



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE CAUDALES QUE FAVOREZCAN EL
HÁBITAT FÍSICO ASOCIADO A SERVICIOS ECOSISTÉMICO DE PRODUCCIÓN DE
PECES EN EL RÍO PARANÁ**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

CLAUDIA ARMIJO CORTÉS

**PROFESOR GUÍA:
MARCELO OLIVARES ALVEAL**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
GUILHERME FERNANDES MARQUES
MATÍAS PEREDO PARADA**

**SANTIAGO DE CHILE
2020**

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniera Civil
POR: Claudia Armijo Cortés
FECHA: 2020
PROFESOR GUÍA: Marcelo Olivares Alveal

DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE CAUDALES QUE FAVOREZCAN EL HÁBITAT FÍSICO ASOCIADO A SERVICIOS ECOSISTÉMICO DE PRODUCCIÓN DE PECES EN EL RÍO PARANÁ

El presente trabajo de título se enmarca en el proyecto “*Improving the governance of the floodplain in over-built river basins*”, cuyo fin es mejorar la gobernanza de la planicie de inundación en la cuenca del río Paraná, aguas abajo de la represa hidroeléctrica de Porto Primavera, que se ha visto afectado por la degradación de sus ecosistemas. El objetivo de la memoria es favorecer el servicio ecosistémico de producción de peces, especialmente los peces migratorios de larga distancia, mediante la determinación de atributos del régimen hidrológico que beneficien el reclutamiento.

Para esto, se analizaron series de profundidades medias diarias aguas abajo de la represa Porto Primavera, las que explican los diferentes grados de inundación de la llanura aluvial; y se compararon con series de abundancia y biomasa de 4 especies de peces migratorios importantes para la economía de la zona: Sábalo, Armado, Surubí y Pacú. Primero se analizaron de modo general, observando el patrón de la serie de caudales y de las series de abundancia y biomasa. Luego se calibraron ecuaciones que predicen los cambios anuales en la abundancia y biomasa de las especies en los diferentes subsistemas de la zona (Paraná, Baía, Ivinheima), utilizando como predictores atributos del régimen hidrológico como duración, intensidad y fecha de las inundaciones. Se utilizaron 19 años de datos (2000-2018); posteriores a la inauguración de la represa Porto Primavera.

Se encontró que la mayor abundancia y biomasa se produjo el año 2007, que tuvo períodos de inundación extensos (57 días sobre 450 cm, 50 días sobre 540 cm, 41 días sobre 610 cm), iniciando en Enero. También el año 2016 presentó alto reclutamiento, y menores duraciones de inundación (12 días sobre 450 cm, 8 días sobre 540 cm y 2 días sobre 610 cm), comenzando en Febrero. Los años sin inundación se caracterizaron por bajos valores de biomasa y abundancia en todos los subsistemas. Las ecuaciones construidas en base a los atributos del régimen de inundación se ajustan con altos niveles de correlación entre los datos observados y los calculados (R^2 ajustado desde 0.636 a 0.74) para los todos los atributos de peces, excepto la abundancia en Paraná y la biomasa en Baía. Los atributos más importantes fueron la inundación ininterrumpida con nivel de agua sobre 540 y 610 cm, que se traducen en 15.000 y 16.900 m³/s respectivamente. Estas ecuaciones podrían ser utilizadas para calcular la abundancia y biomasa de peces migratorios aguas abajo de la represa.

En relación con estudios anteriores, en este trabajo se confirma que el éxito del reclutamiento depende de la duración, magnitud y momento de ocurrencia de eventos hidrológicos como los pulsos de inundación, y se agregan más años a los estudiados anteriormente, cuyo análisis deja abierta la posibilidad de obtener reclutamientos importantes de juveniles de peces migratorios con períodos de inundación no tan extensos (año 2016). Como sugerencia para futuras investigaciones al respecto, se propone la adición de más atributos que intenten explicar la abundancia en el subsistema Paraná, por ejemplo, caudales medios mensuales o tasa de cambio de ciertos eventos, así como también la incorporación de variables fisicoquímicas, y el análisis de eventos climáticos extremos como el fenómeno de El Niño y La Niña que se presentaron de manera recurrente durante los años estudiados.

Dedicatoria

Por el tiempo y esfuerzo, dedicada a mi persona

Y por si causa algún efecto en un lector: los animales son amigos, no comida

Agradecimientos

Finalizando este gran viaje por la Universidad, quiero agradecer a todos quienes me acompañaron, apoyaron, soportaron y guiaron durante estos $1/n$ con $n \rightarrow 0$ años, en buenos y malos momentos.

A los miembros de la comisión, Prof. Guilherme Marques, Prof. Matías Peredo y sobre todo al profesor Marcelo Olivares, por permitirme trabajar con él en este proyecto y en docencia.

A mis niñas Ali, Cami, Coni, Karol, Panchi y Tefi, que las amo tanto, les agradezco por permanecer juntas durante todos estos años y compartir tantas cosas y momentos. La experiencia en la U hubiese sido muy diferente con otro grupo, y no tengo dudas de que ustedes fueron el mejor grupo que pude pedir/soñar/imaginar. De verdad no hay palabras para expresar cuanto las quiero.

A mis kbras de civil Nicole, Ana Cata y Karol gracias por todo lo que compartimos y todo lo que seguiremos compartiendo, las quiero mucho, han sido muy importantes en mi etapa de civil y por lo tanto para toda la vida. Que no falten los vasos rosados.

A las amigas que me dio la natación y la especialidad Cata y Mai, gracias a ustedes logré levantarme temprano para ir a entrenar, y apañé a los TIF y post TIF; de amigas de natación pasaron a ser amigas de la vida. Muchas gracias por estar siempre para mí con sus consejos, anécdotas e historias perrunas y gatunas. Las quiero mucho.

A mis amig@s de Civil Pía, Fabi, Ariel, Gaba, Dania, también les agradezco por haber hecho estos años de especialidad muy lindos, haciendo que cada entrega, prueba y trabajo fuera más llevadero. Gracias por el apañe, los tecitos compartidos, los almuerzos, los terrenos, las pijamadas, los mochileos, los pedaleos.

A mi Dani, porque en ti descubrí una persona hermosa y sorprendentemente parecida a mí, con mucha motivación y aprendí a quererte muy muy muy rápido. Y siempre va a ser divertido recordar los inicios de nuestra amistad.

A mi familia: especialmente gracias a la Rita porque siempre fuiste mi cómplice en muchas locuras, porque me ayudaste a pensar, porque no me juzgaste en tantas ocasiones donde pudiste hacerlo, por irme a buscar a la U, y por los últimos 2 años que estuvimos solas y nos hicieron tan bien. Al Chalo, gracias por estar ahí con tus abrazos, tus atenciones, tus chelas heladas y por instruirme con tus conocimientos en mis lagunas mentales sobre historia, y mil gracias por tu ayuda en la revisión de este documento jeje. A mis papás, que lograron criar una buena persona y me inculcaron la importancia del estudio, la perseverancia, el cariño y el amor. Mi mamá Silvia me enseñó el amor por todos los seres vivos y mi papá Gonzalo el amor y respeto por la naturaleza, lo endémico y lo silvestre.

Al Pascual, la Juana y la Doña, por estar incondicionalmente para mí cuando he necesitado cariño, apoyo o compañía, a pesar de que sus respuestas solo son maullidos.

A la natación, la zumba, el ciclismo, el trekking, el trote, las increíbles travesías y todos los deportes y actividades que me permitieron conocer personas extraordinarias, y me dejaron inquieta de conocer todos los parques nacionales de este mundo y de correr un triatlón.

Y gracias a todos quienes hicieron posible terminar este proceso, todos los profes que tuve, los funcionarios de la U, mis compañeros, la gente del colegio, la gente de natación, la gente que conocí viajando.

Espero poder retribuir como el mundo se merece.

Mención honrosa a quienes compartieron soundtracks de películas buenas en Yutub, que fueron mis fieles acompañantes estos últimos meses de claustro por tesis y cuarentena, y a los inigualables “Los Vásquez” cuyas canciones todavía me encantan después de haberlas escuchado un montón de veces.

