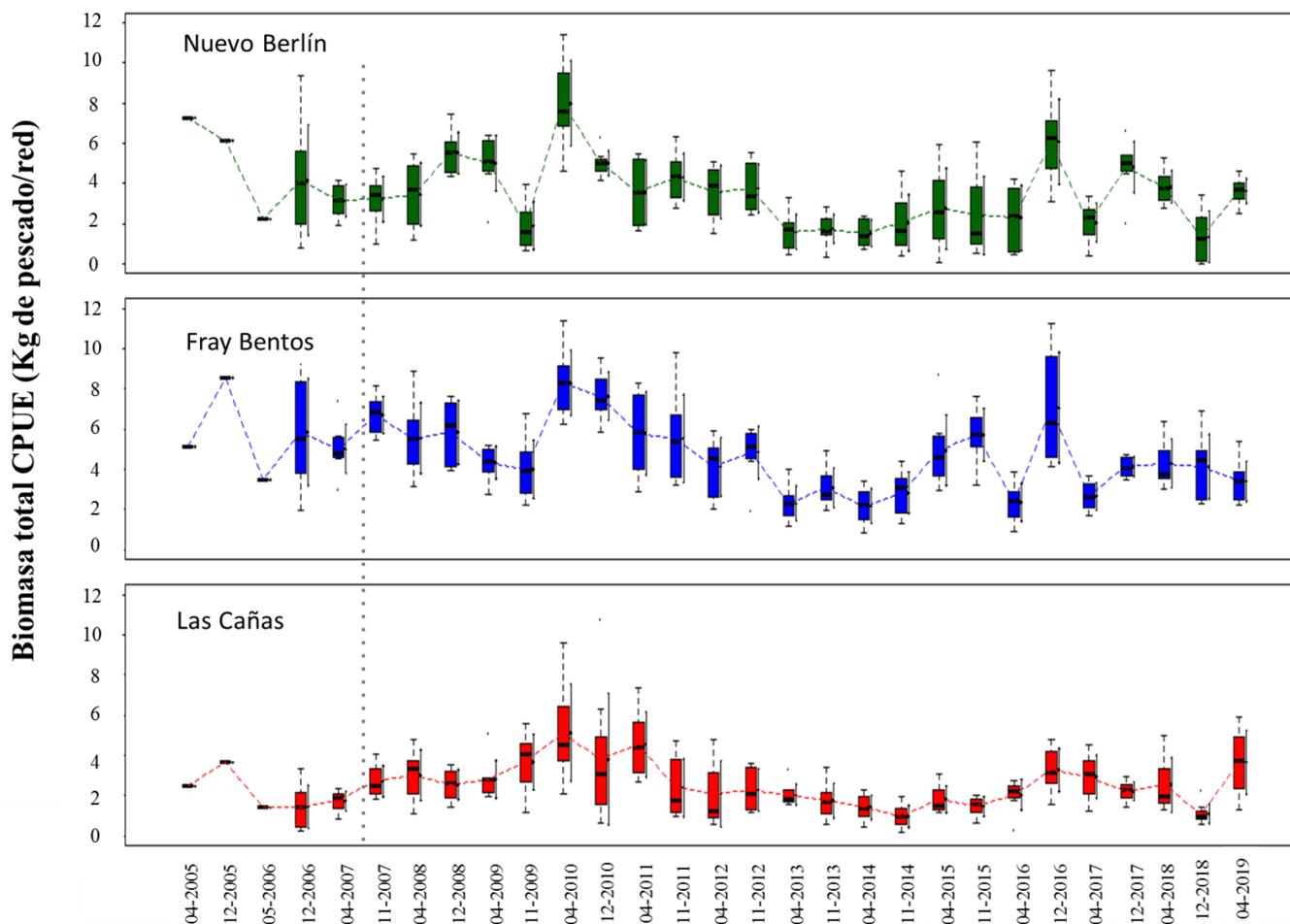
La CPUE en términos de biomasa tampoco mostró diferencias entre el período pre y post-UPM (ANOVA,  $F_{(1,619)} = 0,35$ ;  $p = 0,55$ ) pero sí mostró diferencias entre los tres sitios de estudio ( $F = 67,8$ ;  $p = 2 \times 10^{-16}$ ), repitiéndose el patrón observado en muestreos previos de menor biomasa en las zona de Las Cañas, intermedia en Nuevo Berlín y máxima en Fray Bentos (Test *Post hoc* Tukey Figs. 4 y 5; Apéndice 1) (e.g. López-Rodríguez *et al.*, 2017, 2018a). Sin embargo, en el período pre-UPM la biomasa en Nuevo Berlín no difería de la biomasa en Fray Bentos ( $p > 0,05$ ), como sí sucede en el período post-UPM (ANOVA,  $F = 3,66$ ;  $p = 0,03$ , en la interacción sitio\*período) observándose una biomasa mayor en Fray Bentos que en Nuevo Berlín. Esto podría ser producto del aumento en el número de muestreos en el período post-UPM (muestreos bianuales), aumentando el número de eventos y por tanto la probabilidad de detección estadística de diferencias más sutiles, al igual que fue mencionado para la abundancia.

La consistencia en las oscilaciones temporales de las capturas en términos de riqueza, abundancia y biomasa de peces en los tres sitios, sugiere que esta dinámica puede estar asociada a la variación en algunos parámetros ambientales (e.g. caudal del río), oscilando de forma similar en las tres áreas de estudio. Por ejemplo, las mayores capturas registradas (en términos de biomasa) durante el período de estudio ocurrieron en abril del año 2010, luego de un pico máximo de caudal del río Uruguay registrado en la primavera-verano de 2009 (Fig. 5). De

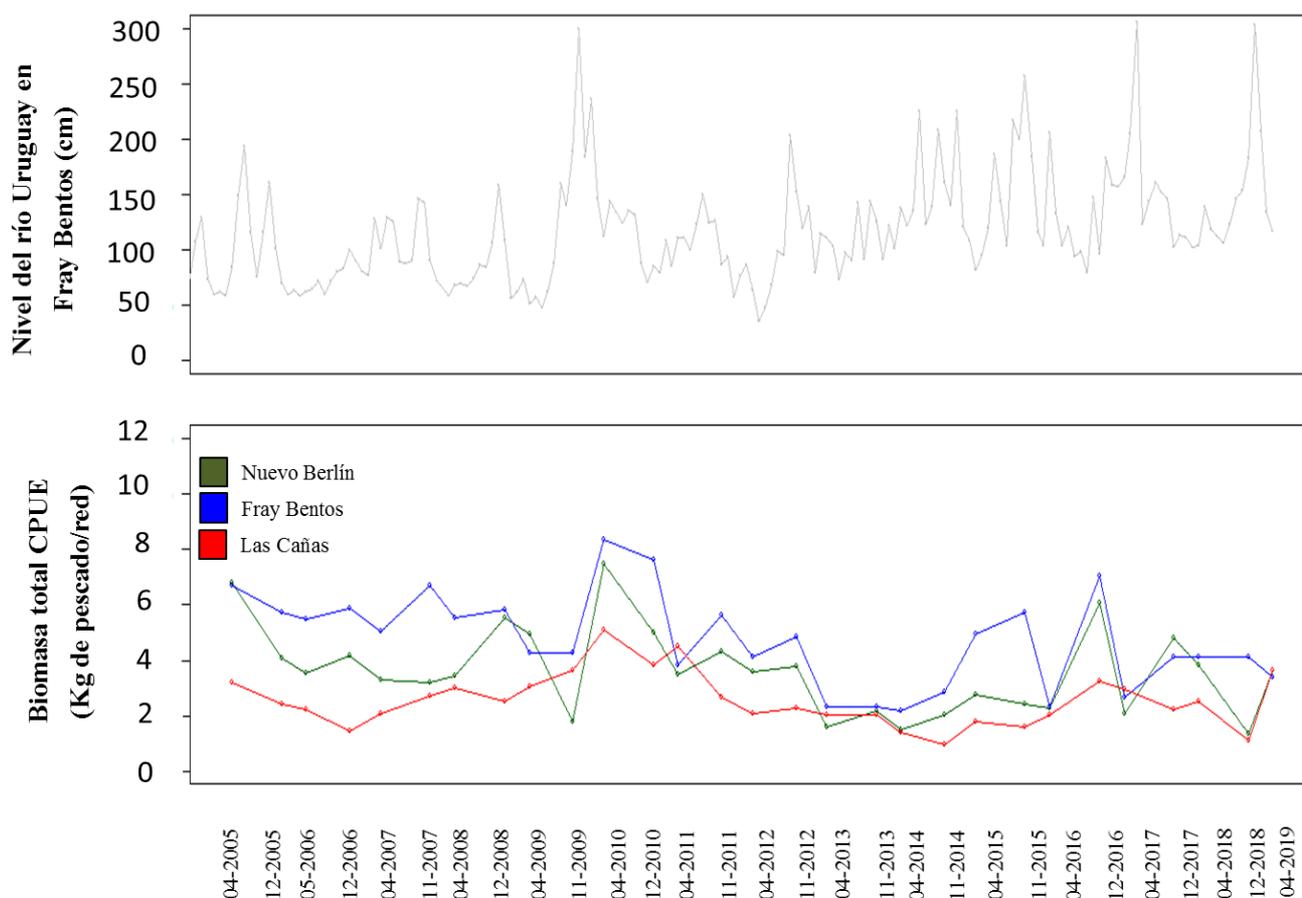
forma similar, luego del aumento del nivel del río ocurrido entre diciembre 2015 y abril 2016, se registró un pico en la biomasa de peces en los tres sitios de estudio (en el muestreo de primavera de 2016, Fig. 5). Relaciones positivas entre el nivel del río y la abundancia de peces en sistemas cercanos como el río Paraná, han sido registradas para varias especies de peces de importancia comercial (e.g. Oldani, 1990; Stassen *et al.*, 2010). De forma similar, la biomasa total y relativa de sábalo (*Prochilodus lineatus*) en el periodo 2005-2018 en nuestros estudios, se correlaciona positivamente con el nivel promedio del río en el año anterior al muestreo (González-Bergonzoni *et al.*, 2019).



**Figura 3.** Evolución de la abundancia de peces colectada por unidad de esfuerzo desde los estudios de línea de base (abril de 2005) hasta el presente período (abril de 2019) en los tres sitios muestreados, integrando la variabilidad espacial y temporal de cada muestreo ( $n = 8$  por sitio por muestreo). En verde: área referencia de Nuevo Berlín; en azul: área receptora inmediata de Fray Bentos; en rojo: área receptora lejana de Las Cañas. La fecha de puesta en funcionamiento de la planta de UPM S.A. está indicada con línea punteada (Noviembre 2007). Las líneas de los boxplots indican la mediana de los datos, la parte inferior de la caja indica el percentil 25 y la parte superior el percentil 75 y las líneas verticales de las cajas indican los valores máximo y mínimo encontrados para cada fecha de muestreo. Las líneas verticales a la izquierda de los boxplots indican la media y el desvío estándar.



**Figura 4.** Evolución de la biomasa de peces colectada por unidad de esfuerzo desde los estudios de línea de base (abril de 2005) hasta el presente período (abril de 2019) en los tres sitios muestreados, integrando la variabilidad espacial y temporal de cada muestreo ( $n = 8$  por sitio por muestreo). En verde: área referencia de Nuevo Berlín; en azul: área receptora inmediata de Fray Bentos; en rojo: área receptora lejana de Las Cañas. La fecha de puesta en funcionamiento de la planta de UPM S.A. está indicada con línea punteada (Noviembre 2007). Las líneas de los boxplots indican la mediana de los datos, la parte inferior de la caja indica el percentil 25 y la parte superior el percentil 75 y las líneas verticales de las cajas indican los valores máximos y mínimos encontrados para cada fecha de muestreo. Las líneas verticales a la izquierda de los boxplots indican la media y el desvío estándar.



**Figura 5.** Variaciones en el nivel del río medido en Fray Bentos, en cm. (arriba) y evolución de la biomasa de peces colectada por unidad de esfuerzo desde los estudios de línea de base (abril de 2005) hasta el presente período (abril de 2019) (abajo). En verde: área referencia de Nuevo Berlín; en azul: área receptora inmediata de Fray Bentos; en rojo: área receptora lejana en Las Cañas.

### *Período abril 2019*

#### ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE PECES

Durante el presente período de monitoreo fueron colectadas un total de 61 especies entre los tres sitios, encontrándose 42 especies en Nuevo Berlín, 45 en Fray Bentos y 49 en Las Cañas (Tabla 2, Apéndice 2). El total de especies colectadas y por sitio aumentó con respecto al muestreo previo de primavera (diciembre 2018) como al de otoño del año anterior (abril de 2018) (López-Rodríguez *et al.*, 2018a,b). El número total y la identidad de las especies colectadas durante este programa de monitoreo se detallan en el Apéndice 2.

En términos de biomasa total colectada (considerando el total de las 16 redes colocadas por sitio entre los dos días de muestreo, en los tres sitios de estudio), *Prochilodus lineatus*, *Salminus brasiliensis*, *Megaleporinus obtusidens* (Boga, previamente denominada como *Leporinus obtusidens*), *Cynopotamus argenteus* y *Galeocharax humeralis* fueron las especies más importantes, siendo las únicas que superaron cada una de ellas los 10,0 Kg capturados en total. Sin embargo, a pesar de estar presentes en todas las estaciones de muestreo, muestran diferentes abundancias y biomasa relativa en cada sitio (Tabla 2). De estas especies, *Prochilodus lineatus* fue la especie que presentó mayor biomasa total (ca. 30,0 Kg, representando el 17% del total colectado; Tabla 2, Figura 6). Cabe destacar que a pesar de ser la especie dominante en términos de biomasa, es la sexta en términos de abundancia, representando únicamente el 4% de la abundancia total capturada en el muestreo (Tabla 2).