Dice un pañuelo escrito con tinta verde que teniendo paciencia todo se alcanza – Violeta Parra

She's got a ticket to ride – The Beatles

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Capítulo 1: Introducción.....	1
Capítulo 2: Revisión de antecedentes.....	3
2.1. Breve reseña zona de estudio.....	3
2.2. Peces migratorios de larga distancia: ciclo de vida y hábitats que utilizan.....	3
2.3. Ciclo hidrológico.....	7
2.4. Alteración por construcción de embalses.....	8
2.4.1. Régimen hidrológico.....	8
2.4.2. Régimen de sedimentos.....	9
2.4.3. Consecuencias sobre las comunidades de peces.....	10
2.5. Descripción de peces de interés.....	14
2.5.1. <i>Prochilodus lineatus</i> (Curimba, Sábalo).....	15
2.5.2. <i>Piaractus mesopotamicus</i> (Pacú).....	16
2.5.3. <i>Pseudoplatystoma corruscans</i> (Pintado, Surubí).....	17
2.5.4. <i>Pterodoras granulosus</i> (Armado, Abotoado).....	17
Capítulo 3: Metodología.....	19
3.1. Datos disponibles en zona de estudio.....	19
3.2. Análisis de datos.....	21
3.2.1. Análisis de datos de peces.....	21
3.2.2. Análisis de datos hidrológicos.....	22
3.3. Regresiones lineales múltiples.....	26
Capítulo 4: Resultados y discusiones.....	29
4.1. Peces.....	29
4.2. Series de profundidades y año hidrológico.....	33
4.3. Análisis y discusión de resultados: peces, series de profundidades y año hidrológico.....	36
4.3.1. Años sin inundación: nivel fluviométrico no superó 450 cm.....	36
4.3.2. Años con inundación moderada: niveles fluviométricos entre 450 y 610 cm.....	37
4.3.3. Años con inundaciones intensas: niveles fluviométricos sobre 610 cm.....	38
4.4. Regresiones lineales múltiples.....	44
4.5. Análisis y discusión regresiones lineales múltiples.....	47
4.5.1. Comparación regresiones generadas con 19 y 13 años de datos.....	47
4.5.2. Atributos seleccionados.....	47
4.6. Verificación de hipótesis de trabajo.....	50

4.7. Principales limitaciones.....	51
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones	52
Bibliografía.....	53
Apéndices	56
A. Resultados peces	57
B. Resultados serie de profundidades.....	61
C. Fenómeno de El Niño: fechas históricas.....	70
D. Comportamiento regresiones versus datos observados	71

Capítulo 1 : Introducción

En Junio de 2020, cerca del 66% de la capacidad instalada de energía eléctrica en Brasil (108.400 MW) se genera a través de hidroeléctricas ("ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico", 2020). La principal fuente de hidroelectricidad son los ríos que se embalsan, cuya acumulación de agua se libera controladamente para generar energía mediante turbinas. Uno de los ríos más intervenidos en América del Sur es el Paraná, que en su porción brasileña presenta más de 100 embalses importantes (Agostinho *et al.*, 2008). La construcción de embalses ha provocado alteraciones en los ecosistemas del río. Las represas, al transformar la dinámica del agua en el área embalsada y modificar el régimen hidrológico de los tramos aguas abajo, alteran la calidad y la diversidad de la biota acuática (Agostinho *et al.*, 2008). Esta memoria se enmarca en el proyecto “*Improving the governance of the floodplain in over-built river basins*” del *Inter-American Institute for Global Change Research*, cuyo objetivo general es mejorar la gobernanza de la planicie de inundación en la cuenca del río Paraná, donde el sustento de las comunidades ribereñas está en riesgo debido a la degradación de los ecosistemas.

En particular, el proyecto desea potenciar el servicio ecosistémico de producción de peces, que se ha visto debilitado en el área de estudio, aguas abajo del embalse de Porto Primavera (capacidad instalada 1.540 MW) en el estado de São Paulo, Brasil. Esto constituye la principal motivación del presente trabajo.

Debido al cambio en el régimen hidrológico con respecto al ciclo natural, la talla promedio de los peces ha disminuido y dominan especies con estrategias sedentarias y cuidado parental (Agostinho *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2018). Las especies nativas, migratorias de larga distancia son las más afectadas, que incluyen peces más grandes con un alto valor de mercado (Agostinho *et al.*, 2016; dos Santos *et al.*, 2019). Estas requieren diferentes hábitats para cumplir sus ciclos de vida y dependen en gran medida del régimen de inundación estacional, que se ve alterado debido a la operación de la presa (Agostinho *et al.*, 2016). Se incluyen 4 especies de peces migratorios en este estudio: *Prochilodus lineatus* (Curimba, Sábalo), *Pterodoras granulosus* (Armado, Abotoado), *Pseudoplatystoma corruscans* (Pintado, Surubí), *Piaractus mesopotamicus* (Pacú).

La hipótesis de trabajo es “la abundancia y biomasa de juveniles del año de las 4 especies migratorias de larga distancia se pueden explicar por atributos del régimen hidrológico como magnitud, duración y fecha de las inundaciones en la zona de estudio”.

Considerar estos atributos en la planificación de la operación de la represa Porto Primavera, podría beneficiar la abundancia y biomasa de estos peces.

El objetivo general de la memoria es identificar cuáles son los atributos del régimen hidrológico que se correlacionen con indicadores del servicio ecosistémico de producción de peces aguas abajo del embalse hidroeléctrico de Porto Primavera.

Los objetivos específicos son:

1. Analizar y caracterizar los cambios que ha sufrido el régimen hidrológico del río Paraná Superior, posterior a la construcción de la represa Porto Primavera con respecto al régimen natural.
2. Cuantificar las variaciones anuales en la cantidad de peces migratorios que habitan la zona (específicamente los juveniles del año).
3. Determinar los atributos o eventos específicos del ciclo hidrológico que explican las variaciones anuales de peces.

La estructura del informe continúa con el capítulo 2, de revisión de antecedentes. En este se describe brevemente la región de estudio, con énfasis en los peces migratorios que habitan el río Paraná, su ciclo de vida y los hábitats que utilizan. Posteriormente se informa sobre el ciclo hidrológico de la región, y los cambios que ha sufrido tras la construcción de represas, en particular la represa de Porto Primavera. En el capítulo 3, se describe la metodología seguida en este trabajo, que inicia con la recopilación y análisis de datos hidrológicos, y el análisis de datos de abundancia y biomasa de peces migratorios en la zona, y continúa con el proceso seguido para encontrar las relaciones entre los atributos de peces y las características del régimen hidrológico. En el capítulo 4 se muestran los resultados obtenidos, que son inmediatamente discutidos, para finalizar con las conclusiones en el capítulo 5, que resumen los principales hallazgos y recomendaciones de este trabajo.

Capítulo 2: Revisión de antecedentes

En esta sección, se entregarán antecedentes relacionados al tema de estudio, que aporten en la comprensión del trabajo que se desarrollará y permitan tener una visión detallada de los procesos físicos y biológicos involucrados. Se describirán diversas características de la zona de estudio, que históricamente ha sido objeto de numerosas investigaciones. Estas investigaciones incluyen estudios del ciclo hidrológico, efectos de la construcción de grandes represas, ecosistemas de la zona y biodiversidad, entre otros tópicos.

2.1. Breve reseña zona de estudio

La zona que se estudia en este trabajo es un tramo del sector Superior del río Paraná, en Brasil. Específicamente la porción aguas abajo de la represa hidroeléctrica de Porto Primavera, que entró en operación el año 1998 (Arenas - Ibarra, J., & Souza - Filho, E., 2007). El área del río Paraná Superior se caracteriza por ser un sistema de llanura aluvial: con una pendiente promedio de 0,09 m/km en dirección Nor Este-Sur Oeste (Agostinho *et al.*, 2001), las extensas áreas adyacentes al canal principal del Paraná se inundan recurrentemente cuando aumenta el nivel hidrométrico del río (Junk, Bayley & Sparks, 1989).

Actualmente, este sector se encuentra altamente intervenido por acciones antropogénicas, principalmente por la construcción de embalses que están presentes en los afluentes principales (ríos Grande, Paranaíba, Tiete y Paranapanema) y en el canal principal del Paraná (Agostinho *et al.*, 2008). En esta región hay más de 100 embalses importantes (presa de altura superior a 10 [m] de altura); entre estos, el 20% tiene más de 100 km² de los cuales cuatro están ubicados en el canal principal del río Paraná (Jupia, Ilha Solteira, Porto Primavera e Itaipú) y tienen áreas que van desde 482 a 2.250 km² (Agostinho *et al.*, 2004b).

Antes de la construcción de la represa de Porto Primavera, existía un tramo de 480 km de llanura de inundación, abarcando desde la represa Jupia aguas arriba hasta la represa de Itaipú aguas abajo. Con la entrada en operación de Porto Primavera, este tramo se redujo a aproximadamente 230 km, siendo el único trecho libre de presas actualmente en el río Paraná (Agostinho *et al.*, 2013). Esta alteración en el curso del río ha modificado la estructura y función de la llanura de inundación, lo que ha tenido diversos impactos en la fauna de peces. A pesar de su reducción, el área todavía juega un papel fundamental en el mantenimiento de la biodiversidad regional (Agostinho *et al.*, 2004b).