Al analizar los sitios por separado, se observa que *Prochilodus lineatus* fue la especie dominante en términos de biomasa en Fray Bentos (ca. 8,0 kg, representando un 14 % de la biomasa total en esa localidad) y en Las Cañas (ca. 16,0 kg, 27% de la biomasa total en ese sitio) (Tabla 2). Por su parte, en Nuevo Berlín existió una dominancia en términos de biomasa de *M. obtusidens* (más de 8,0 kg, representando el 14% de la biomasa total del lugar; Tabla 2). Se destaca en este muestreo la alta biomasa de *Salminus brasiliensis* en los tres sitios, pero en particular en Fray Bentos (más de 6,0 kg, representando un 11% de la biomasa) y en Las Cañas (más de 8,0 kg; 14% de la biomasa total), ocupando la segunda posición en términos de biomasa total en ambos sitios.

En el caso de *I. labrosus*, se destaca que a pesar de no estar dentro de las 5 especies de mayor biomasa, alcanzó valores similares de este parámetro respecto al muestreo de diciembre de 2018 (7,5 kg vs. 7,2 kg en el presente muestreo). Sin embargo, esta especie fue la tercera en términos de abundancia total (representando el 11% de los individuos capturados entre los tres sitios) (Tabla 2, Figura 6).

Durante el presente monitoreo se han observado algunos patrones que tienden a ser estacionales en las capturas y que parecen repetirse con varias especies a lo largo de todo el período de estudio (e.g. Apéndices 3 y 4). En este sentido, observamos que la abundancia y biomasa de *P. valenciennis* mostró un comportamiento similar en muestreos de otoño previos, con disminuciones en abundancia respecto a los muestreos de primavera. Estos cambios en abundancia estacionales han ocurrido básicamente durante todos los monitoreos efectuados

hasta el momento (Apéndice 4). Las fluctuaciones observadas podrían corresponder a migraciones reproductivas y/o alimenticias de esta especie durante primavera.

A lo largo de todos los años de estudio (2005-2019) y en forma general, la abundancia y biomasa de especies piscívoras tales como *Acestrorhynchus pantaneiro* (dientudo paraguayo), aumentan en otoño respecto a los muestreos de primavera (e.g. González-Bergonzoni *et al.*, 2015) (e.g. Apéndice 3 y 4). En este muestreo, parece seguir ese patrón, con aumentos en el número de individuos colectado de esta especie respecto al muestreo de primavera previo (diciembre 2018), representado una biomasa de ca. 7,3 kg vs. 0,4 kg capturados en diciembre 2018. Sin embargo, desde el muestreo de diciembre de 2016 se vienen observando diferencias en la dinámica de las abundancias, no mostrando un patrón claro (Apéndice 3 y 4). Estas dinámicas diferentes en las abundancias de *A. pantaneiro* podrían responder a cambios en las ventanas temporales en las que ocurren las crecidas del río y que afecten la distribución de esta especie.

**Tabla 2.** Resumen de las capturas de peces en el presente período de estudio (abril 2019) en las zonas de Nuevo Berlín, Fray Bentos, Las Cañas y en el total de los tres sitios, listado por especie. Se reporta la abundancia total (“AB total”, en número de individuos), abundancia relativa (“AB rel”, en proporción de la abundancia total), biomasa total (“BM total”, en gramos) y biomasa relativa (“BM rel”, en proporción de la biomasa total). Las especies se encuentran ordenadas de forma decreciente de acuerdo a su importancia en biomasa total colectada en los tres sitios.

Especie	Nuevo Berlín		Fray Bentos		Las Cañas		Totales	
	AB total (AB rel.)	BM total-grs. (BM rel.)						
<i>Prochilodus lineatus</i>	29(0.02)	5447.2(0.09)	32(0.03)	7816.9(0.14)	68(0.05)	16009.3(0.27)	129(0.04)	29273.4(0.17)
<i>Salminus brasiliensis</i>	19(0.01)	3939.1(0.07)	27(0.03)	6075.1(0.11)	40(0.03)	8110.8(0.14)	86(0.02)	18125(0.11)
<i>Megaleporinus obtusidens</i>	40(0.03)	8271.6(0.14)	13(0.01)	3004.2(0.06)	48(0.04)	4336.9(0.07)	101(0.03)	15612.7(0.09)
<i>Cynopotamus argenteus</i>	33(0.02)	4733.8(0.08)	20(0.02)	1445.1(0.03)	47(0.04)	6899.1(0.12)	100(0.03)	13078(0.08)
<i>Galeocharax humeralis</i>	192(0.14)	7989.3(0.14)	60(0.06)	1426.9(0.03)	44(0.03)	1373.9(0.02)	296(0.08)	10790.1(0.06)
<i>Brycon orbignyanus</i>	15(0.01)	1493.8(0.03)	16(0.02)	1212.6(0.02)	59(0.05)	4684.7(0.08)	90(0.02)	7391.1(0.04)
<i>Acestrorhynchus pantaneiro</i>	32(0.02)	2233.9(0.04)	34(0.03)	3603.7(0.07)	27(0.02)	1464.1(0.03)	93(0.03)	7301.7(0.04)
<i>Iheringichthys labrosus</i>	145(0.11)	3007.6(0.05)	139(0.13)	2300.2(0.04)	128(0.1)	1951.2(0.03)	412(0.11)	7259(0.04)
<i>Paraloricaria vetula</i>	16(0.01)	3244.3(0.06)	6(0.006)	2315(0.04)	2(0.002)	20.5(0.0004)	24(0.007)	5579.8(0.03)
<i>Loricariichthys melanocheilus</i>	20(0.01)	840.3(0.01)	47(0.04)	4398.4(0.08)	12(0.009)	201.1(0.003)	79(0.02)	5439.8(0.03)
<i>Astyanax sp.</i>	107(0.08)	711.9(0.01)	180(0.17)	1545.9(0.03)	311(0.24)	2727.1(0.05)	598(0.16)	4984.9(0.03)
<i>Cyphocharax platanus</i>	65(0.05)	2884.4(0.05)	7(0.007)	175.4(0.003)	43(0.03)	1175.3(0.02)	115(0.03)	4235.1(0.02)
<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	10(0.007)	1100.8(0.02)	18(0.02)	1153.7(0.02)	17(0.01)	1456.2(0.02)	45(0.01)	3710.7(0.02)

<i>Serrasalmus maculatus</i>	14(0.01)	331.2(0.006)	21(0.02)	3105.8(0.06)	3(0.002)	48.5(0.0008)	38(0.01)	3485.5(0.02)
<i>Hoplias malabaricus</i>	4(0.003)	2035(0.03)	1(0.001)	831(0.02)	1(0.0009)	308(0.005)	6(0.002)	3174(0.02)
<i>Lycengraulis grossidens</i>	18(0.01)	329.7(0.006)	126(0.12)	2091.9(0.04)	30(0.02)	510.1(0.009)	174(0.05)	2931.7(0.02)
<i>Luciopimelodus pati</i>	1(0.0007)	357(0.006)	6(0.006)	2072(0.04)	1(0.0008)	410(0.007)	8(0.002)	2839(0.02)
<i>Cyphocharax spilotos</i>	22(0.02)	738.3(0.01)	29(0.03)	1259.5(0.02)	29(0.02)	740.3(0.01)	80(0.02)	2738.1(0.02)
<i>Pellona flavipinnis</i>	2(0.001)	604(0.01)	6(0.006)	388.1(0.007)	5(0.004)	1187.4(0.02)	13(0.004)	2179.5(0.01)
<i>Astyanax abramis</i>	47(0.03)	853.9(0.01)	34(0.03)	479.3(0.009)	51(0.04)	675.8(0.01)	132(0.04)	2009(0.01)
<i>Hypostomus commersoni</i>	2(0.001)	430.8(0.007)	2(0.002)	1103(0.02)	3(0.002)	461.1(0.008)	7(0.002)	1994.9(0.01)
<i>Ricola macrops</i>	32(0.02)	1267.1(0.02)	5(0.005)	286.1(0.005)	6(0.005)	101.4(0.002)	43(0.01)	1654.6(0.01)
<i>Ageneiosus militaris</i>	2(0.001)	471.4(0.008)	8(0.008)	989.3(0.02)	4(0.003)	153(0.003)	14(0.004)	1613.7(0.009)
<i>Pimelodus maculatus</i>	18(0.01)	1003.9(0.02)	1(0.001)	396(0.007)	1(0.0008)	4.7(0.00008)	20(0.005)	1404.6(0.008)
<i>Trachelyopterus albicrux</i>	12(0.009)	944.5(0.02)	4(0.004)	190.4(0.004)	15(0.01)	235.4(0.004)	31(0.008)	1370.3(0.008)
<i>Pygocentrus nattereri</i>	1(0.0007)	124.9(0.002)	12(0.01)	1227.5(0.02)	1(0.0008)	11.5(0.0002)	14(0.004)	1363.9(0.008)
<i>Pimelodella gracilis</i>	289(0.21)	909.1(0.02)	49(0.05)	84.7(0.002)	121(0.09)	232.1(0.004)	459(0.12)	1225.9(0.007)
<i>Schizodon platae</i>	(0)	(0)	5(0.005)	589.1(0.01)	6(0.005)	329.5(0.006)	11(0.003)	918.6(0.005)
<i>Ageneiosus inermis</i>	(0)	(0)	2(0.002)	640(0.01)	1(0.0008)	272(0.005)	3(0.0008)	912(0.005)
<i>Steindachnerina brevipinna</i>	64(0.05)	646.6(0.01)	18(0.02)	187.8(0.003)	4(0.003)	14.6(0.0003)	86(0.02)	849(0.005)
<i>Auchenipterus nuchalis</i>	2(0.001)	24.2(0.0004)	18(0.02)	174.5(0.003)	52(0.04)	508.2(0.009)	72(0.02)	706.9(0.004)
<i>Pimelodus absconditus</i>	12(0.009)	397.8(0.007)	(0)	(0)	4(0.003)	285.1(0.005)	16(0.004)	682.9(0.004)
<i>Apareiodon affinis</i>	20(0.01)	218.5(0.004)	7(0.007)	96.7(0.002)	23(0.02)	310.4(0.005)	50(0.01)	625.6(0.004)
<i>Oligosarcus oligolepis</i>	(0)	(0)	7(0.007)	146.9(0.003)	13(0.01)	403.6(0.007)	20(0.005)	550.5(0.003)
<i>Parapimelodus valenciennes</i>	5(0.004)	47.1(0.0008)	49(0.05)	449(0.008)	(0)	(0)	54(0.01)	496.1(0.003)
<i>Roebooides microlepis</i>	5(0.004)	130.9(0.002)	7(0.007)	143.5(0.003)	5(0.004)	173.5(0.003)	17(0.005)	447.9(0.003)
<i>Trachelyopterus teaguei</i>	(0)	(0)	3(0.003)	339(0.006)	(0)	(0)	3(0.0008)	339(0.002)
<i>Pachyurus bonariensis</i>	8(0.006)	99.4(0.002)	18(0.02)	110.2(0.002)	7(0.005)	89.3(0.002)	33(0.009)	298.9(0.002)
<i>Mylossoma duriventre</i>	(0)	(0)	3(0.003)	134.4(0.002)	3(0.002)	137.8(0.002)	6(0.002)	272.2(0.002)
<i>Trachelyopterus lucenai</i>	1(0.0007)	100.1(0.002)	1(0.001)	156(0.003)	(0)	(0)	2(0.0005)	256.1(0.001)
<i>Rhamdia quelen</i>	(0)	(0)	1(0.001)	183.4(0.003)	(0)	(0)	1(0.0003)	183.4(0.001)
<i>Schizodon borelli</i>	(0)	(0)	(0)	(0)	1(0.0008)	141.8(0.002)	1(0.0003)	141.8(0.0008)
<i>Pseudohemiodon devincenzii</i>	1(0.0007)	86.7(0.001)	(0)	(0)	(0)	(0)	1(0.0003)	86.7(0.0005)
<i>Bryconamericus stramineus</i>	23(0.02)	33.1(0.0006)	(0)	(0)	15(0.01)	25.1(0.0004)	38(0.01)	58.2(0.0003)
<i>Odontesthes perugiae</i>	(0)	(0)	(0)	(0)	6(0.005)	52.2(0.0009)	6(0.002)	52.2(0.0003)
<i>Leporinus striatus</i>	7(0.005)	40.6(0.0007)	(0)	(0)	1(0.0008)	10.1(0.0002)	8(0.002)	50.7(0.0003)
<i>Schizodon nasutus</i>	1(0.0007)	41.8(0.0007)	(0)	(0)	(0)	(0)	1(0.0003)	41.8(0.0002)
<i>Potamorhina quamoralevis</i>	(0)	(0)	(0)	(0)	1(0.0008)	32.9(0.0006)	1(0.0003)	32.9(0.0002)
<i>Hoplosternum littorale</i>	(0)	(0)	(0)	(0)	1(0.0008)	29.4(0.0005)	1(0.0003)	29.4(0.0002)
<i>Odontostilbe pequirá</i>	7(0.005)	4.1(0.00007)	1(0.001)	0.5(0.000009)	15(0.01)	23.1(0.0004)	23(0.006)	27.7(0.0002)
<i>Crenicichla missioneira</i>	(0)	(0)	(0)	(0)	1(0.0008)	26.8(0.0005)	1(0.0003)	26.8(0.0002)
<i>Serrasalmus marginatus</i>	(0)	(0)	1(0.001)	18.8(0.0003)	1(0.0008)	4.2(0.00007)	2(0.0005)	23(0.0001)
<i>Triportheus nematurus</i>	(0)	(0)	1(0.001)	18.9(0.0003)	(0)	(0)	1(0.0003)	18.9(0.0001)
<i>Hypostomus aspiogaster</i>	(0)	(0)	1(0.001)	8.8(0.0002)	(0)	(0)	1(0.0003)	8.8(0.00005)
<i>Catathyridium jenynsii</i>	(0)	(0)	(0)	(0)	1(0.0008)	6.2(0.0001)	1(0.0003)	6.2(0.00004)
<i>Ramnogaster melanostoma</i>	(0)	(0)	(0)	(0)	1(0.0008)	5.4(0.00009)	1(0.0003)	5.4(0.00003)