2.2. Peces migratorios de larga distancia: ciclo de vida y hábitats que utilizan

Los ecosistemas asociados al río Paraná se caracterizan por poseer una alta heterogeneidad de hábitat (Agostinho *et al.*, 2004b) que particularmente han permitido el desarrollo de cerca de 180 especies de peces (Ferreira *et al.*, 2008). Específicamente, este estudio se enfoca en los peces migratorios de larga distancia, que tienen un importante valor comercial en la zona debido a su gran tamaño y a que son los favoritos para el consumo humano (Agostinho *et al.*, 2016, dos Santos *et al.*, 2019).

La principal característica de los peces migratorios de larga distancia es que realizan extensas migraciones reproductivas, en las que utilizan diferentes hábitats de la cuenca: desde el canal principal del río Paraná hasta los tramos superiores de sus principales afluentes, incluyendo zonas de la llanura de inundación y el embalse de Itaipú (Agostinho *et al.*, 2003).

Las etapas de desarrollo de la vida de los peces migratorios de larga distancia se resumen en la figura 2.1. La primera etapa de la vida de estas especies es en forma de huevos, luego embriones, posteriormente eclosionan a larvas y crecen hasta volverse alevines y juveniles. Finalmente, cuando alcanzan la maduración sexual se consideran adultos. Los peces adultos realizan migraciones en ciclos que se repiten anualmente (Sverlij, Espinach Ros & Orti, 1993).

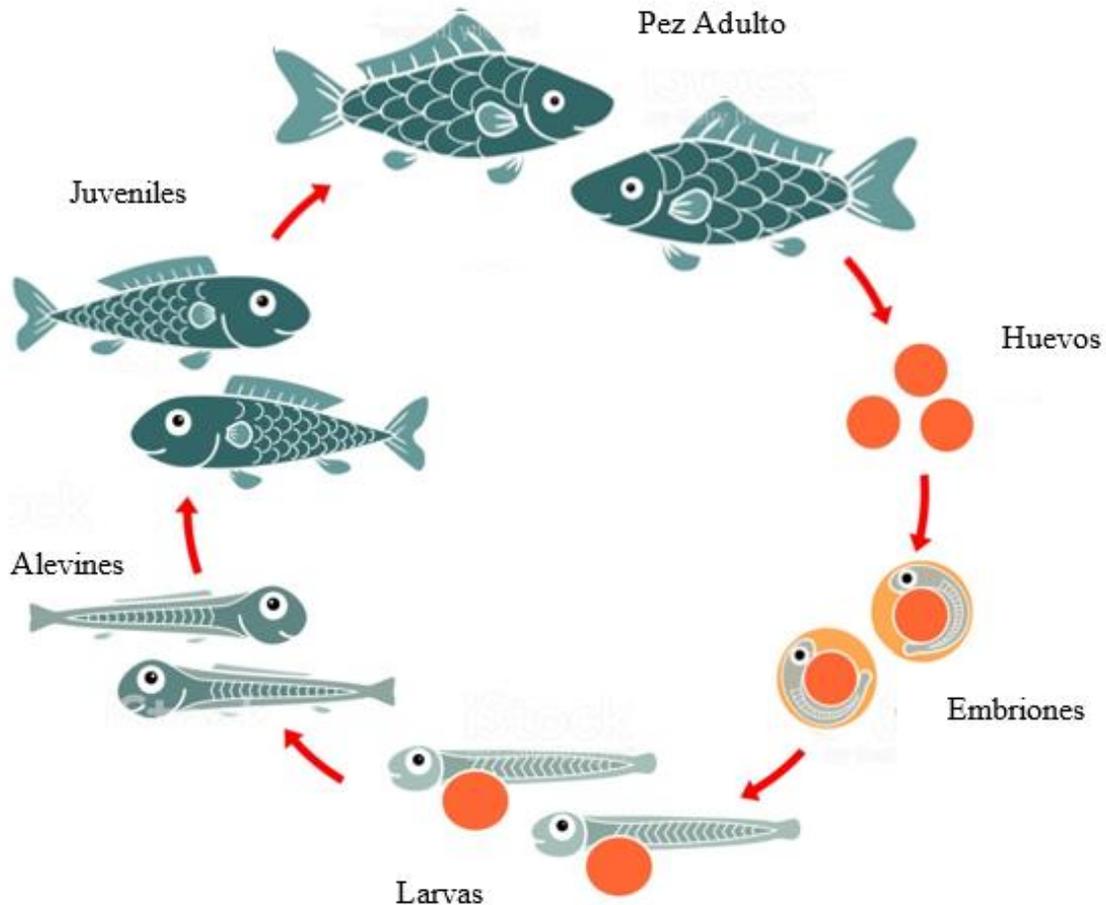


Figura 2.1: Ciclo de vida de peces migratorios, elaboración propia.

A continuación, se describirá el ciclo de vida de los peces migratorios comenzando en la etapa adulta, basado principalmente en la información presentada por Agostinho *et al.* (2003) y Sverlij, Espinach Ros & Orti (1993), en conjunto con una especificación de los hábitats que utilizan en las diferentes etapas de su vida en la zona del río Paraná Superior. Estos procesos se presentan gráficamente en la figura 2.2.

Los peces adultos, usualmente habitan el embalse de Itaipú y el canal principal del río Paraná. Cuando los niveles fluviométricos en el río comienzan a ascender (al inicio de la temporada de inundaciones), los peces adultos emprenden la migración río arriba (ruta naranja en figura 2.2), coincidiendo con las primeras etapas del proceso de maduración gonadal, y con una alta concentración de nutrientes en el río y las lagunas adyacentes. (Agostinho *et al.*, 2004a).

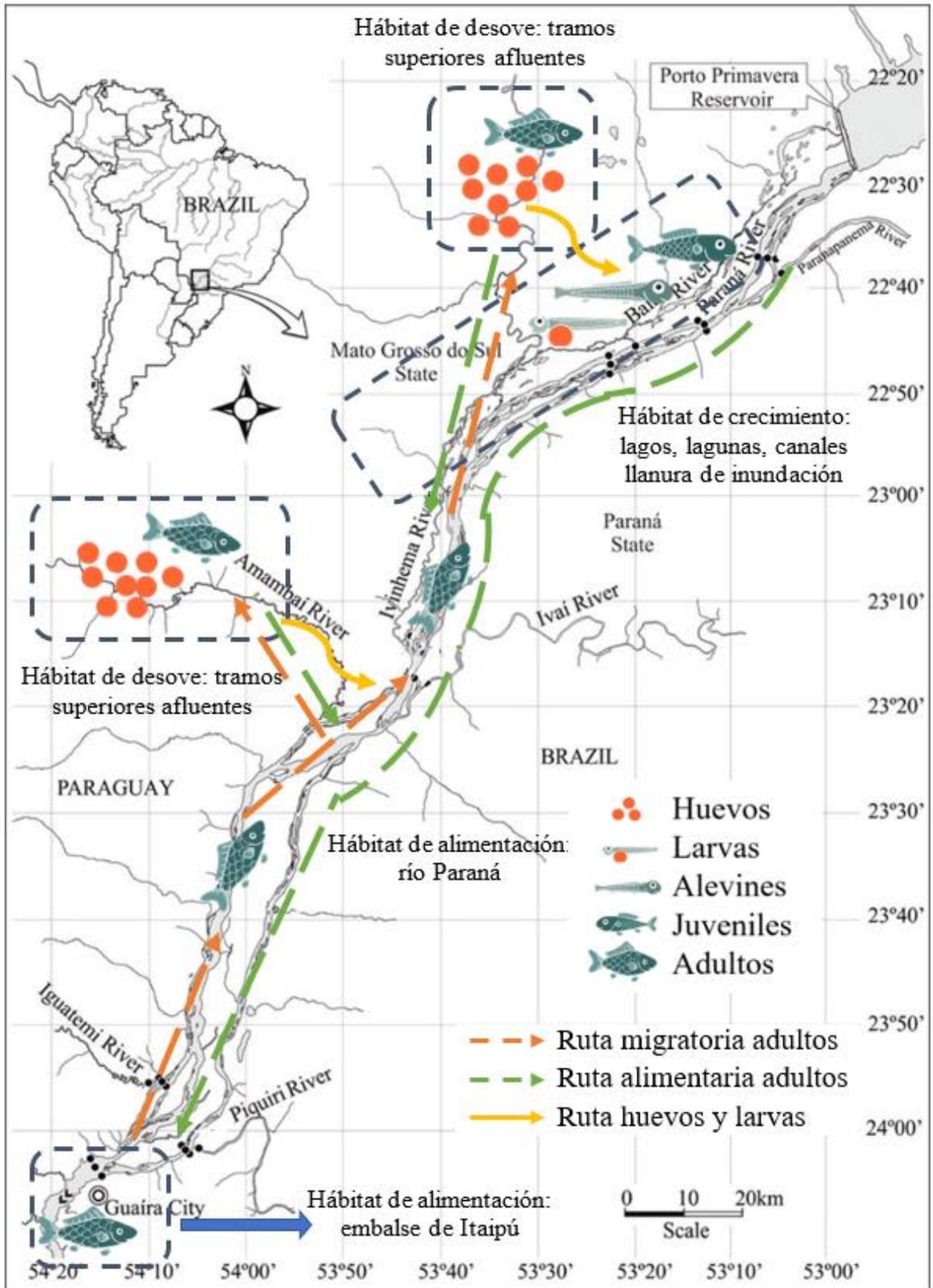


Figura 2.2: Movimientos de larvas, juveniles y adultos de peces migratorios de larga distancia entre áreas de desove, crecimiento y alimentación. (Elaboración propia sobre mapa de Jati *et al.*(2017)).

Los destinos de las migraciones reproductivas son, en general, los tramos superiores de los afluentes del río Paraná, como los ríos Ivinheima, Baía y Piquiri (Vazzoler *et al.*, 1997), donde llegan grandes cantidades de peces hembras que desovan, y machos que liberan esperma, para que se produzca la fertilización externa de los gametos (a estos hábitats se les denomina “hábitat de desove”). Esto ocurre fácilmente debido a la mezcla del agua por turbulencia; y las condiciones para el desarrollo de los huevos recién fertilizados son propicias: alta oxigenación y baja transparencia, lo que impide a otros animales detectar los huevos y depredarlos (Agostinho *et al.*, 2003). La migración y posterior desove y fecundación de huevos ocurre, en general, entre Octubre y Marzo. Se ha encontrado que los grandes peces migratorios no desovan cuando el nivel del agua del río es estable o disminuye (Agostinho *et al.*, 2003; Sverlij, Espinach Ros & Orti, 1993).

El hábitat utilizado por los peces adultos se denomina “hábitat de alimentación”, y comprende prácticamente todo el entorno del río Paraná superior: incluye el canal principal del Paraná, ríos meandrosos del margen oeste (Ivinheima, Iguatemi, Amambai), ríos rápidos del margen este (Piquiri, Ivai), canales secundarios que conectan la llanura con el río y el embalse de Itaipú (Vazzoler *et al.*, 1997).

Los hábitats de desove generalmente se encuentran en las partes altas de los grandes tributarios del Paraná, como se mencionó anteriormente. Se destaca además que especies del orden Characiformes (*P. lineatus*) prefieren aguas poco profundas, y ancho relativamente angosto (inferior a 3 m de profundidad, y 80 m de ancho) y con turbulencia moderada para el desove. Por otra parte, las especies de orden Siluriformes (*P. granulatus*, *P. corruscans*), prefieren ambientes más lénticos, como los trechos inferiores del río Ivinheima. Otras especies desovan en el canal principal del río Paraná, como *P. mesopotamicus* (Agostinho *et al.*, 2003).

Los huevos, en las zonas de desove, se hidratan y aumentan su volumen, lo que les permite flotar y desplazarse con el flujo en condiciones de aumento del nivel de agua. Durante este proceso eclosionan, influenciados a su vez por la temperatura del agua (Vazzoler *et al.*, 1997; Sverlij, Espinach Ros & Orti, 1993). Las larvas y alevines son arrastrados por el flujo del agua hacia los tramos inferiores de los afluentes del río Paraná (ruta amarilla en figura 2.2). Si el nivel fluviométrico se mantiene alto, larvas y alevines pueden acceder a la planicie de inundación o a las lagunas de la planicie de inundación (entornos que se inundan sólo estacionalmente), donde encuentran un hábitat idóneo para su desarrollo inicial: temperaturas cálidas, alimento y refugio (Agostinho *et al.*, 2003). Este hábitat utilizado por larvas, alevines y juveniles se denomina “hábitat de crecimiento”.

Cuando el nivel del agua comienza a disminuir, los peces, se concentran en las depresiones de la llanura o nadan con la corriente hacia las lagunas a través de los canales que se mantienen con agua dentro de la planicie de inundación. En esta etapa se produce una gran mortandad de juveniles, debido principalmente a depredación por parte de aves, mamíferos o reptiles en cuerpos de agua muy someros, o en el trayecto hacia afuera de la llanura; a su vez, si una laguna se seca, los juveniles que la habitan mueren por desecación (Agostinho *et al.*, 2003).

En las lagunas que se mantienen con agua, los juveniles pueden permanecer por un período de 1 o 2 años (Agostinho *et al.*, 1993), dependiendo de la especie, y en la siguiente inundación, cuando las lagunas vuelven a conectarse con el canal principal del río, nadan hasta allí. Ya son adultos, y pueden emprender sus propias migraciones reproductivas dependiendo de su estado de maduración sexual (Vazzoler *et al.*, 1997).

Los peces adultos, una vez desovados (en los tramos superiores de los afluentes), realizan una migración de retorno río abajo (ruta verde en figura 2.2), por rutas más lentas y sinuosas que la

migración río arriba. En esta migración de retorno, buscan alimento en las planicies de inundación, y finalmente acceden al canal principal, en el que pueden permanecer, o nadar hasta el embalse de Itaipú (Agostinho *et al.*, 1993).

Como se puede apreciar, el ciclo hidrológico, especialmente los eventos de inundación constituyen un factor importante que explica la estacionalidad del ciclo reproductivo de las especies migratorias (Agostinho *et al.*, 2004b, Piana *et al.*, 2017, Suzuki *et al.*, 2009). Además, este ciclo reproductivo es influenciado por fenómenos ambientales, como la abundancia de alimento, la química del agua, la luz (fotoperíodo) y la temperatura (Vazzoler *et al.*, 1997). Los últimos dos son los detonantes más comunes que inician o controlan la tasa de desarrollo gonadal.

2.3. Ciclo hidrológico

En el sector del río Paraná Superior, el régimen de lluvias está marcado por una estación húmeda de Octubre a Febrero, época en que la precipitación mensual promedia más de 125 mm, y una estación seca de Junio a Septiembre, cuando la precipitación es menor a 80 mm (Agostinho *et al.*, 2004a). Con esto, el régimen hidrológico del río se caracteriza por una fase de aguas altas (temporada húmeda), que puede comenzar de Octubre a Enero, y que se extiende hasta Abril-Mayo del año siguiente; y un período de aguas bajas (temporada seca), que ocurre en invierno, entre los meses de Junio y Septiembre (Agostinho *et al.*, 2004a). Episodios de inundaciones excepcionalmente intensas y prolongadas son atribuidos a eventos climáticos como el Fenómeno de El Niño (Fernandes *et al.*, 2009).

Esta sucesión de períodos de aguas altas y bajas se denomina pulso de inundación, y se mide con respecto a un nivel hidrométrico de referencia (Casco, 2005). En particular, estos períodos reciben el nombre de potamofase y limnofase, para aguas altas y bajas, respectivamente.

La superación del nivel de inundación implica la ocurrencia de flujos horizontales de agua, sedimentos y organismos desde el curso del río hasta la planicie de inundación y viceversa, mientras que en los períodos de aguas bajas existe poco o nulo flujo de agua, sedimentos y organismos entre ambos ambientes, implicando un aislamiento de la planicie (Casco, 2005).

Estudios realizados en la zona por Fernandes *et al.* (2009), Oliveira *et al.* (2014), Suzuki *et al.* (2009), entre otros, han considerado el nivel de referencia como los 450 cm de profundidad en el río Paraná, registrados en la estación Porto São José (aguas abajo de la junta de los ríos Paranapanema y Paraná). Este valor ha sido definido como el comienzo de la inundación efectiva de las partes bajas de la llanura adyacente al río Paraná. Otros niveles de relevancia son los 540 cm, que representan el promedio de la profundidad que cubre las barras fluviales y el límite inferior de la profundidad que supera los diques más altos (Suzuki *et al.*, 2009), y finalmente los 610 cm, en que se considera la llanura completamente inundada (Vazzoler *et al.*, 1997; Oliveira *et al.*, 2014; Suzuki *et al.*, 2009).

Previo a la existencia de acciones antropogénicas sobre la cuenca, el ciclo hidrológico del río Paraná correspondía a su régimen natural. El concepto de régimen natural de caudales fue ampliamente descrito por Poff *et al.* (1997) para ríos en general, y las consecuencias de su alteración fueron sintetizadas por Bunn & Arthington (2002).

Poff *et al.* (1997) destacan que este régimen (comportamiento del río sin alteraciones humanas) juega un rol crítico en sustentar la biodiversidad nativa y la integridad de los ecosistemas asociados a los ríos, en cuanto determina la geomorfología del río y de la planicie de inundación adyacente, y modera el régimen sedimentológico. Una consecuencia de esto es que define evolutivamente a los diferentes seres vivos que se desarrollan en el sector. Los autores destacan que entre las principales alteraciones al régimen debido a acciones antropogénicas, en particular a la construcción de represas, se encuentran la estabilización del caudal (pérdida de extremos naturales), caudales bajos prolongados, pérdida de “*peaks*” estacionales, cambios rápidos en el nivel del río, “*peaks*” de flujo base prolongados, entre otros.