**Rocha**

Ruta 9 y ruta 15  
Tel.: 4472 70 01  
secretaria@cure.edu.uy

**Maldonado**

Tacuarembó entre Av. Artigas y Aparicio Saravia.  
Tel.: 42255326/ 4223 6595/ 42246723  
secretaria-maldonado@cure.edu.uy

**Treinta y Tres**

Simón del Pino 1132  
Tel.: 4453 0657  
bedelia-33@cure.edu.uy

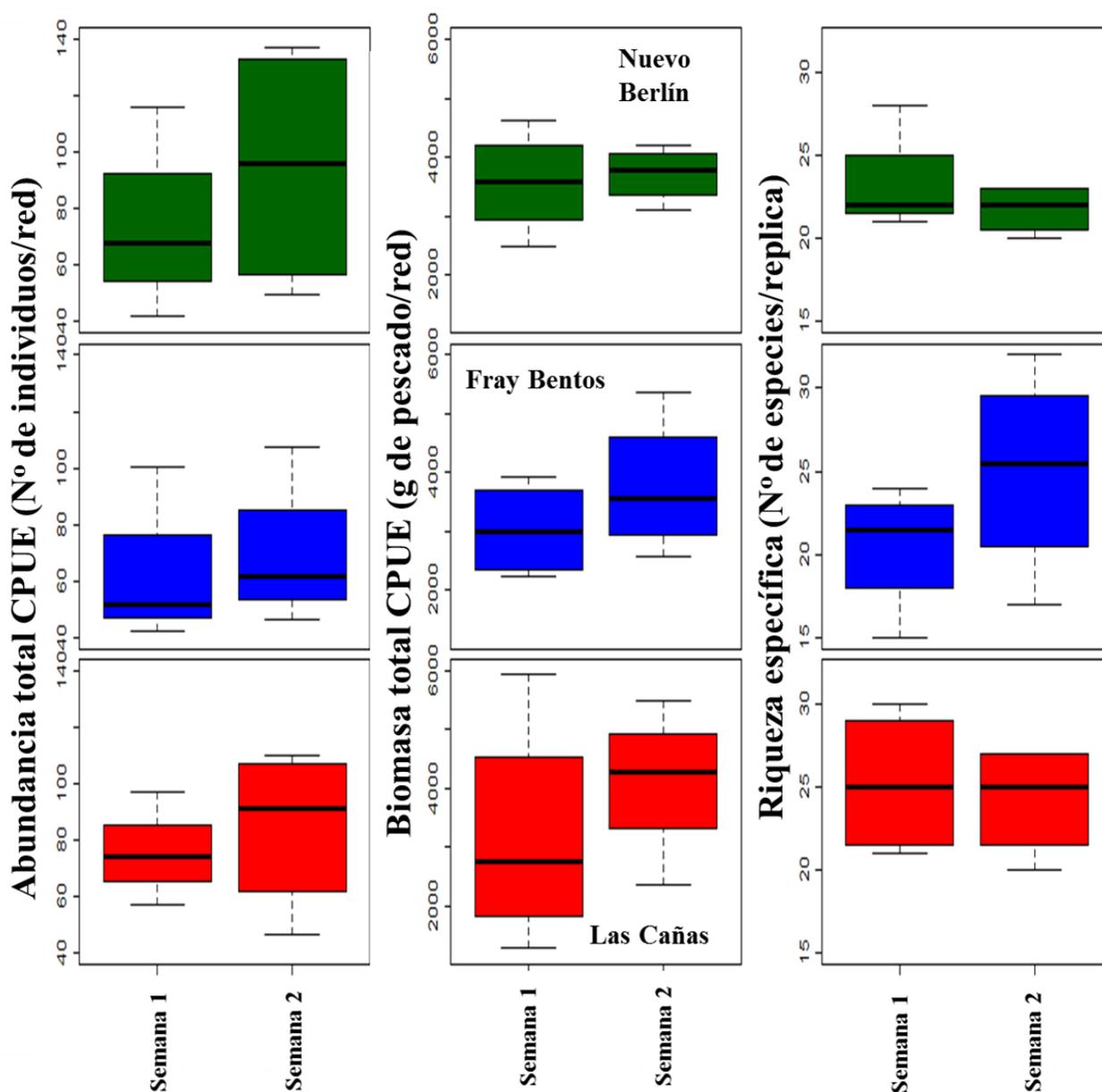


Por otra parte, al comparar las áreas muestreadas en los tres sitios (litoral vs. zona media) se encontraron diferencias en la abundancia capturada únicamente en Las Cañas, observándose una mayor abundancia en la zona litoral que en la zona media (ANOVA:  $F_{(1,5)} = 8,7$ ;  $p=0,03$ ). En las otras dos localidades no se encontraron diferencias en abundancia entre hábitats muestreados (ANOVA;  $p > 0,05$  en todos los casos) (Figura 8; Apéndice 1).

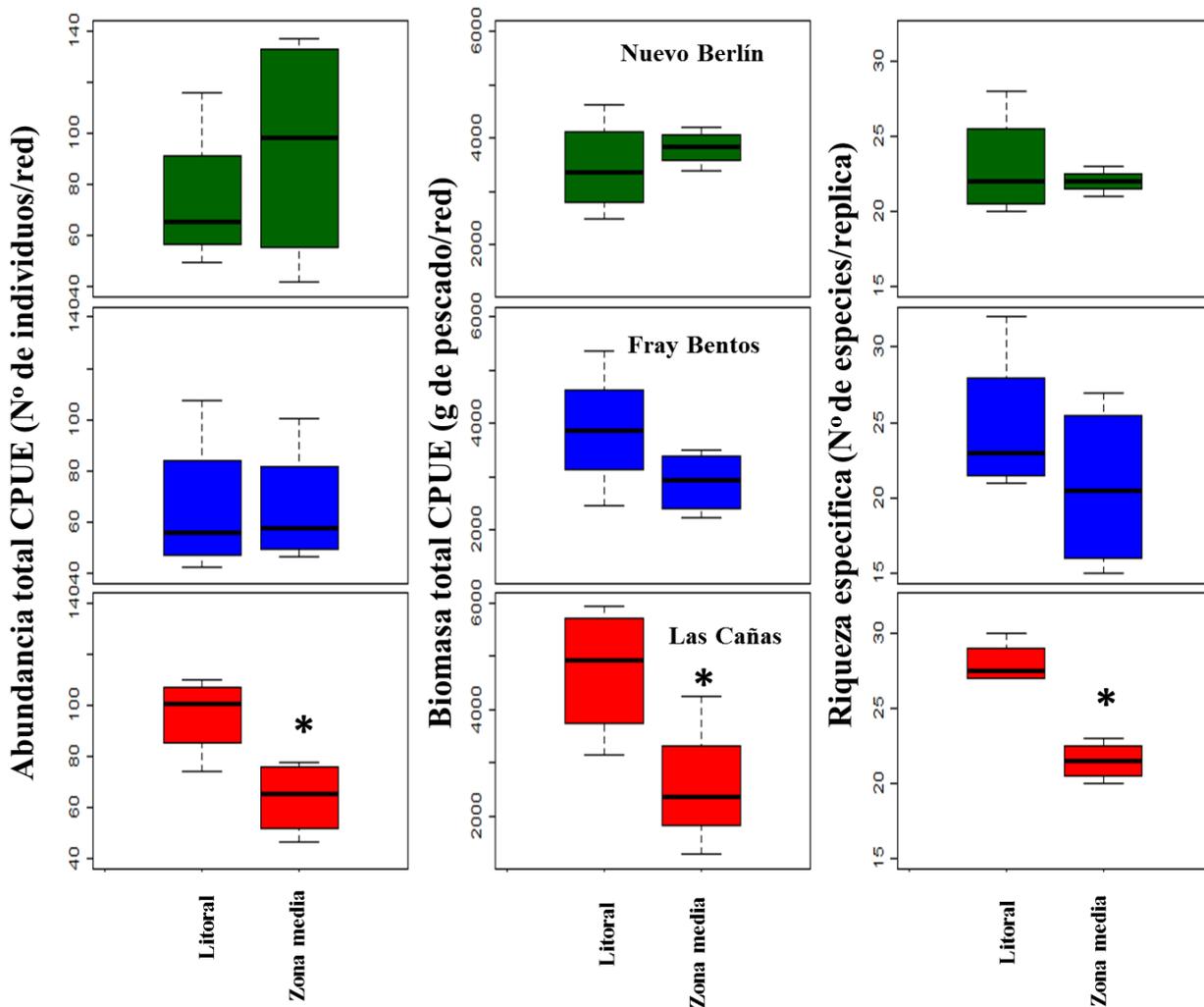
En el caso de la biomasa colectada, las únicas diferencias que se observan son de carácter marginal en el sitio de Las Cañas, con una tendencia a encontrar mayor biomasa en la zona litoral (ANOVA:  $F_{(1,5)} = 6,16$ ;  $p = 0,06$ ). En el caso de Nuevo Berlín y Fray Bentos, no se encontraron diferencias entre hábitats muestreados (ANOVA;  $p > 0,05$  en todos los casos) (Figura 8; Apéndice 1).

Finalmente, cuando se analiza la riqueza de especies comparando hábitats de muestreo, se observan diferencias únicamente en la localidad de Las Cañas, siendo mayor la riqueza en la zona litoral que en la zona media (ANOVA:  $F_{(1,5)} = 46,94$ ;  $p = 0,01$ ) (Figura 8; Apéndice 1).

Las diferencias en el uso del espacio por la comunidad de peces en Las Cañas, con tendencia a mayor biomasa, mayor abundancia y riqueza en la zona litoral, pueden deberse a que las condiciones del ambiente son diferentes a las halladas en las otras zonas analizadas. En este sentido, Las Cañas se presenta como un sistema más abierto y con fondos arenosos donde el río es más ancho, pudiendo favorecer el uso diferencial del ambiente por parte de la comunidad, en comparación a los fondos predominantes con roca en Nuevo Berlín, limo y detrito en Fray Bentos (LATU, 2014).



**Figura 7.** Comparación CPUE (abundancia, biomasa total y riqueza específica capturada por red) entre las diferentes semanas de muestreo en cada sitio. En verde: área referencia de Nuevo Berlín; en azul: área receptora inmediata de Fray Bentos; en rojo: área receptora lejana en Las Cañas. Diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) se señalan con\*. Las líneas de los boxplots indican la mediana de los datos, las líneas verticales indican los valores máximos y mínimos encontrados para cada fecha de muestreo.