Bunn & Arthington (2002) definieron 4 principios que destacan los mecanismos que conectan hidrología y diversidad acuática para ilustrar las consecuencias de regímenes alterados. En particular, los más notables para este estudio son: “el caudal es un determinante importante del hábitat físico en ríos, que a su vez es un determinante importante de la composición biótica” y “la historia de vida de especies acuáticas ha evolucionado principalmente en respuesta directa a los regímenes de flujo natural”.

En consecuencia, la alteración de un régimen hidrológico natural presentaría condiciones nuevas a las que se enfrenta la biodiversidad de la zona, provocando desequilibrios como “la invasión y el éxito de especies exóticas e introducidas en los ríos”, que corresponde al cuarto principio de Bunn & Arthington (2002). Estas alteraciones, que afectan a la zona de estudio, serán abordadas en el apartado siguiente.

2.4. Alteración por construcción de embalses

Diversos estudios han descrito y cuantificado los principales cambios en el régimen hidrológico, sedimentológico y las dinámicas poblacionales de los peces en el río Paraná Superior tras la construcción de embalses, en particular el de Porto Primavera.

2.4.1. Régimen hidrológico

En cuanto al régimen hidrológico, las principales alteraciones registradas producto de la operación de las represas aguas arriba de la zona de estudio han sido el aumento de los niveles hidrométricos mínimos y la reducción de los niveles máximos (disminución de la intensidad de los pulsos de inundación) (Agostinho *et al.*, 2004a). A su vez, ha aumentado la frecuencia de pulsos pequeños, a escalas diarias o semanales producidos por la operación de las represas aguas arriba. El caudal medio diario en [m³/s] en la estación Porto São José se muestra en la figura 2.3 (Souza, E., 2008), registrados entre los años 1964 y 2008. El último tramo representa la descarga directamente influenciada por la operación de la represa de Porto Primavera. En dicho período los mínimos en general superan los 6.000 m³/s, mientras en el primer período los mínimos descienden a 4.000 m³/s aproximadamente. A su vez, en el último período, los máximos no superan los 20.000 m³/s, y previo a la construcción del embalse Porto Primavera alcanzaban valores mayores.

En la figura 2.4 (Agostinho *et al.*, 2008), a su vez, se presentan los caudales medios, mínimos y máximos para diferentes períodos, medidos en la zona aguas abajo de la represa Porto Primavera. En esta se puede observar una importante disminución de los máximos y el caudal medio.

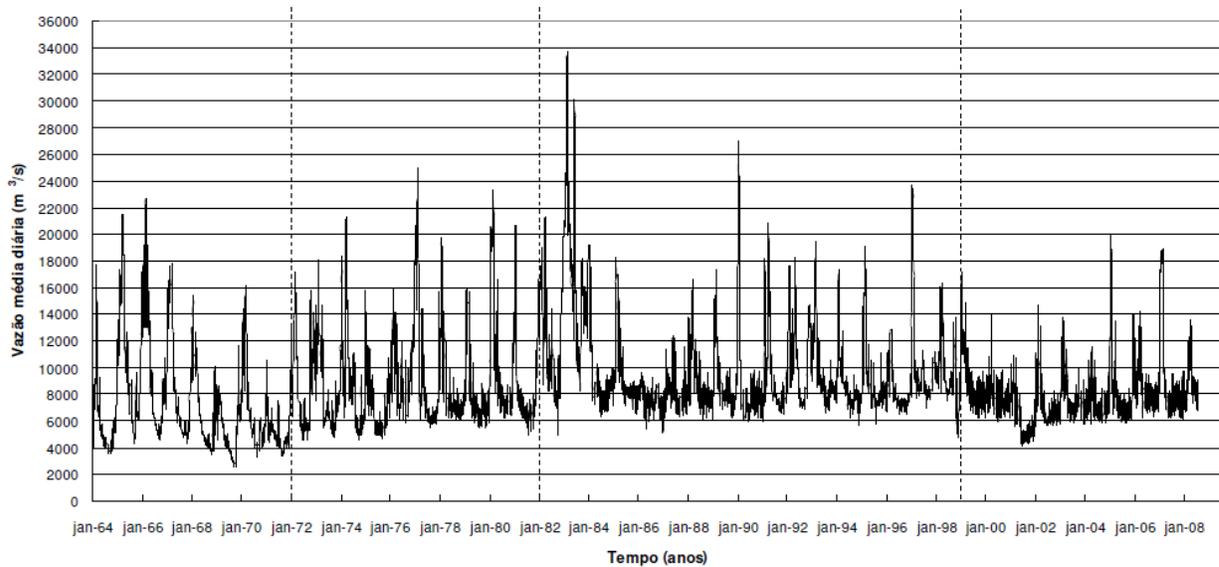


Figura 2.3: Caudales medios diarios [m^3/s] en estación Porto São José, entre años 1964 y 2008. (Souza, E., 2008)

Period	Qm	Qmax	Qmin
1972 - 1981	9144	20522	5623
1982 - 1998	9772	18414	5997
1999 - 2006	7816	14580	5593

Figura 2.4: Caudal medio (Qm), máximo (Qmax) y mínimo (Qmin) en [m^3/s] en distintos períodos en la zona aguas abajo de la represa Porto Primavera. (Agostinho *et al.*, 2008)

Además de la alteración a la frecuencia e intensidad de los pulsos de inundación, se suma la alteración a las fechas de ocurrencia de estos eventos, que históricamente comenzaba en el mes de Octubre (Agostinho *et al.*, 2003; Piana *et al.*, 2017; Suzuki *et al.*, 2009) y posterior a la operación de la represa Porto Primavera, han ocurrido en general en Enero, Febrero y Marzo (Suzuki *et al.*, 2009).

Los eventos más importantes de inundación (alta amplitud y duración), siguen siendo influenciados por el fenómeno de El Niño, que no puede ser neutralizado por las represas existentes en la cuenca, a diferencia de los pulsos estacionales (Agostinho *et al.*, 2013). Estos eventos presentan una periodicidad cercana a los 7 años (Agostinho *et al.*, 2004b). En el apéndice C se encuentra un gráfico resumen de los eventos de El Niño ocurridos en los últimos 70 años.

2.4.2. Régimen de sedimentos

Dentro de las principales alteraciones al régimen de sedimentos y nutrientes, destaca la retención de estos dentro de los embalses, especialmente de fósforo (Agostinho *et al.*, 2004b). Esto provoca la liberación de aguas pobres en nutrientes y sedimentos a los ríos aguas abajo, y ha significado

una reducción de los nutrientes disponibles en las áreas que se inundan estacionalmente. Se ha registrado además un aumento de la transparencia del agua, como se describirá a continuación.

Agostinho *et al.* (2004b), mencionan variaciones en los indicadores “concentración de fósforo total [$\mu\text{g/L}$]” y “transparencia del agua (medido en profundidad de disco de Secchi [m])” entre dos períodos previos a la construcción de la represa Porto Primavera (1987-1988, 1993-1994) y uno posterior (2000-2001), en el canal principal del río Paraná. Describieron una disminución en las concentraciones medias mensuales de fósforo, y un aumento en la transparencia del agua, como se puede apreciar en la figura 2.5 (Agostinho *et al.*, 2004b). Para las lagunas en la planicie de inundación también se destaca una disminución del fósforo, indicando un efecto de dilución del río Paraná sobre las aguas de la planicie (Agostinho *et al.*, 2013).

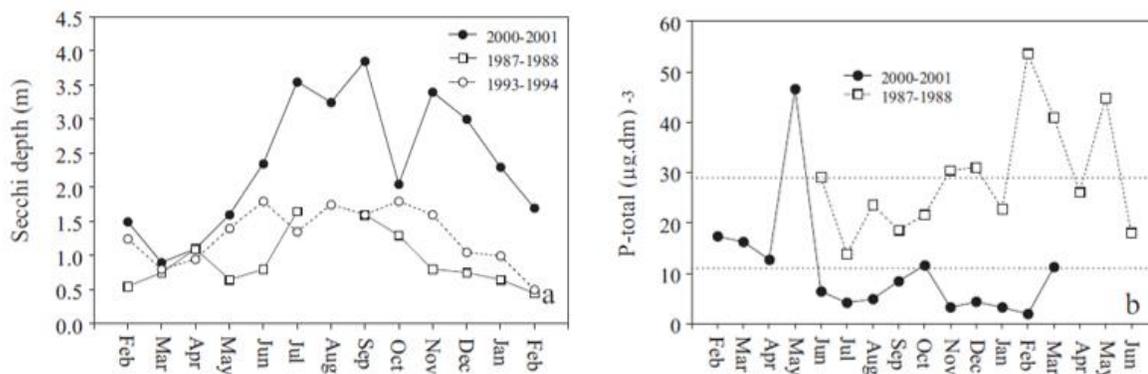


Figura 2.5: Valores medios mensuales para transparencia del agua (a) y concentración de fósforo (b) en el canal principal del río Paraná en períodos previos y posteriores a la construcción de la represa Porto Primavera (Agostinho *et al.*, 2004b).

2.4.3. Consecuencias sobre las comunidades de peces

Las consecuencias sobre las comunidades de peces dada la construcción de represas se pueden atribuir principalmente a los cambios en el régimen hidrológico natural, que está estrechamente relacionado con el ciclo reproductivo de los peces, a la presencia de barreras en la ruta de los peces migratorios (Agostinho *et al.*, 2004b) y a la formación de nuevos cuerpos de agua que históricamente no han existido en la zona (Agostinho *et al.*, 2016). Estas consecuencias se observan tanto en la zona embalsada (aguas arriba del muro de la presa), como en las zonas de los ríos aguas abajo del muro (Agostinho *et al.*, 2003).

En el cuerpo del embalse, destaca la colonización de especies exóticas con pre-adaptaciones a ambientes lénticos, en desmedro de la baja presencia de especies migratorias grandes, que se desplazan fuera del embalse hacia el río (aguas arriba) (Agostinho *et al.*, 2008). Con esto, en los embalses predominan especies sedentarias, que desarrollan cuidado parental (Agostinho *et al.*, 2015) con una menor dependencia de los ambientes fluviales y la heterogeneidad del hábitat (Agostinho *et al.*, 2003) y de tamaño pequeño en comparación con las especies que habitaban el río antes de la construcción de las represas. Esto indica que los embalses actúan como un filtro ambiental para las especies sin pre-adaptaciones (Oliveira *et al.*, 2018).

La figura 2.6 resume las capturas en pesquería artesanal en la zona del embalse de Itaipú en 3 diferentes años: 1977 (5 años antes de la construcción del embalse de Itaipú), 1987 y 1997 (5 y 15 años después de la construcción, respectivamente) (Agostinho *et al.*, 2008). Se observa que previo a la construcción de la represa, la captura de peces migratorios de larga distancia (nombre en negrita) representaba prácticamente la totalidad de las capturas. Posterior a la construcción, sólo

las especies migradoras de larga distancia *P. granulatus* y *P. lineatus* fueron de importancia dentro de las capturas, aumentando la pesca de especies con otra estrategia de vida (sedentarios o migradores de corta distancia) como *H. edentatus* y *P. squamosissimus*.

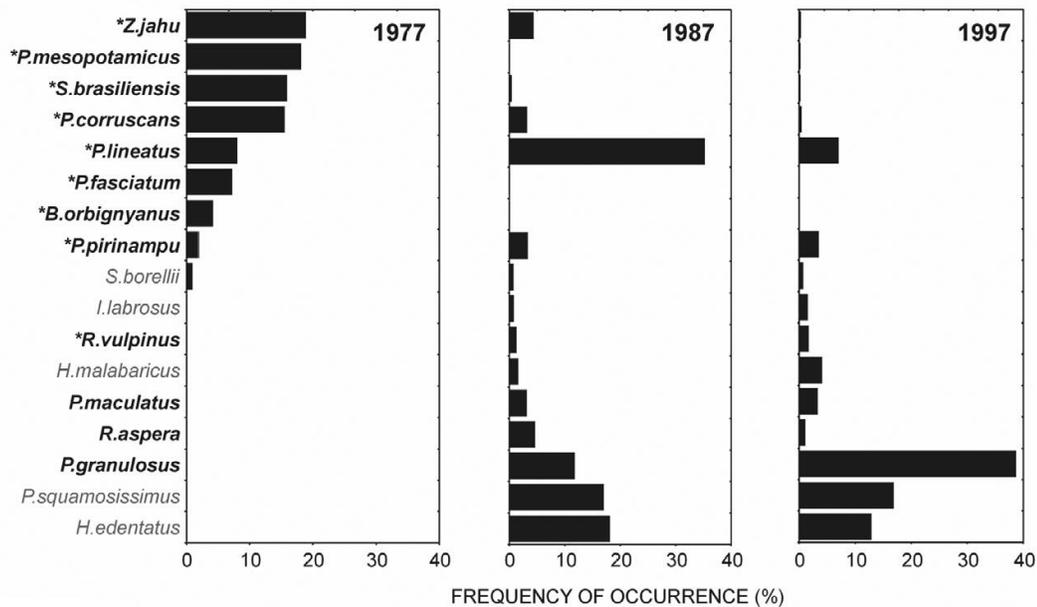


Figura 2.6: Porcentaje de peces capturados en pesquería artesanal en zona del embalse de Itaipú en 1977, 1987 y 1997 (Agostinho *et al.*, 2008)

Diversos autores han estudiado la relación entre la abundancia de peces migradores de larga distancia con características del régimen hidrológico de la zona.

En el caso específico de *P. lineatus*, Agostinho *et al.* (2004a) informaron que la biomasa de juveniles (menores a 2 años) de esta especie en la pesca artesanal en el embalse de Itaipú, se correlacionó positivamente con la duración de las inundaciones (Coef. Pearson = 0,8), con el nivel medio anual en el río Paraná (Coef. Pearson = 0,75) y con menos fuerza al nivel máximo de agua (Coef. Pearson = 0,42), para datos del período entre 1988 y 1992 medidos en la estación de Porto São José.

Con respecto a la zona riverina, la alteración a la frecuencia, intensidad y fechas de los pulsos de inundación afecta directamente a las zonas que se inundan estacionalmente, provocando reducción de conectividad entre el río y los hábitats de crecimiento (Agostinho *et al.*, 2003), disminuyendo la potencial supervivencia durante las primeras etapas de vida de los peces migratorios.

Se ha encontrado una importante relación entre el fracaso o éxito de reclutamiento de especies migratorias de larga distancia, y la ocurrencia de inundaciones, con diferentes resultados para distintas profundidades máximas, duraciones y fechas en que ocurren estos eventos (Agostinho *et al.*, 2003).

Verissimo (1999) reportó una completa ausencia de juveniles del año de peces migratorios de larga distancia en lagunas temporales de la planicie, en años sin inundación.

Agostinho *et al.* (2001), estudiando 3 años con diferente intensidad de inundación, reportaron una elevada abundancia de juveniles de peces migratorios de larga distancia en el año con la inundación

más intensa, un nivel moderado en un año de inundación moderada, y una abundancia reducida en un año sin inundación.

Agostinho *et al.* (2004a) analizaron muestras de peces recolectadas entre 1986 y 2001 en diferentes hábitats de la llanura de inundación y los compararon con los niveles de agua en el río Paraná en las mismas fechas. Obtuvieron que para las especies migradoras de larga distancia, los factores ambientales duración, amplitud y “*timing*” o temporalidad de las inundaciones (previsibilidad, regularidad con que ocurren, Poff *et al.*, 1997) son los más importantes debido a la sincronización de los ciclos reproductivos con el ciclo hidrológico. En particular, la duración de la inundación se correlacionó con la biomasa de grandes peces migratorios con un coeficiente de Spearman 0,9 y un p-value de 0,006. La figura 2.7 muestra los resultados de este estudio. Se puede apreciar que los peces migratorios de larga distancia (ML) se vieron favorecidos por períodos anuales de inundación de más de 75 días, como el año 1998. El año de 1999, a pesar de tener una duración de inundación de más de 100 días, presentó niveles bajos de agua, similares a la estación seca, producto del llenado del embalse de Porto Primavera. Esto explicaría la baja biomasa de ese período. Además, los autores indican que la ocurrencia de niveles altos de agua al inicio del verano (fecha idónea) podría ser menos importante para las capturas si las inundaciones son de corta duración.