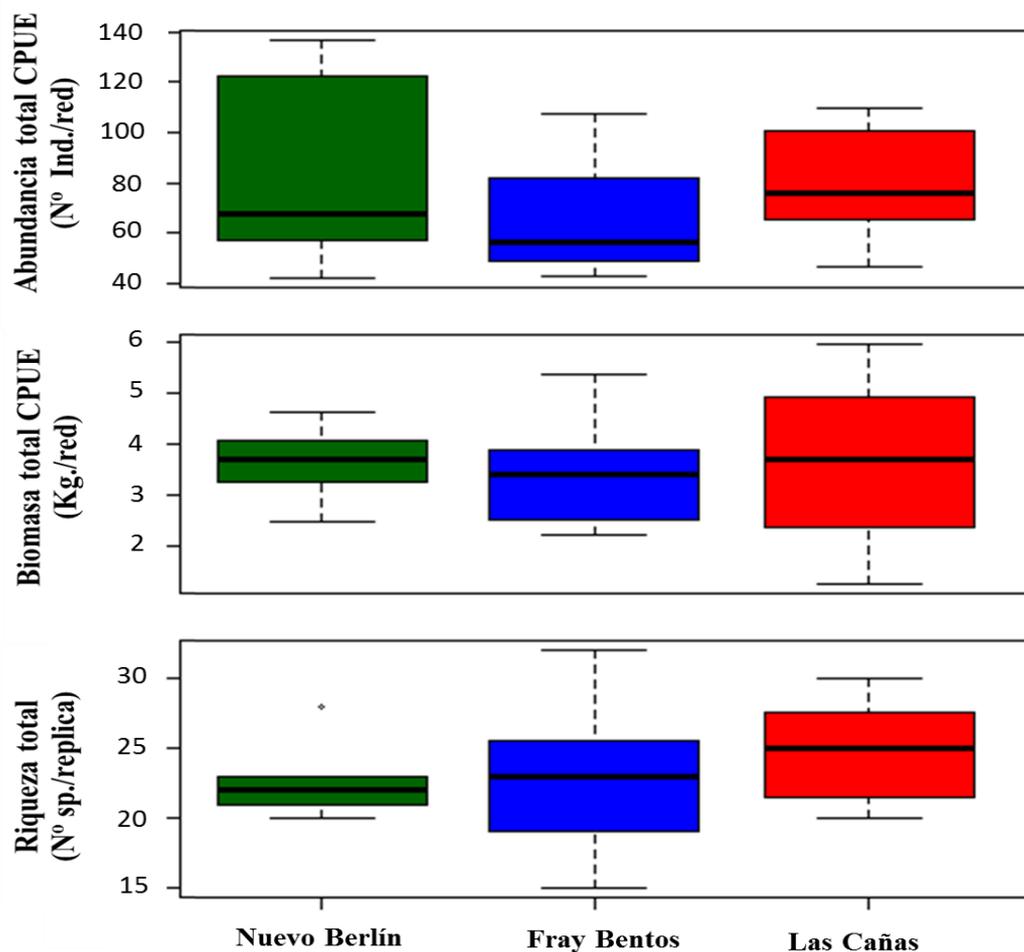


**Figura 8.** Comparación CPUE (abundancia, biomasa total y riqueza específica capturada por red) entre los diferentes hábitats muestreados en cada sitio. En verde: área referencia de Nuevo Berlín; en azul: área receptora inmediata de Fray Bentos; en rojo: área receptora lejana en Las Cañas. Diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) marcadas con\*. En el caso de la biomasa, las diferencias encontradas fueron marginales ( $p = 0,06$ ). Las líneas de los boxplots indican la mediana de los datos.

### *Comparación de capturas entre sitios*

A pesar de existir diferencias entre hábitats, en algunos sitios, las capturas de la zona media y litoral fueron agrupadas para ambas fechas de muestreo, con el fin de poder comparar el sitio de referencia con los sitios receptores del efluente. En este caso, se observa que no existieron diferencias entre las áreas receptoras (tanto inmediata: Fray Bentos como lejana: Las Cañas)

términos de abundancia, biomasa y riqueza de especies de peces (ANOVA:  $p > 0,05$  en todos los parámetros analizadoss) (Figura 9, Apéndice 1).



**Figura 9.** Comparación de capturas de peces por unidad de esfuerzo en términos de abundancia (arriba); biomasa (centro) y riqueza específica (abajo) entre los diferentes sitios muestreados, integrando la variabilidad espacial y temporal del muestreo ( $n = 8$  por sitio). En verde: área de referencia: Nuevo Berlín; azul: área receptora inmediata: Fray Bentos; rojo: área receptora lejana: Las Cañas. No se observan diferencias significativas en ninguno de los parámetros analizados (abundancia, biomasa y riqueza). Véase el apéndice 1 por más detalles sobre los análisis estadísticos realizados. Las líneas de los boxplots indican la mediana de los datos, la parte inferior de la caja indica el percentil 25 y la parte superior el percentil 75 y las líneas verticales de las cajas indican los valores máximos y mínimos encontrados para cada sitio de muestreo.

## COMPARACIÓN DE LA CONDICIÓN GENERAL DE LA ESPECIE CENTINELA

La dominancia y alta frecuencia de ocurrencia de la especie centinela seleccionada, *I. labrosus*, en el sistema se mantiene desde los estudios de línea de base, donde esta especie fue seleccionada principalmente debido a estas características.

Para estudiar la condición de la especie modelo se utilizan las hembras mayores a 13 cm de longitud estándar, debido a que se ha constatado que a los 11,5 cm sería la longitud a la que los peces alcanzarían su madurez (de Santana *et al.*, 2016). En el presente estudio no se detectaron diferencias en el factor de condición (FC) de hembras entre ninguna de las tres zonas de estudio (ANOVA:  $F = 1,38$ ;  $p = 0,26$ ) (Tabla 3; Apéndice 1), al igual que lo ocurrido en el muestreo de primavera de diciembre 2018.

En el caso del IHS (índice hepatosomático), sí se encontraron diferencias significativas entre las localidades muestreadas, con mayor IHS en Las Cañas que en Nuevo Berlín, sin diferir entre Fray Bentos y las otras localidades (Kruskal-Wallis:  $\text{Chi}^2 = 7,38$ ;  $p = 0,03$ ; test *post hoc*: Mann Whitney) (Tabla 3; Apéndice 1). Este resultado hace referencia a que el peso de los hígados de los individuos en proporción a su masa corporal difirió entre los sitios estudiados. En el muestreo previo desarrollado en diciembre 2018 no se hallaron diferencias en el IHS entre sitios de muestreo, sin embargo, previamente sí fueron encontradas, aunque las mismas han variado sin observarse un patrón fijo entre los diferentes muestreos.

Para el IGS (índice gónado-somático), al igual que en el muestreo previo, se encontraron diferencias entre los sitios, siendo este parámetro significativamente mayor en Nuevo Berlín, que en los sitios receptores del efluente (Kruskal-Wallis:  $\text{Chi}^2 = 8,51$ ;  $p = 0,01$ , Test *Post hoc* Mann Whitney; Tabla 3; Apéndice 1). Este resultado es consistente con períodos anteriores donde siempre resulta mayor en Nuevo Berlín.

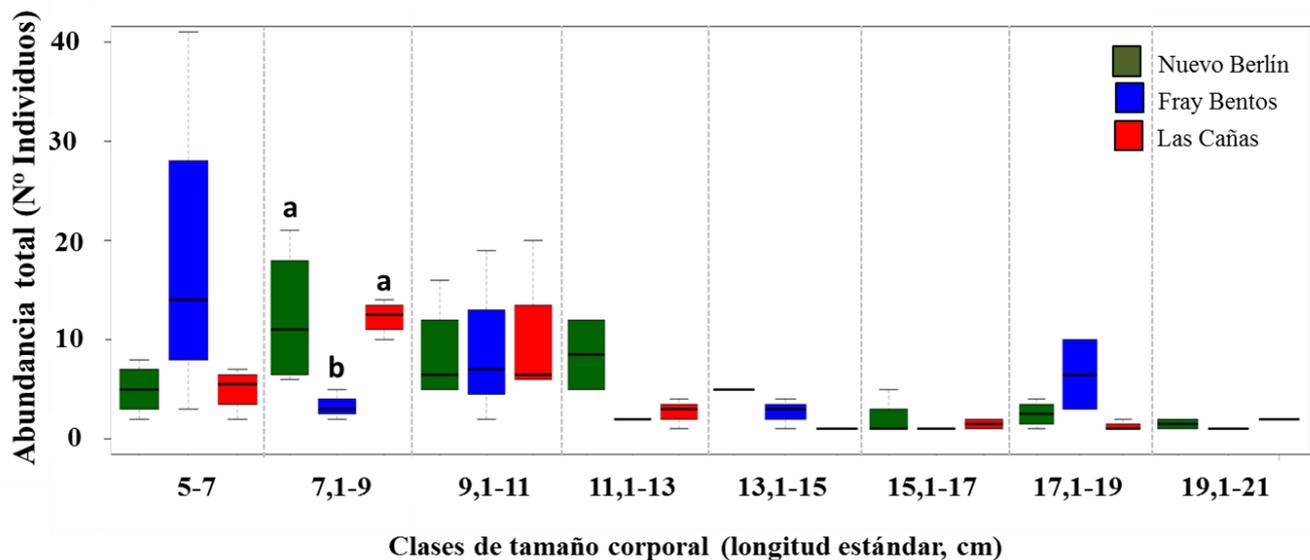
Los análisis de comparaciones estacionales (otoños vs. primavera) de los parámetros analizados para la especie centinela en el período 2008-2019, mostraron que el IGS fue el único que tuvo diferencias significativas, con valores mayores en primavera que en otoño (Kruskal-Wallis:  $\text{Chi}^2 = 30,40$ ;  $p = 3.5 \times 10^{-08}$ ).

El período reproductivo de esta especie comienza en agosto y se extiende hasta diciembre al norte de la cuenca del río Paraná (de Santana *et al.*, 2016), y desde noviembre a diciembre en

localidades ubicadas más al sur (Holzbach *et al.*, 2009; Suzuki *et al.*, 2013). Esto podría explicar por lo tanto, valores de IGS mayores en los muestreos de primavera que de otoño (Tana, 2014; Gonzalez-Bergonzoni *et al.*, 2015; López-Rodríguez *et al.*, 2016, 2017). Por otra parte, se ha evidenciado una correlación positiva entre la temperatura del agua en invierno y el IGS de la primavera siguiente (Vidal *et al.* en revisión), por lo que esperaríamos patrones de IGS mayores en primaveras que hayan tenido un invierno previo con altas temperaturas.

Al comparar la frecuencia de tallas de todos los individuos de *I. labrosus* colectados, observamos una mayor abundancia de las tallas entre 5 y 11 cm, así como escasos individuos de tallas superiores a 19 cm. (Figura 10).

Por otra parte, al comparar la frecuencia de tallas entre sitios, observamos que no existen diferencias significativas en ninguna de las categorías de tallas (Tabla 4, Figura 10). Excepcionalmente, se observa una diferencia marginalmente significativa en las categorías de individuos entre 7,1 y 9 cm. En este sentido, podemos evidenciar una tendencia a menor número de individuos en Fray Bentos que en las otras dos localidades (ANOVA:  $F = 4,23$ ;  $p = 0,06$ ; diferencias entre sitios Test *post hoc* Tukey HSD) (Fig. 10, Tabla 4).



**Figura 10.** Distribución de abundancia de clases de talla de individuos de *I. labrosus* en las tres zonas de estudio en el período de abril de 2019. En verde: área referencia de Nuevo Berlín; en azul: área receptora inmediata de Fray Bentos; en rojo: área receptora lejana en Las Cañas. Diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) marcadas con letras sobre las cajas. Las líneas de los boxplots indican la mediana de los datos.

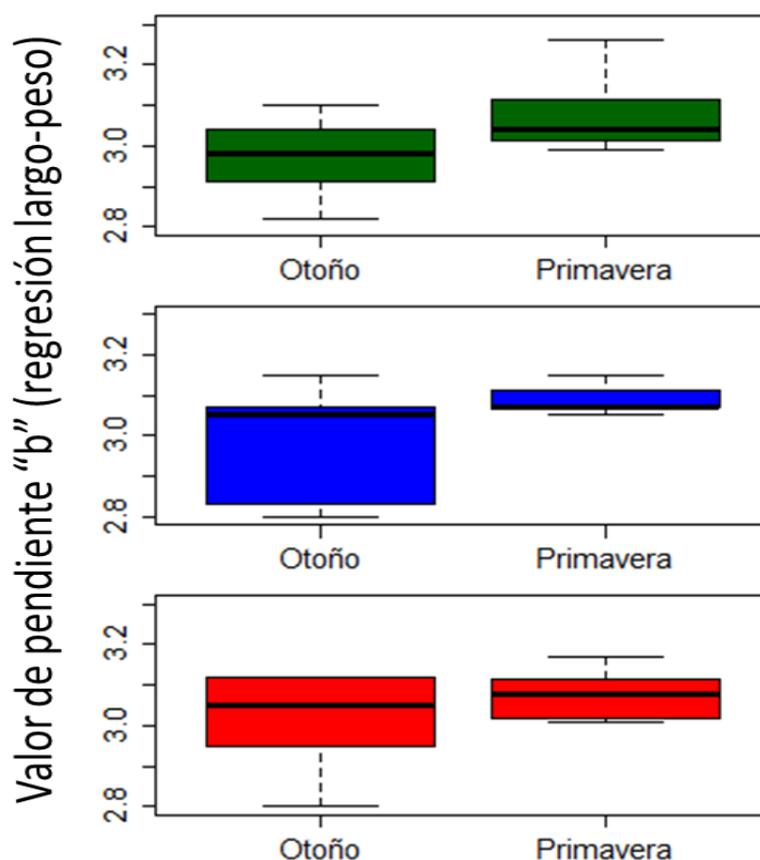
**Tabla 3.** Indicadores de estado de condición de *I. labrosus* en la zona referencia (Nuevo Berlín), zona receptora inmediata (Fray Bentos) y zona receptora lejana (Las Cañas). Los datos se muestran como promedio y desvío estándar del factor de condición (FC), índice hepato-somático (IHS) e índice gónado-somático (IGS) de hembras de las clases de tamaño mayores a 13 cm de longitud estándar. Con \* se indica el sitio y el índice para el cual se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

	Nuevo Berlín	Fray Bentos	Las Cañas
FC	1,25 ± 0,10	1,27 ± 0,10	1,29 ± 0,10
IHS	0,69 ± 0,12*	0,67 ± 0,18	0,80 ± 0,15*
IGS	0,47 ± 0,54	0,34 ± 0,16*	0,38 ± 0,23

**Tabla 4.** Valores de tests estadísticos ANOVA y Kruskall Wallis ( $\alpha = 0,05$ ) realizados para comparar abundancia de individuos en cada clase de tallas de la especie indicadora *I. labrosus* entre los tres sitios de muestreo. Se detalla cada parámetro comparado y se reporta el valor p y el estadístico F o del test realizado. Los resultados que son estadísticamente significativos se encuentran resaltados en negrita y resumidos, los marginalmente significativos se observan en itálica. N.T. = No testeado por falta de individuos.

Parámetro	Datos analizados	Áreas		Test estadístico utilizado	Resumen de diferencias
		Estadístico	p-valor		
Clases de tallas <i>I. labrosus</i> 5 < x < 7	abr-19	Chi2=2,9	0,23	Kruskall Wallis + Test Post Hoc Mann Whitney	Sin diferencias entre sitios
Clases de tallas <i>I. labrosus</i> 7.1 < x < 9	abr-19	<i>F= 4,23</i>	<i>0,06</i>	ANOVA de 1 vía/Test Post Hoc-Tukey HSD	Tendencia a menor en Fray Bentos
Clases de tallas <i>I. labrosus</i> 9.1 < x < 11	abr-19	F= 0,034	0,97	ANOVA de 1 vía/Test Post Hoc-Tukey HSD	Sin diferencias entre sitios
Clases de tallas <i>I. labrosus</i> 11.1 < x < 13	abr-19	Chi2=4,46	0,11	Kruskall Wallis + Test Post Hoc Mann Whitney	Sin diferencias entre sitios
Clases de tallas <i>I. labrosus</i> 13.1 < x < 15	abr-19	N.T	N.T	-	Falta de réplicas
Clases de tallas <i>I. labrosus</i> 15.1 < x < 17	abr-19	F=0,22	0,81	ANOVA de 1 vía/Test Post Hoc-Tukey HSD	Sin diferencias entre sitios
Clases de tallas <i>I. labrosus</i> 17.1 < x < 19	abr-19	F= 3,37	0,11	ANOVA de 1 vía/Test Post Hoc-Tukey HSD	Sin diferencias entre sitios
Clases de tallas <i>I. labrosus</i> 19.1 < x < 21	abr-19	N.T.	N.T.	-	Falta de réplicas

Las comparaciones de las pendientes de las regresiones lineales del creciemniemto de la especie indicadora, no mostró diferencias significativas entre los sitios a lo largo de los años (ANOVA:  $F_{(2,33)} = 0,295$ ;  $p > 0,05$ ). Tampoco se encontraron diferencias estacionales para ninguno de los sitios (ANOVA:  $F_{(1,10)} = 3,32$ ;  $p > 0,05$  para Nuevo Berlín; K-W:  $\chi^2 = 1,76$ ;  $p > 0,05$  y  $\chi^2 = 1,11$ ;  $p > 0,05$  para Fray Bentos y Las Cañas, respectivamente) (Fig. 11)



**Figura 11.** Comparación de la pendiente de la recta de crecimiento de *I. labrosus* en las tres zonas de estudio entre otoño y primavera, desde 2008 hasta el presente muestreo de abril 2019. En verde: área de referencia: Nuevo Berlín; azul: área receptora inmediata: Fray Bentos; rojo: área receptora lejana: Las Cañas. No se observan diferencias significativas entre estaciones en ninguno de los tres sitios de muestreo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados testeados en este informe del monitoreo de la comunidad de peces desde la puesta en marcha de la planta hasta el presente (monitoreo de abril 2019), sugiere que no existe una disminución en número de especies, biomasa o abundancia de peces en la zona receptora inmediata de efluentes con respecto a la zona de referencia luego de la puesta en marcha de UPM S.A. En el presente muestreo de abril de 2019, correspondiente al muestreo de otoño, ninguno de los tres parámetros de estructura comunitaria (riqueza, abundancia o biomasa) presentaron diferencias significativas entre los sitios de estudio.

Al analizar los datos obtenidos a lo largo de los estudios de línea de base y monitoreos ambientales previos (2005- diciembre 2018), los parámetros de la estructura comunitaria estudiados no han cambiado en las zonas receptoras del efluente. En todo el período de estudio combinado, la riqueza específica de peces ha sido menor en la zona receptora lejana de Las Cañas, probablemente debido a diferentes condiciones ambientales naturales. Por otra parte, mayores valores de riqueza específica han sido observados durante los monitoreos posteriores a la puesta en marcha de la planta de UPM S.A. en los tres sitios de estudio por igual. Esto puede deberse simplemente a que al haber mayor número de instancias de muestreo desde la instalación de la planta, haya sido posible la captura de un mayor número de especies. Además, desde los primeros estudios de línea de base, la abundancia de peces siempre ha sido mayor en la zona de referencia y en la zona receptora inmediata que en la zona receptora lejana, y eso no ha cambiado luego de la puesta en marcha de la planta, período en el cual se han registrado incluso los mayores valores de abundancias en los tres sitios de estudio. Algo similar ocurre con la biomasa de peces, siendo superior en la zona receptora inmediata (junto con Nuevo Berlín en el período pre-UPM) y la menor en el área receptora lejana (localidad de Las Cañas). Este patrón de diferentes biomásas en los tres sitios se ha mantenido inalterado luego de la puesta en funcionamiento de UPM S.A. a lo largo de todos los períodos de muestreo (e.g. González-Bergonzoni *et al.*, 2015, 2016, López-Rodríguez *et al.*, 2017, 2018a).

Las mayores abundancias y biomásas (CPUE) de peces hacia la zona receptora inmediata (Fray Bentos) en los análisis de todo el período de monitoreo, son probablemente debido a que las características ambientales encontradas en dicha zona favorecen el mantenimiento de esta

estructura en la comunidad de peces. Por ejemplo, el ambiente físico de la bahía y desembocadura del arroyo Yaguareté podría proporcionar recursos alimenticios y refugio particularmente a varias especies de peces, tanto en su fase adulta, como en sus estadios juveniles. Esto coincide con lo hallado en monitoreos de zoobentos, uno de los principales recursos alimenticios para los peces, donde las mayores abundancias y densidades de invertebrados son halladas en la zona de Fray Bentos (e.g. LATU, 2014). Además, esta zona es la que presenta el mayor contenido de materia orgánica en sedimento lo cual podría explicar las altas densidades de zoobentos y eventualmente representa una mayor oferta alimenticia para las especies de peces que explotan este recurso (iliófagas).

Considerando la escala temporal, han existido picos de captura (i.e. aumentos en las CPUE en abundancia y biomasa), por ejemplo durante abril del año 2010, los cuales luego disminuyeron levemente hasta valores cercanos a los hallados durante el estudio de línea de base. Uno de los picos inferiores tanto de abundancia como biomasa se observaron durante el muestreo de primavera 2018.

La estructura de la comunidad de peces, en términos de riqueza y composición específica, se ha mantenido relativamente estable con las mismas 10 a 20 especies dominantes, estando presentes en la gran mayoría de los muestreos (e.g. frecuencia de ocurrencia pre y post-UPM >80%, Apéndice 3) y presentando leves variaciones en dominancia de una u otra especie en determinados momentos, posiblemente generados por factores ambientales (e.g. caudal) o asociado a patrones migratorios de las diferentes especies (e.g. como se viene observando en general en las especies *Parapimelodus valenciennis* y *Acestrorhynchus pantaneiro*) aunque estas variaciones no esten analizadas estadísticamente al detalle.

Los indicadores de condición de la especie centinela seleccionada, *I. labrosus* mostraron diferencias entre los sitios fueron el IGS y el IHS. Estas diferencias en los índices gonado- y hepato-somático suelen encontrarse entre zonas durante algunos muestreos, particularmente en diciembre, momento previo al período reproductivo (Suzuki *et al.*, 2013). Por otra parte, el IGS

fue el único indicador que presentó diferencias entre estaciones, observándose mayores valores en los muestreos correspondientes a primavera.

Durante monitoreos de exposición previos (2005- diciembre 2018), no se han encontrado valores de concentración de sustancias cloro-fenólicas, fito-esteroles o ácidos resínicos en bilis que sugieran un impacto de la planta de UPM S.A., y pudieran repercutir en indicadores de condición (e.g. IGS o IHS). Lo mismo sucedió con las concentraciones de Dioxinas y PCBs en músculo de esta especie (López-Rodríguez *et al.*, 2018c), siendo estos valores siempre bajos y estando por debajo de los límites máximos recomendados por organizaciones gubernamentales internacionales (Health-Canada, 2010).

Los resultados que se obtuvieron en este estudio sugieren que no existiría un impacto apreciable en la diversidad, abundancia y biomasa de la comunidad de peces en las zonas que reciben efluentes provenientes de la planta de UPM S.A., en Fray Bentos. Hasta el momento no existen antecedentes de efectos negativos de efluentes de plantas de celulosa que usen la tecnología BAT sobre la comunidad de peces (EEM, 2010), y el presente monitoreo no representa una excepción.

Los programas de biomonitoreo se realizan con el fin de evaluar periódicamente potenciales efectos nocivos y en caso de ser percibidos plantear estrategias para mitigarlos, informando sobre posibles efectos adversos e impactos para el ecosistema y la salud humana. En este sentido, el presente programa cumple con esa demanda desde su inicio con los estudios de línea de base en abril de 2005, proveyendo información esencial para el diagnóstico ambiental del río Uruguay bajo en la zona de estudio. Resulta importante resaltar que la información generada en este estudio (entre los años 2005-2014) fue comparada por parte de la DINARA (MGAP) con monitoreos desarrollados por la misma dependencia en el área de influencia de la planta (período 2006-2010). En esta comparación se destaca el alto número de especies capturados en estos muestreos (94 especies) en comparación con los de DINARA (30 especies) (Spinetti *et al.*, 2017). Esto evidencia que en el presente monitoreo existiría una gran representatividad de

la comunidad de peces en esta zona del río Uruguay bajo, además de generar y analizar una gran cantidad de información (Spinetti *et al.*, 2017).

La obtención de nuevos datos posibilitará seguir completando vacío de información y por tanto un estudio más detallado para evaluar cuáles son los factores ambientales que naturalmente ocasionan variaciones en la composición de la comunidad de peces en esta zona del río Uruguay. Continuar con el monitoreo bi-anual permitirá conocer con mayor fidelidad las fluctuaciones en la riqueza, abundancia y biomasa de peces encontradas a lo largo de los años. Esto permitirá poder ser más precisos en detectar un potencial impacto ambiental sobre la estructura de la comunidad de peces, al observar variaciones que se aparten de lo esperable dadas las condiciones ambientales naturales del río Uruguay. Este programa de biomonitoreo ha demostrado ser altamente adecuado y viable para ser llevado ante la implantación de nuevos y similares emprendimientos industriales en grandes ríos de nuestro país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anon 2001. European Commission: Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC): Reference document on Best Available Techniques in the pulp and paper industry. December 2001.
- Calvelo J., D'Anatro A., Vidal N., Teixeira de Mello F. & González-Bergonzoni I. 2013. Análisis de la estructura poblacional del bagre trompudo, *Iheringichthys labrosus* Lütken 1874 (Siluriformes: Pimelodidae), en la cuenca baja del Río Uruguay. Informe Técnico, 13 pp.
- CELA 2006. Establecimiento de una línea de base de las comunidades de fitoplancton, zooplancton y bentos en el Río Uruguay (desde Nuevo Berlín a Las Cañas) Rio Negro – Uruguay. CELA report marzo 2006, Montevideo, Uruguay.
- D'Anatro, A., Vidal, N., González-Bergonzoni, I., Teixeira de Mello, F., Tana, J., Naya, D. 2013. Geographic and sasonal variation analysis of digestive morphology in the catfish *Iheringichthys labrosus* along lower Rio Uruguay. Open access animal physiology, 5:9-13.
- de Santana H. S., Rodrigues A. C. & Dei Tos C., 2016. Patterns of reproduction and growth of the catfish *Iheringichthys labrosus* (Lutken, 1874) after a reservoir formation. *J. Appl. Ichthyol*, 1, 8.