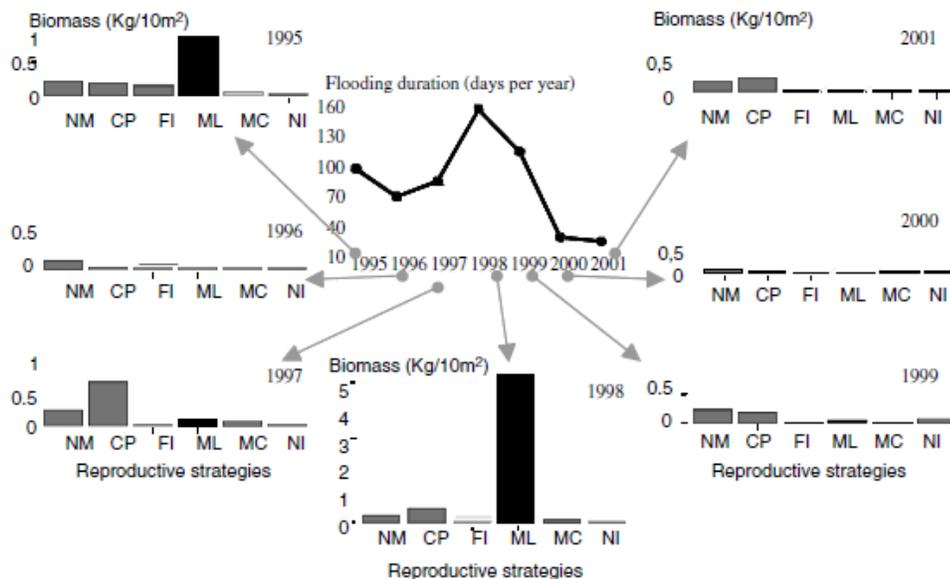


Figura 2.7: biomasa [kg /10m²] de juveniles del año de peces con diferentes estrategias reproductivas y duración de inundación río Paraná superior. ML= migratorios de larga distancia. (Agostinho *et al.*, 2004a)

Otros tratamientos estadísticos han sido utilizados para describir la influencia de las inundaciones sobre la abundancia de peces migratorios.

Suzuki *et al.* (2009) y Oliveira *et al.* (2014) estudiaron estas influencias para los juveniles del año (menor a 1 año de edad) de las especies *Prochilodus lineatus*, *Leporinus obtusidensis*, *Pimelodus maculatus*, *Pseudoplatystoma corruscans*, *Pterodoras granulosus*, *Salminus brasiliensis*, *Brycon orbignyanus*, *Hemisorubim platyrhynchos*, *Leporinus elongatus*, *Leporinus macrocephalus* y *Sorubim lima* en distintos entornos de la planicie de inundación del río Paraná (distribuidos en 3 subsistemas: Paraná, Baía, e Ivinheima).

Suzuki *et al.* (2009) analizaron muestras de peces desde 1987 hasta 2007, y mediante análisis de covarianza encontraron que la abundancia de juveniles del año estuvo positivamente

correlacionada con la intensidad de potamofase (pendiente estándar 0,48) y la duración de potamofase 1 (pendiente estándar 0,42) y negativamente relacionada a la duración de la limnofase (pendiente estándar -0,42) y retraso de la inundación (pendiente estándar -0,27).

Además, sus resultados mostraron que al nivel de 450 cm en el río Paraná, hubo alta abundancia de juveniles del año en períodos con duración de potamofase mayor que 50 días, mediana abundancia en períodos con potamofase entre 30 y 40 días, y baja abundancia con duraciones menores a 30 días, considerando varios pulsos en estos períodos, es decir, las duraciones no fueron días consecutivos. En general, el reclutamiento respondió mejor cuando las intensidades de potamofase alcanzaron más de 610 cm y los niveles de agua por encima de 450 cm duraron un período de 50 días consecutivos. Lo primero sucedió en 2006-2007 y se relacionó con la mayor abundancia de juveniles del año observada en el estudio.

Los coeficientes mencionados se presentan a modo de resumen en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Resumen de relaciones encontradas en estudios previos para distintos atributos de eventos de inundación (elaboración propia)

Estudio	Agostinho <i>et al.</i> , 2004a		Suzuki <i>et al.</i> , 2009
	Años	1986 - 2001	1988-1992
Indicador estudiado	Biomasa especies migratorias larga dist.	Biomasa juv. del año <i>P. lineatus</i>	Abundancia juv. del año especies migratorias larga dist.
Duración	Spearman: 0.9	Pearson: 0.8	Pdte St: 0.42
Intensidad	-	-	Pdte St: 0.48
Retraso (con respecto al 1 de Octubre)	-	Pearson: 0.42	Pdte St: -0.27
Nivel medio en el rio	-	Pearson: 0.75	-
Duración limnofase (período seco)	-	-	Pdte St: -0.42

Por su parte, Oliveira *et al.* (2014) analizaron la relación entre la abundancia de los juveniles de cada especie de pez por separado, realizando regresiones lineales con los atributos duración y retraso de la inundación, considerando los años entre 2000 y 2011.

Todas las especies presentaron mayor abundancia en años de inundaciones más largas. De las 10 especies, 4 obtuvieron una relación exponencial positiva con respecto a la duración de la inundación, y los 6 restantes una relación lineal positiva. En cuanto al retraso de las inundaciones, 9 especies mostraron una relación exponencial negativa, y la restante exhibió una relación lineal negativa.

Las regresiones lineales múltiples (ver tabla 2.2) mostraron que la duración de la inundación afectó significativamente a todas las especies examinadas (p-value < 0.05). El retraso de la inundación afectó significativamente a *L. elongatus*, *L. obtusidens*, *P. corruscans* y *P. lineatus*, sin embargo, para estas especies fue más importante la duración de la inundación.

Tabla 2.2: Resultados regresiones lineales múltiples obtenidas por Oliveira *et al.* (2014)

Species	Duration (X ₁)	Delay (X ₂)	R ²	Adjusted R ²	Model
<i>B. orbignyanus</i>	<0.001*	0.31	0.80	0.77	$Y=0.007*X_1$
<i>H. platyrhynchos</i>	0.002*	0.106	0.71	0.65	$Y=0.006*X_1$
<i>L. elongatus</i>	<0.001*	0.015*	0.91	0.89	$Y=-0.19+0.007*X_1+0.011X_2$
<i>L. macrocephalus</i>	<0.001*	0.15	0.87	0.84	$Y=-0.038+0.001*X_1$
<i>L. obtusidens</i>	0.001*	0.02*	0.79	0.75	$Y=0.009*X_1+0.016*X_2$
<i>P. corruscans</i>	0.002*	0.019*	0.77	0.72	$Y=0.011*X_1+0.02*X_2$
<i>P. granulatus</i>	<0.001*	0.26	0.81	0.78	$Y=0.006*X_1$
<i>P. lineatus</i>	<0.0013*	<0.001*	0.93	0.92	$Y=0.02*X_1+0.05X_2$
<i>S. brasiliensis</i>	0.001*	0.11	0.73	0.68	$Y=0.003*X_1$
<i>S. lima</i>	0.01*	0.86	0.52	0.43	$Y=0.002*X_1$

2.5. Descripción de peces de interés

Como se mencionó, las especies de relevancia en este estudio son las siguientes:

- *Prochilodus lineatus* (Curimba, Sábalo)
- *Pterodoras granulatus* (Armado, Abotoado)
- *Pseudoplatystoma corruscans* (Pintado, Surubí)
- *Piaractus mesopotamicus* (Pacú)

A continuación, se describirá brevemente cada una de ellas basándose en la síntesis realizada por Agostinho *et al.* (2003) y se detallarán las relaciones edad/tamaño. Las tallas de interés se presentan en la figura 2.8:

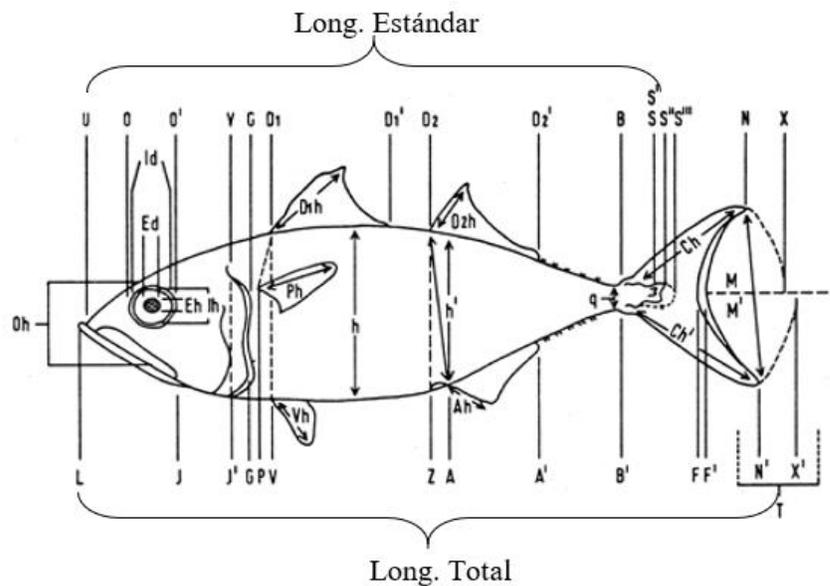


Figura 2.8: Longitudes de peces consideradas en este estudio (Holden, M., & Raitt, D., 1975).