- EEM, C., 2010. Pulp and Paper environmental effects monitoring (EEM) technical guidance document. Environment Canada, 26.
- Froese, R., 2006. Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22:241–253.
- González-Bergonzoni, I., A. D'Anatro, S. Stebniki & F. Teixeira de Mello, 2015. Estructura comunitaria y diversidad de peces en el Río Uruguay: monitoreo en la zona receptora de efluentes de la planta de pasta de celulosa UPM S.A, Noviembre 2015. UPM S.A, Fray Bentos, Uruguay: 29p.
- González-Bergonzoni, I., A. D'Anatro, S. Stebniki; Vidal, N & F. Teixeira de Mello, 2016. Estructura comunitaria y diversidad de peces en el Río Uruguay: monitoreo en la zona receptora de efluentes de la planta de pasta de celulosa UPM S.A, Abril 2016. UPM S.A, Fray Bentos, Uruguay: 45p.
- González-Bergonzoni I., D'Anatro A., Vidal N., Stebniki S., Tesitore G., Silva I., Teixeira-de Mello F., 2019. Origin of biomass in a diverse subtropical river: an allochthonic-supported biomass increase following flood pulses. *Ecosystems*. *In press*.
- Heath-Canada, 2010. Current canadian objectives, guildelines and regulations (en línea). . Health Canada, Ottawa, Canada.
- Holzbach A. J., Gubiani É. A. & Baumgartner G.. 2009. *Iheringichthys labrosus* (Siluriformes: Pimelodidae) in the Piquiri River, Paraná, Brazil: population structure and some aspects of its reproductive biology. *Neotropical Ichthyology*, 7: 55-64.
- Masdeu M., Teixeira de Mello, F., Loureiro M. & Arim M. 2011. Feeding habits and morphometry of *Iheringichthys labrosus* (Lütken, 1874) in the Uruguay River (Uruguay). *Neotropical Ichthyology*, 9, 657-664.
- Labotatorio Tecnológico del Uruguay (LATU). 2014. Informe de ensayo No1418554, Muestreo biológico. Agosto 2014. Montevideo, Uruguay 22p.
- López-Rodríguez, A., González-Bergonzoni, I., A. D'Anatro, S. Stebniki, Vidal, N. & F. Teixeira de Mello, 2016. Estructura comunitaria y diversidad de peces en el Río Uruguay: monitoreo en la zona receptora de efluentes de la planta de pasta de celulosa UPM S.A, Diciembre 2016. UPM S.A, Fray Bentos, Uruguay: 45p.
- López-Rodríguez, A., González-Bergonzoni, I., S. Stebniki, Vidal, N., Teixeira de Mello, F. & A. D'Anatro, 2017. Estructura comunitaria y diversidad de peces en el Río Uruguay: monitoreo en

- la zona receptora de efluentes de la planta de pasta de celulosa UPM S.A, diciembre 2017. UPM S.A, Fray Bentos, Uruguay: 48p.
- López-Rodríguez, A., González-Bergonzoni, I., S. Stebniki, Vidal, N., Teixeira de Mello, F. & A. D'Anatro, 2018a. Estructura comunitaria y diversidad de peces en el Río Uruguay: monitoreo en la zona receptora de efluentes de la planta de pasta de celulosa UPM S.A, abril 2018. UPM S.A, Fray Bentos, Uruguay: 50p
- López-Rodríguez, A., González-Bergonzoni, I., S. Stebniki, Vidal, N., Teixeira de Mello, F. & A. D'Anatro, 2018b. Estructura comunitaria y diversidad de peces en el Río Uruguay: monitoreo en la zona receptora de efluentes de la planta de pasta de celulosa UPM S.A, diciembre 2018. UPM S.A, Fray Bentos, Uruguay: 50p
- López-Rodríguez, A.; González-Bergonzoni, I., Stebniki, S., Vidal, N., Teixeira de Mello, F. & A. D'Anatro, 2018c. Monitoreo de exposición: monitoreo en la zona receptora de efluentes de la planta de pasta de celulosa UPM S.A, abril 2018. UPM S.A, Fray Bentos, Uruguay: 43p.
- Oldani N. O. 1990 Variaciones de la abundancia de peces del valle del río Paraná (Argentina) Rev. Hydrobiol. Trop. 23 (1): 67-76.
- Spinetti, M., Foti, R., Pereira, A., 2017. Análisis de los resultados obtenidos por DINARA (2006-2010) y UPM (2005-2014) en el área de influencia de la planta productora de pasta de celulosa en el río Uruguay. Dirección Nacional de Recursos Acuáticos- MGAP
- Stassen, M. J. M., M. W. P. M. van de Ven, T. van der Heide, M. A. G. Hiza, G. van der Velde, & A. J. P. Smolders. 2010. Population dynamics of the migratory fish *Prochilodus lineatus* in a Neotropical river: the relationships with river discharge, flood pulse, El Niño and fluvial megafan behaviour. Neotropical Ichthyology 8:113-122.
- Suzuki F. M., Garcia D. A. Z. & Orsi M. L., 2013. Reproductive Dynamics of *Iheringichthys labrosus* (Lütken, 1874)(Teleostei, Pimelodidae), in the Capivara Reservoir, Paranapanema River, Parana, Brazil. *Dataset Papers in Science*, 2013.
- Tana, J., 2007. Studies on fish community and species diversity in Rio Uruguay prior to the planned Botnia pulp mill. Fifth test fishing period, April 2007. ÅF-Enprima report, June 2007, Vantaa, Finland.
- Tana, J., 2012. Fish community and species diversity in Rio Uruguay. Monitoring studies in the recipient of Botnia pulp mill, April 2012. ÅF-Consult report, ENVIR-275. June 2012.

- Tana, J., 2013. Fish community and species diversity in Rio Uruguay. Monitoring studies in the recipient of Botnia pulp mill, December 2012. ÅF-Consult report, ENVIR-454. February 2013.
- Tana J., 2014. Fish community and species diversity in Rio Uruguay. Monitoring studies in the recipient of Botnia pulp mill, April 2014. ÅF-Consult report. June 2014.
- Teixeira de Mello, F., I. González-Bergonzoni & M. Loureiro, 2011. Peces de agua dulce del Uruguay. , Montevideo, Uruguay.
- Underwood, A., 1991. Beyond BACI: Experimental designs for detecting human environmental impacts on temporal variations in natural populations. *Marine and Freshwater Research* 42(5):569-587.
- Vazzoler, A. E. A. de M. 1996. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá, EDUEM. 169p
- Wootton R.J. 1991. *Ecology of teleost fishes.*, Chapman and Hall, London.

## APÉNDICE 1



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

www.cure.edu.uy

**Tabla 1.** Valores de tests estadísticos

ANOVA ( $\alpha = 0,05$ ) realizados para comparar abundancias biomásas y riqueza específica de la comunidad de peces e indicadores de condición en la especie indicadora *I. labrosus*. Se detalla cada parámetro comparado y se reporta el valor p, el estadístico F o  $\chi^2$  y los grados de libertad de los residuos (g.l res) del test realizado, los resultados que son estadísticamente significativos se encuentran resaltados en negrita y resumidos, los resultados marginalmente significativos se observan en cursiva.

Parámetro	Datos analizados	Período		Áreas		Interacción período-área			Semanas de muestreo		Habitats muestreados		Test estadístico utilizado	Resumen de diferencias
		Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor	g.l res						
Biomasa de peces CPUE	Periodo de estudio (2005-2019)	F=0,35	0,55	<b>F=67,8</b>	<b>2 X10<sup>-16</sup></b>	<b>F=3,66</b>	<b>0,03</b>	619					ANOVA factorial de 2 vías + Test Post Hoc-Tukey HSD	<b>Menor en Las Cañas, intermedia en Nuevo Berlín y máxima en Fray Bentos</b>
Abundancia de Peces CPUE	Periodo de estudio (2005-2019)	F= 0,2	0,66	<b>F=40,69</b>	<b>2 X10<sup>-16</sup></b>	<b>F=4,27</b>	<b>0,01</b>	619					ANOVA factorial de 2 vías + Test Post Hoc-Tukey HSD	<b>Siempre mayor en Fray Bentos</b>
Número de especies CPUE	Periodo de estudio (2005-2019)	<b>F= 5,42</b>	<b>0,02</b>	<b>F=24.2</b>	<b>7,58 X10<sup>-11</sup></b>	<i>F=2,73</i>	<i>0,07</i>	619					ANOVA factorial de 2 vías + Test Post Hoc-Tukey HSD	<b>Mayor en el periodo post-UPM y siempre menor en Las Cañas</b>
Biomasa de peces	abr-19			F= 0,115	0,89								ANOVA de 1 vía/Test Post Hoc-Tukey HSD	No hay diferencias entre sitios
Abundancia de peces	abr-19			F=70,92	0,41								ANOVA de 1 vía/Test Post Hoc-Tukey HSD	No hay diferencias entre sitios
Número de especies	abr-19			F= 0,75	0,49								ANOVA de 1 vía/Test Post Hoc-Tukey HSD	No hay diferencia entre sitios
Área A--Biomasa de peces	Abr-2019-Nuevo Berlín					F=0,068	0,8		F=0,46	0,53			ANOVA de 2 vías	No hay diferencias entre semanas de muestreo o hábitats
Área A--Abundancia de peces	Abr-2019-Nuevo Berlín					F=0,57	0,48		F=0,49	0,51			ANOVA de 2 vías	No hay diferencias entre semanas de muestreo o hábitats
Área A--Número de especies	Abr-2019-Nuevo Berlín					Chi2=0,19	0,66		Chi2=0	1			Kruskall Wallis	No hay diferencias entre semanas de muestreo o hábitats
Área B--Biomasa de peces	Abr-2019-Fray Bentos					F= 0,001	0,98		F=2,28	0,19			ANOVA de 2 vías	No hay diferencias entre semanas de muestreo o habitats
Área B--Abundancia de Peces	Abr-2019-Fray Bentos					F= 0,15	0,72		F=0,01	0,99			ANOVA de 2 vías	No hay diferencias entre semanas de muestreo o habitats
Área B--Numero de especies	Abr-2019-Fray Bentos					F=1,55	0,27		F=1,22	0,32			ANOVA de 2 vías	No hay diferencias entre semanas de muestreo o habitats
Área C--Biomasa de peces	Abr-2019-Las Cañas					F= 1,14	0,34		<i>F=6.15</i>	<i>0,06</i>			ANOVA de 2 vías	<i>Tendencia a mayor biomasa en zona litoral</i>
Área C--Abundancia de Peces	Abr-2019-Las Cañas					F=0,68	0,45		<b>F=8,7</b>	<b>0,03</b>			ANOVA de 2 vías	<b>Mayor abundancia en la zona litoral</b>
Área C-Numero de especies	Abr-2019-Las Cañas					F=1,11	0,34		<b>F=46,94</b>	<b>0,001</b>			ANOVA de 2 vías	<b>Mayor riqueza en la zona litoral</b>
FC-Especie indicadora <i>I. labrosus</i>	abr-19			F=1,38	0,26								ANOVA de 2 vías	No hay diferencias en FC entre sitios
IHS-Especie indicadora <i>I. labrosus</i>	abr-19			<b>Chi2=7,38</b>	<b>0,03</b>								Kruskall Wallis + Test Post Hoc Mann Whitney	<b>Mayor IHS en Las Cañas que en Nuevo Berlín</b>



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

[www.cure.edu.uy](http://www.cure.edu.uy)

IGS-Especie indicadora <i>I.</i> <i>labrosus</i>	abr-19	Chi2=8,51	0,01					Kruskall Wallis + Test Post Hoc Mann Whitney	Mayor IGS en Nuevo Berlín
--	--------	-----------	------	--	--	--	--	---	---------------------------

**Rocha**  
Ruta 9 y ruta 15  
Tel.: 4472 70 01  
[secretaria@cure.edu.uy](mailto:secretaria@cure.edu.uy)

**Maldonado**  
Tacuarembó entre Av. Artigas y Aparicio Saravia.  
Tel.: 42255326/ 4223 6595/ 42246723  
[secretaria-maldonado@cure.edu.uy](mailto:secretaria-maldonado@cure.edu.uy)

**Treinta y Tres**  
Simón del Pino 1132  
Tel.: 4453 0657  
[bedelia-33@cure.edu.uy](mailto:bedelia-33@cure.edu.uy)

## APÉNDICE 2

**Tabla 2.** Listado de especies de peces colectadas durante todos los períodos de monitoreo de la comunidad de peces.

Clasificación taxonómica de los peces colectados				
Orden	Familia	Especie	Nombre común	
Characiformes	Anostomidae	<i>Leporinus lacustris</i>	Boga	
		<i>Megaleporinus obtusidens</i>	Boga; Bogón	
		<i>Leporinus striatus</i>	Trompa roja	
		<i>Leporellus pictus</i>	Boga rayada	
		<i>Schizodon borelli</i>	Boga lisa	
		<i>Schizodon nasutus</i>	Boga	
		<i>Schizodon platae</i>	Boga lisa	
		Acestrorhynchidae	<i>Acestrorhynchus pantaneiro</i>	Dientudo paraguayo
			Characidae	<i>Astyanax erythropterus</i>
	<i>Astyanax lacustris</i>	Mojarra		
	<i>Astyanax spp</i>	Mojarra		
	<i>Brycon orbignyanus</i>	Salmón		
	<i>Bryconamericus itheringii</i>	Mojarra		
	<i>Bryconamericus stramineus</i>	Mojarra		
	<i>Charax sp.</i>	Mojarra transparente		
	<i>Cheirodon interruptus</i>	Mojarra		
	<i>Cynopotamus argenteus</i>	Dientudo jorobado		
	<i>Galeocharax humeralis</i>	Dientudo jorobado		
	<i>Hyphessobrycon meridionalis</i>	Mojarra		
<i>Mylossoma duriventre</i>	Pacusito			
<i>Odontostilbe pequirá</i>	Mojarra			
<i>Oligosarcus jenynsi</i>	Dientudo			

		<i>Oligosarcus oligolepis</i>	Dientudo
		<i>Oligosarcus sp</i>	Dientudo
		<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña Negra
		<i>Raphiodon vulpinus</i>	Chafalote
		<i>Roeboides microlepis</i>	Dientudo jorobado
		<i>Roeboides affinis</i>	Dientudo jorobado
		<i>Salminus brasiliensis</i>	Dorado
		<i>Serrasalmus marginatus</i>	Piraña, Palometa amarilla
		<i>Serrasalmus maculatus</i>	Piraña, Palometa
		<i>Triportheus nematurus</i>	Mojarra
		<i>Triportheus sp.</i>	
	<i>Crenuchidae</i>	<i>Characidium rachovii</i>	Tritolo
		<i>Characidium tenue</i>	Tritolo
		<i>Characidium zebra</i>	Tritolo
		<i>Characidium sp.</i>	
	<i>Curimatidae</i>	<i>Cyphocharax platanus</i>	Sabalito plateado
		<i>Cyphocharax saladensis</i>	Sabalito
		<i>Cyphocharax spilodus</i>	Sabalito
		<i>Cyphocharax voga</i>	Sabalito
		<i>Potamorhina squamoralevis</i>	Sabalito
		<i>Steindachnerina brevipinna</i>	Sabalito
	<i>Erithrinidae</i>	<i>Hoplias malabaricus</i>	Tararira
	<i>Parodontidae</i>	<i>Apareiodon affinis</i>	Violito, Virolo
	<i>Prochilodontidae</i>	<i>Prochilodus lineatus</i>	Sábalo
<b>Siluriformes</b>	<i>Aspredinidae</i>	<i>Bunocephalus sp.</i>	Guitarrita

		<i>Pseudobunocephalus itheringii</i>	Guitarrita
	<i>Auchenipteridae</i>	<i>Ageineiosus inermis</i>	Mandubá
		<i>Ageineiosus militaris</i>	Manduví
		<i>Auchenipterus nuchalis</i>	Buzo
		<i>Auchenipterus osteomystax</i>	Buzo
		<i>Trachelypterus lucenai</i>	Torito
		<i>Trachelypterus albicrux</i>	Torito
	<i>Callichthyidae</i>	<i>Callichthys callichthys</i>	Cascarudo
		<i>Hoplosternum litorale</i>	Cascarudo
		<i>Corydoras paleatus</i>	Limpia fondo
	<i>Doradidae</i>	<i>Pterodoras granulosus</i>	Armado común
		<i>Rhinodoras dorbignyi</i>	Armado marieta
	<i>Heptapteridae</i>	<i>Rhamdia quelen</i>	Bagre sapo/negro
	<i>Loricariidae</i>	<i>Brochiloricaria chauliodon</i>	Vieja de agua
		<i>Hisonotus sp.</i>	
		<i>Hypostomus roseopunctatus</i>	Vieja
		<i>Hypostomus commersonii</i>	Vieja de agua
		<i>Hypostomus aspilogaster</i>	Vieja del Vieja
		<i>Hypostomus laplatae</i>	Vieja del agua
		<i>Hypostomus luteomaculatus</i>	Vieja del agua
		<i>Hypostomus sp.</i>	Vieja del agua
		<i>Loricariichthys anus</i>	Vieja de agua
		<i>Rineloricaria parva</i>	Vieja de agua
		<i>Loricariichthys edentatus</i>	Vieja de agua
		<i>Loricariichtys platymetopon</i>	Vieja de agua
		<i>Loricariichthys melanocheilus</i>	Vieja de agua

		<i>Loricariichthys sp.</i>	Vieja de agua
		<i>Otocinclus sp.</i>	Limpiavidrios
		<i>Pseudohemiodon sp.</i>	Vieja de agua
		<i>Paraloricaria vetula</i>	Vieja de agua
		<i>Rhinelepis aspera</i>	Vieja de agua
		<i>Ricola macrops</i>	Vieja de agua
		<i>Rinelocaria sp.</i>	Vieja de agua
	<i>Pimelodidae</i>	<i>Iheringichthys labrosus</i>	Bagre trompudo
		<i>Luciopimelodus pati</i>	Patí
		<i>Parapimelodus valenciennis</i>	Bagarito
		<i>Pimelodus absconditus</i>	Bagre blanco
		<i>Pimelodus maculatus</i>	Bagre amarillo
		<i>Pimelodus sp.</i>	
		<i>Pimelodella australis</i>	Bagre
		<i>Pimelodella gracilis</i>	Bagre cantor
		<i>Pseudoplatystoma coruscans</i>	Surubi
		<i>Sorubim lima</i>	Cucharón
	<i>Pseudopimelodidae</i>	<i>Pseudopimelodus mangurus</i>	Manguruyú
		<i>Microglanis sp.</i>	Manguruyú
	<i>Trichomictoridae</i>	<i>Homodiaetus sp.</i>	Sanguijuela
		<i>Parastegophilus sp.</i>	Chupa-chupa
<b>Perciformes</b>	<i>Cichlidae</i>	<i>Crenicichla lepidota</i>	Cabeza amarga
		<i>Crenicichla minuano</i>	Cabeza amarga
		<i>Crenicichla misionera</i>	Cabeza amarga
		<i>Crenicichla scottii</i>	Cabeza amarga
		<i>Crenicichla vittata</i>	Cabeza amarga

		<i>Crenicichla sp.</i>	Cabeza amarga
		<i>Gymnogeophagus australis</i>	Castañeta
	<i>Scianidae</i>	<i>Pachyurus bonariensis</i>	Corvina de río
<b>Gymnotiformes</b>	<i>Sternopygidae</i>	<i>Eigenmania trilineata</i>	Banderita
		<i>Eigenmania virescens</i>	Banderita ratona
	<i>Gymnotidae</i>	<i>Gymnotus sp.</i>	Morena
	<i>Hypopomidae</i>	<i>Brachyhypopomus sp</i>	Morena
<b>Clupeiformes</b>	<i>Clupeidae</i>	<i>Lycengraulis grossidens</i>	Anchoa de río
		<i>Pellona flavipinnis</i>	Lacha
		<i>Platanichthys platana</i>	Sardina
		<i>Ramnogaster melanostoma</i>	Mandufia
<b>Atheriniformes</b>	<i>Atherinopsidae</i>	<i>Odontesthes bonariensis</i>	Pejerrey
		<i>Odontesthes humensis</i>	Pejerrey
		<i>Odontesthes perugiae</i>	Pejerrey juncalero
		<i>Odontesthes (aff. argentinensis)</i>	Pejerrey
		<i>Odontesthes sp.</i>	Pejerrey
<b>Synbranchiformes</b>	<i>Synbranchidae</i>	<i>Synbranchus marmoratus</i>	Anquilla
<b>Pleuronectiformes</b>	<i>Achiridae</i>	<i>Catathyridium jenynsi</i>	Lenguado de río
<b>Rajiformes</b>	<i>Potamotrigonidae</i>	<i>Potamotrygon brachyurus</i>	Raya de río

### APÉNDICE 3.

**Tabla 3.** Abundancia total colectada y frecuencia de ocurrencia de cada especie colectada durante el período de estudio 2005-2019. Se muestra la abundancia total colectada por año desglosada en el muestreo estacional: otoño (O) y primavera (P) de cada año. La frecuencia de ocurrencia representa el % de los muestreos en los que cada especie se colectó y se desglosa en todo el período (Total), el período de línea de base (Pre-UPM) y monitoreos posteriores a la puesta en marcha de UPM S.A. (Post UPM). Las especies presentes en el 100% de los muestreos se marcan en negrita y aquellas únicamente presentes en un muestreo, en cursiva. Las especies más frecuentes en los muestreos pre-UPM (F.O.> 90%) siguen siendo las más frecuentes en los monitoreos Post-UPM.

Especies	2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		TOTAL	Pre-UPM	Post-UPM
	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	F.O. (%)	F.O. (%)	F.O. (%)		
<b><i>Astyanax spp.</i></b>	67	127	46	90	194	635	1521	1131	395	1	249	1074	1124	977	835	1177	290	307	219	990	368	286	55	582	301	830	439	143	598	100.0	100.0	100.0	
<b><i>Cynopotamus argenteus</i></b>	149	23	10	4	109	38	106	49	121	11	125	3	112	12	72	17	77	5	124	62	102	17	67	41	160	197	233	25	100	100.0	100.0	100.0	
<b><i>Iheringichthys labrosus</i></b>	559	687	364	1982	1830	1443	1535	1654	1416	965	580	877	1008	730	1129	828	804	796	462	419	1077	571	352	565	610	590	1327	512	412	100.0	100.0	100.0	
<b><i>Lycengraulis grossidens</i></b>	27	40	23	19	315	85	168	137	415	187	68	1	729	181	516	496	300	202	169	260	421	288	83	26	121	71	273	27	174	100.0	100.0	100.0	
<b><i>Pachyurus bonariensis</i></b>	109	215	130	297	379	206	296	257	295	460	55	49	258	78	316	269	193	427	161	100	195	241	162	89	311	85	196	81	33	100.0	100.0	100.0	
<b><i>Paraloricaria vetula</i></b>	45	35	16	95	104	30	50	55	91	132	27	9	62	20	17	22	35	31	36	17	19	22	86	15	22	4	25	15	24	100.0	100.0	100.0	
<b><i>Parapimelodus valenciennes</i></b>	30	258	19	523	265	1535	562	1746	287	1425	331	290	165	341	165	443	67	217	35	381	49	1024	116	491	107	290	212	601	54	100.0	100.0	100.0	
<b><i>Prochilodus lineatus</i></b>	1	15	2	2	1	25	12	24	4	6	664	260	63	61	9	11	14	7	16	3	78	1	14	276	30	55	57	7	129	100.0	100.0	100.0	
<i>Apareiodon affinis</i>	161	78	83	121	159	328	391	793	1585		215	33	648	304	297	170	75	70	189	348	361	93	5	87	16	270	120	36	50	96.6	100.0	95.8	
<i>Loricariichthys melanocheilus</i>		10	16	155	216	132	103	136	76	295	77	64	37	86	48	128	29	124	17	63	65	208	80	85	34	83	98	244	79	96.6	80.0	100.0	
<i>Megaleporinus obtusidens</i>	72	35	24	6	31	176	70	61	55		171	370	155	144	87	83	36	40	39	38	59	27	7	330	143	219	82	38	101	96.6	100.0	95.8	
<i>Pimelodella gracilis</i>		13	5	24	112	96	160	251	341	52	653	71	75	107	48	22	140	23	56	44	135	99	68	190	108	163	153	20	459	96.6	80.0	100.0	
<i>Astyanax lacustris</i>	34	51	6	7		48	65	234	18		151	26	10	11	9	12	4	1	13	35	65	13	4	83	8	46	33	2	132	93.1	80.0	95.8	
<i>Luciopimelodus pati</i>	4	3	1	4	8	9	8	6	13	15	41	3	10		5	9	1	2	7	2	5	6	2	1	5	4	2	8	93.1	100.0	91.7		
<i>Hypostomus commersoni</i>		6	7	21	6	1	10	7	5		8	10	3	6	1	3	2	6	9	2		1	2	3	1	1	5	4	7	89.7	80.0	91.7	
<i>Pellona flavipinnis</i>	6	22	3		23		8	16	5	6		2	6	1	7	34	25	10	8	29	21	21	10	1	1	9	13	9	13	89.7	80.0	91.7	

<i>Cyphocharax platanus</i>	17		73	4		91	204	22		125	592	892	573	288	320	82	68	33	39	76	41	67	412	184	182	62	58	115	86.2	60.0	91.7		
<i>Ricola macrops</i>					57		61	29	60	116	278	76	4	62	33	17	19	20	30	3	18	5	28	149	12	47	25	19	16	43	86.2	20.0	100.0
<i>Acestrorhynchus pantaneiro</i>	30	19	4		8	2	2	3	3		297	1	3	29		4			9	15	137	7	48	130	15	28	20	1	93	82.8	80.0	83.3	
<i>Bryconamericus stramineus</i>					168	84	73	80	318	88	4	48		686	667	242	316	71	78	22	91	24	10		29	2	231	82	53	38	82.8	40.0	91.7
<i>Loricariichthys edentatus</i>					31	40	56	27	23	23	207	37	6	5	4	2	23	10	23	3	5	1	3		7		6	1	4	2	82.8	40.0	91.7
<i>Salminus brasiliensis</i>	5	5	3		1	3	4	48	10	3	91	13	16	7	3		4		5	3	10	1		2	2		2	3	86	82.8	80.0	83.3	
<i>Auchenipterus nuchalis</i>	2	15	1	1	1		2	4	21		1		11	1	18	4	4		3	1	36	4	9			21	4	2	72	79.3	100.0	75.0	
<i>Catathyridium jenynsii</i>	4	1	1	2	3	1	5		2	2	1		1	1	1	2		2		1	1	1	2		1	2	2		1	79.3	100.0	75.0	
<i>Serrasalmus maculatus</i>	4	2		1	8	1	1	4	1		139	56	20	13	3	6	1				18	1	4	34	1	20	8		38	79.3	80.0	79.2	
<i>Ageneiosus militaris</i>		4		1	2	5		3	1		22	3	2				1	5	4	13	2	15	46	5	20	3	5	3	14	75.9	60.0	79.2	
<i>Leporinus striatus</i>				3	62	12	2	15	28	1	76	4	2	4	7		11	8	3	5	41	10	2	8		3		8	75.9	40.0	83.3		
<i>Odontostilbe pequirá</i>					100	11	20		2	6	62	16	209		113	4	109	9	195	167	157	1	264	2	190	3	38	23	75.9	0.0	91.7		
<i>Eigenmannia virescens</i>	1	4		2	4	2	2	3	2	1	2			9	1	9		3		5	2	4	2	7	1	1			72.4	80.0	70.8		
<i>Cyphocharax spilotos</i>				5	3	44	14	4	10		10	80	35	1		1		1		9	1	32	13	39		2	4		80	69.0	40.0	75.0	
<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	4	1	1		19	1	9		19		43		20		15		13		17	1	19		11	3	3	3	12		45	69.0	80.0	66.7	
<i>Steindachnerina brevipinna</i>		106	50	13	4		1	1			13	2				1		1	5	21	14	10	44	3	4	19	5	86	69.0	80.0	66.7		
<i>Hoplias malabaricus</i>	1		3		1	2	1		1		10	3	3	2	2			3		2		2		3	2	7	2	6	65.5	60.0	66.7		
<i>Odontesthes humensis</i>		1						20	24		4	2	3	59	35	26	2		1	1		2		5	1	1	1	5		62.1	20.0	70.8	
<i>Pimelodus maculatus</i>				8							86	3		14	10	7	5	12	7	7	16	70	40	5	6	9	8	20	62.1	20.0	70.8		
<i>Crenicichla missionera</i>				3	6	8	12	23	14			2	2	12	10	10		2	1	4					2	2		1	58.6	40.0	62.5		
<i>Loricariichthys anus</i>		51					1	1	3		1		2	1	3		5	3	4			3		2	2	2	3	5		58.6	20.0	66.7	
<i>Rhinodoras dorbignyi</i>			3	29	6	11	4		13	15	1	1	1							2	7	49	10	1	1		1		58.6	60.0	58.3		
<i>Oligosarcus oligolepis</i>											3	2		7	66	37	17	15	21			4	9	15	1	4	2	7	20	55.2	0.0	66.7	
<i>Pimelodus sp.</i>	3	29	4	6	23	23	37	104	30	24	890		40	16		7	6	5											55.2	100.0	45.8		
<i>Odontesthes perugiae</i>							20	56	2		2	3	18	31	13			6		7			4		6	1		6	48.3	0.0	58.3		
<i>Pygocentrus nattereri</i>		5		1	3	1		5			1					2						1	7	1		5	1	2	14	48.3	60.0	45.8	
<i>Crenicichla vittata</i>				1			1	3	2	1			1	1	1			1		1	2		1		2	1			44.8	20.0	50.0		
<i>Hypostomus aspilogaster</i>					2	1	1	2	2	3	1	1		3							1	1	3					1	44.8	20.0	50.0		

<i>Pimelodus absconditus</i>					10					1	1								17	16	8	9	32	6	39	42	3	16	44.8	0.0	54.2
<i>Crenicichla minuano</i>		14					3	17	4			2	1	5	12	4	1								4	1			41.4	20.0	45.8
<i>Homodiaetus sp.</i>					21		18	3	3	2			1			6	6	4	3				1	2					41.4	20.0	45.8
<i>Oligosarcus sp.</i>	23	9		3	9	23	19	165	44	5	12		27	8															41.4	80.0	33.3
<i>Schizodon nasutus</i>		29	3	7		1		1			1		1			1	1	8					6				1	41.4	60.0	37.5	
<i>Trachelyopterus lucenai</i>		1		1	2						33	1	4					4				5	1		1	3	2	41.4	60.0	37.5	
<i>Brycon orbignyanus</i>	8	1			3	1	1				13	2	1									19	2					90	37.9	60.0	33.3
<i>Schizodon platae</i>											9	1	2	1					3			1	8	1	1	3		11	37.9	0.0	45.8
<i>Ageneiosus inermis</i>	12											1		1	3							8	18	3	1		1	3	34.5	20.0	37.5
<i>Galeocharax humeralis</i>																		15	56	4	63	16	44	8	164	2	296	34.5	0.0	41.7	
<i>Platanichthys platana</i>						1							55	90	11	23	3	1						1		50	17	34.5	0.0	41.7	
<i>Potamotrygon brachyura</i>					1		2		1		1		1		2	1	1						1		1			34.5	0.0	41.7	
<i>Cyphocharax voga</i>	50							1	1					1	1	7	17					2				2		31.0	20.0	33.3	
<i>Loricariichthys sp.</i>					130	20		2	1	4				1		1	5						1					31.0	20.0	33.3	
<i>Ramnogaster melanostoma</i>					21	20	1	4					66	3	176								1			56		31.0	20.0	33.3	
<i>Oligosarcus jenynsii</i>																10		1	12	19	1		8	5	12			27.6	0.0	33.3	
<i>Rhamdia quelen</i>	1	1	4				3	2				1										1					1	27.6	60.0	20.8	
<i>Schizodon borelli</i>		3										4	3	5	1							1					1	24.1	20.0	25.0	
<i>Bryconamericus iheringii</i>					38								6		31	1	1					1						20.7	20.0	20.8	
<i>Bunocephalus sp.</i>					1		1					1		3								1		1				20.7	20.0	20.8	
<i>Characidium sp.</i>					1	17		1	2				1	6														20.7	20.0	20.8	
<i>Loricariinae sp.</i>	35														1				1	2	1	16						20.7	20.0	20.8	
<i>Otocinclus sp.</i>											1											1	3	2		5	1	20.7	0.0	25.0	
<i>Pimelodella australis</i>																47		3	5	9	1					6		20.7	0.0	25.0	
<i>Auchenipterus osteomystax</i>																	1	1			4			10	2			17.2	0.0	20.8	
<i>Brochiloricaria chauliodon</i>					2	30													1	1					2			17.2	20.0	16.7	
<i>Characidium zebra</i>												1			1	17		2					15					17.2	0.0	20.8	
<i>Hypostomus luteomaculatus</i>		6		6	1							1			1													17.2	60.0	8.3	



<i>Odontesthes bonariensis</i>	1	7	198	2	5													17.2	20.0	16.7		
<i>Rhineloricaria sp.</i>			5	1	2	3	1												17.2	0.0	20.8	
<i>Trachelyopterus albicrux</i>										3		4	1	2	31				17.2	0.0	20.8	
<i>Crenicichla sp.</i>	2	15		3	1														13.8	60.0	4.2	
<i>Gymnogeophagus australis</i>					2	13	8												1	13.8	0.0	16.7
<i>Gymnotus sp.</i>			3				1					1	1						13.8	20.0	12.5	
<i>Hoplosternun littorale</i>										1		1	7						1	13.8	0.0	16.7
<i>Loricaria sp.</i>				6			1		1										1	13.8	0.0	16.7
<i>Parastegophilus</i>											9	1	21	2					1	13.8	0.0	16.7
<i>Pseudohemiodon sp.</i>			3	1															1	13.8	40.0	8.3
<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>								15	5	1	2									13.8	0.0	16.7
<i>Roeboides microlepis</i>										1		1	4	1						13.8	0.0	16.7
<i>Characidium tenue</i>											7		5		2					10.3	0.0	12.5
<i>Charax sp.</i>										1		1							1	10.3	0.0	12.5
<i>Cheirodon interruptus</i>			16			1													5	10.3	20.0	8.3
<i>Hypostomus laplatae</i>					1										1	2				10.3	0.0	12.5
<i>Pterodoras granulosus</i>	2						20	1												10.3	20.0	8.3
<i>Sorubim lima</i>					1		16					1								10.3	0.0	12.5
<i>Characidium rachovii</i>											1								1	6.9	0.0	8.3
<i>Crenichla scotti</i>									1			1								6.9	0.0	8.3
<i>Hyphessobrycon meridionalis</i>					1														2	6.9	0.0	8.3
<i>Hypostomus sp.</i>						1													1	6.9	0.0	8.3
<i>Microglanis Pseudobunocephalus iheringii</i>													1	1						6.9	0.0	8.3
<i>Pseudopimelodus mangurus</i>							1								1					6.9	0.0	8.3
<i>Rineloricaria parva</i>																	3	1		6.9	0.0	8.3
<i>Brachyhypopomus sp.</i>										1										3.4	0.0	4.2
<i>Callichthys callichthys</i>								6												3.4	0.0	4.2

<i>Cheirantinae</i>				1	3.4	0.0	4.2
<i>Corydoras paleatus</i>				2	3.4	0.0	4.2
<i>Crenicichla lepidota</i>	3				3.4	20.0	0.0
<i>Cyphocharax saladensis</i>			1		3.4	0.0	4.2
<i>Eigenmannia trinileneata</i>				4	3.4	0.0	4.2
<i>Hypostomus laplatae</i>				2	3.4	0.0	4.2
<i>Hypostomus roseopunctatus</i>				1	3.4	0.0	4.2
<i>Hisonotus sp.</i>		11			3.4	0.0	4.2
<i>Leporellus pictus</i>				1	3.4	0.0	4.2
<i>Leporinus lacustris</i>			2		3.4	0.0	4.2
<i>Loricariichthys platymetopon</i>				1	3.4	0.0	4.2
<i>Odontesthes sp.</i>	3				3.4	20.0	0.0
<i>Odontesthes spp. (aff Argentinensis)</i>				3	3.4	0.0	4.2
<i>Rhinelepis aspera</i>		1			3.4	0.0	4.2
<i>Rhoeboides affinis</i>				9	3.4	0.0	4.2
<i>Rhinelepis aspera</i>				1	3.4	0.0	4.2
<i>Synbrachichthys marmoratus</i>		1			3.4	0.0	4.2
<i>Trachelyopterus teaguei</i>					3	3.4	0.0
<i>Tripopterus sp.</i>			2		3.4	0.0	4.2
<i>Roeboides microlepis</i>					17	3.4	0.0
<i>Mylossoma duriventre</i>					6	3.4	0.0
<i>Serrasalmus marginatus</i>					2	3.4	0.0
<i>Tripopterus nematurus</i>					1	3.4	0.0
<i>Astyanax erythropterus</i>					1	3.4	0.0
<i>Potamorhina squamoralevis</i>					1	3.4	0.0

#### APÉNDICE 4.

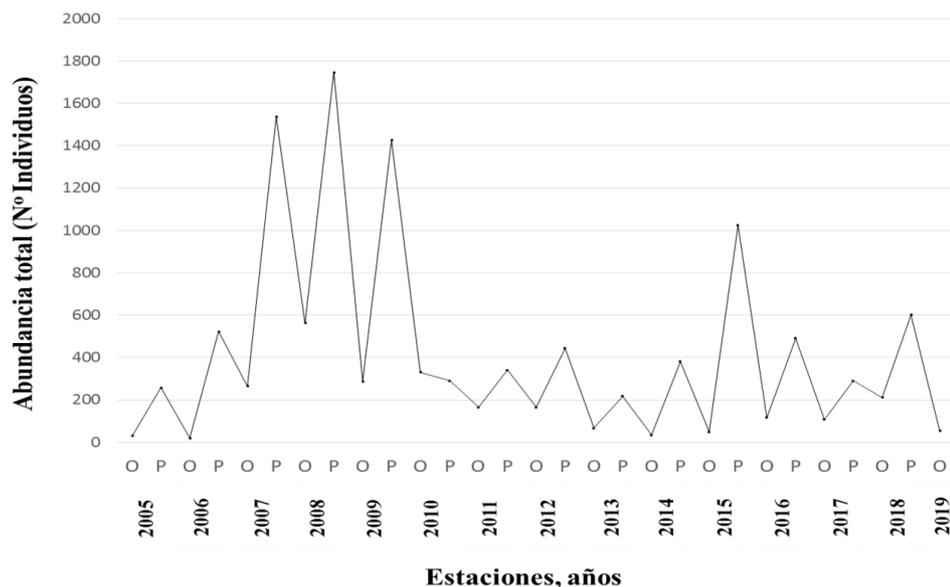


Figura 1. Variaciones estacionales de la abundancia de *P. Valenciennes* durante todo el programa de monitoreo (2005-abril 2019). Se puede observar comportamiento oscilatorio con disminuciones en otoño y aumento en primavera. O= Otoño; P= Primavera.

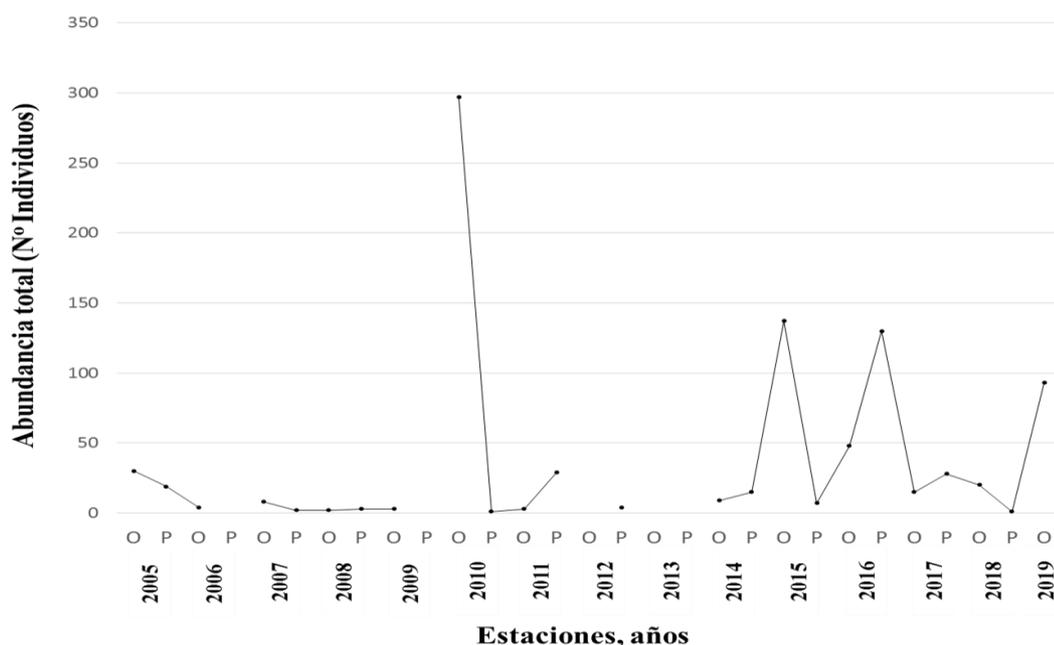


Figura 2. Variaciones estacionales de la abundancia de *A. pantaneiro* durante todo el programa de monitoreo (2005-abril 2019). Las estaciones que no presentan punto corresponden a muestreos en los que no se capturaron individuos de esta especie. O= Otoño; P= Primavera.