2.5.1. *Prochilodus lineatus* (Curimba, Sábalo)



Figura 2.9: *Prochilodus lineatus* (Curimba, Sábalo) (Fuente: "FishBase", 2020)

Es la especie de pez más estudiada en la cuenca, con una amplia distribución, que incluye ríos, lagunas y embalses. Su abundancia en los embalses se relaciona con la presencia de tramos libres aguas arriba o grandes afluentes laterales. En tramos no confinados del río Paraná, el reclutamiento es variable según el régimen de inundación anual, controlado por las represas. Los adultos viven en aguas que fluyen, y los juveniles en lagunas marginales.

Con respecto a su ciclo reproductivo, luego de una extensa migración reproductiva río arriba, el desove ocurre en las aguas corrientes de los tramos superiores de algunos de los grandes afluentes del río Paraná, de Octubre a Enero (a medida que aumenta el nivel del agua). Después de la fertilización e hidratación, hasta un diámetro de 3,9 mm, los huevos se desplazan en la corriente del río durante el desarrollo embrionario y se esparcen en las llanuras de inundación de las partes bajas de los afluentes a medida que las larvas eclosionan. Los peces permanecen en las lagunas de la planicie de inundación hasta por 2 años, o hasta que alcanzan la primera maduración. La disponibilidad inmediata de alimento y refugio en las lagunas durante los primeros meses de vida es esencial para evitar altas tasas de mortalidad por depredación. La migración de retorno posterior al desove es más irregular y puede incluir el ingreso a las llanuras de inundación para alimentarse y recuperar la energía gastada durante la reproducción. En la zona de estudio la especie crece hasta 78 cm de longitud y alcanza su primera maduración a los 28 cm (2 años de edad).

La curva de crecimiento para esta especie está dada por (Wagner *et al.*, 2012):

$$L_{total}(t) = 55.68 \cdot (1 - \exp(-0.46 \cdot (t - 0.183))) \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

$$L_{total} [cm] = \text{largo total}$$
$$t[\text{años}] = \text{tiempo}$$

La relación largo total – largo estándar de la especie está dada por (Sverlij, Espinach Ros & Orti, 1993):

$$L_{total} = 0.946 + 1.215 \cdot L_{standard} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

$$L_{total} [cm] = \text{largo total}$$
$$L_{standard} [mm] = \text{largo standar}$$

2.5.2. *Piaractus mesopotamicus* (Pacú)

Originalmente endémica de la cuenca del río Paraná-Paraguay, actualmente está más extendida en distribución a través de actividades acuícolas. Se encuentra sólo esporádicamente en pesquerías experimentales en el río Paraná Superior, pero es más abundante aguas abajo de la presa de Itaipú y en el río Ivinheima. Prefiere hábitats lóticos y semilóticos. El desove del Pacú ocurre de Octubre a Enero. En la cuenca, esta especie crece hasta 62 cm, alcanzando la primera maduración a los 34 cm.



Figura 2.10: *Piaractus mesopotamicus* (Pacú) (Fuente: "FishBase", 2020)

La curva de crecimiento para esta especie está dada por (da S. Lourenço *et al.*, 2017):

$$L_{total}(t) = 64.11 \cdot (1 - \exp(-0.213 \cdot (t - 1.43))) \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

$$L_{total} [cm] = \text{largo total}$$
$$t[\text{años}] = \text{tiempo}$$

La relación largo total – largo standard de la especie no fue encontrada en la literatura, sin embargo, se definió un valor de 24 cm basado en las longitudes estándar asociadas a las longitudes totales de los peces más grandes clasificados como juveniles del año.

2.5.3. *Pseudoplatystoma corruscans* (Pintado, Surubí)



Figura 2.11: *Pseudoplatystoma corruscans* (Pintado/Surubí), (Marquez *et al.*, 2017)

Es la especie más grande de la cuenca, pudiendo alcanzar tamaños de 152 cm. La especie es muy popular en el mercado, particularmente para restaurantes, y se encuentra entre las diez especies más capturadas en el embalse de Itaipú. Jóvenes y adultos son más abundantes en lagunas marginales y en los ríos meandrosos, pero solo se encuentran adultos en el canal principal del río Paraná.

P. corruscans desova en aguas corrientes y poco profundas, generalmente en los tramos superiores de los tributarios del Paraná, de Noviembre a Febrero. La madurez sexual se alcanza a los 67 cm.

La curva de crecimiento para esta especie está dada por (Mateus & Petrere, 2004):

$$L_{total}(t) = 183 \cdot (1 - \exp(-0.085 \cdot (t + 3.274))) \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Donde:

$$L_{total} [cm] = \text{largo total}$$
$$t[\text{años}] = \text{tiempo}$$

La relación largo total – largo estándar de la especie está dada por (Mateus & Petrere, 2004):

$$L_{total} = 3.296 + 1.069 \cdot L_{standard} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

$$L_{total} [cm] = \text{largo total}$$
$$L_{standard} [cm] = \text{largo standar}$$

2.5.4. *Pterodoras granulosus* (Armado, Abotoado)

Esta es la especie principal capturada por la pesca artesanal en el embalse de Itaipú. Originalmente de las partes media e inferior de la cuenca, colonizó los tramos superiores del Paraná después de que el embalse de Itaipú inundó las cataratas de Sete Quedas. En la llanura de inundación se puede encontrar en todo tipo de ambientes. Es más abundante en la zona fluvial del embalse de Itaipú y en los ríos meandrosos. El tamaño máximo registrado para *P. granulosus* en el río Paraná superior ha sido 69,6 cm y la primera maduración de las hembras se alcanza en 36 cm.



Figura 2.12: *Pterodoras granulosus* (Armado, Abotoado) (Fuente: "FishBase", 2020)

El armado utiliza el área aguas arriba del embalse de Itaipú, y los grandes afluentes laterales para la reproducción, especialmente en los tramos inferiores. El desove ocurre más tarde que la de otras especies migratorias (Enero a Marzo).

La curva de crecimiento para esta especie está dada por (Loponte *et al.*, 2010):

$$L_{total}(t) = 48.57 \cdot (1 - \exp(-0.16 \cdot (t + 1.83))) \text{ para hembras} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

$$L_{total}(t) = 65.06 \cdot (1 - \exp(-0.11 \cdot (t + 1.87))) \text{ para machos} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

$$L_{total} [cm] = \text{largo total}$$

$$t[\text{años}] = \text{tiempo}$$

La relación largo total – largo estándar de la especie está dada por (Feitoza *et al.*, 2004):

$$L_{total} = 1.17 \cdot L_{standard} - 0.23 \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

$$L_{total} [cm] = \text{largo total}$$

$$L_{standard} [cm] = \text{largo standar}$$

Tabla 3.1: Detalle de los sitios de muestreo de peces en la zona de estudio.

Subsistema	Abreviación	Nombre	Coordenada Sur	Coordenada Oeste
Baia	cbai	Baía channel	22° 41'26.94"S	53° 13'29.34"W
	ccur	Curutuba channel	22° 45' 2.88"S	53° 21'32.22"W
	laur	Aurélio Lake	22°41'34.68"S	53°13'50.58"W
	lfec	Fechada Lake	22°42'37.92"S	53°16'33.06"W
	lgav	Gavião Lake	22°40'47.94"S	53°13'53.46"S
	lgua	Guaraná Lake	22°43'16.68"S	53°18' 9.24"W
	lonc	Onça Lake	22°39'48.42"S	53°12' 1.62"W
	lpga	Pousada das Garças Lake	22°42' 1.14"S	53°15'23.52"W
	lpor	Porcos Lake	22°42' 4.44"S	53°14'40.08"W
	ltra	Traíra Lake	22°44' 45.6"S	53°20'21.66"W
	rbai	Baía River	22° 43'23.16"S	53° 17' 25.5"W
Paraná	ccor	Cortado channel	22° 48'43.44"S	53° 22'40.92"W
	lbil	Bilé Lake	22° 45'13.56"S	53° 17' 9.48"W
	lcla	Clara Lake	22° 45'17.52"S	53° 15'28.62"W
	lgar	Garças Lake	22° 43'27.18"S	53° 13' 4.56"W
	lman	Manézinho Lake	22°46'44.7"S	53°20'56.76"W
	losm	Osmar Lake	22° 46'26.64"S	53° 19'56.16"W
	lpou	Pousada Lake	22°44'41.76"S	53°14' 7.32"W
	lpve	Pau Véio Lake	22° 44'50.76"S	53° 15'11.16"W
	rpar	Paraná River	22° 45'39.96"S	53°15' 7.44"W
Ivinheima	cipo	Ipoitã channel	22° 50' 7.56"S	53° 33' 43.5"W
	lcap	Capivara Lake	22°47'56.52"S	53°32'5.4"W
	lcer	Cervo Lake	22°46'29.58"S	53°29'46.98"W
	lfra	Finado Raimundo Lake	22°47' 57.6"S	53°32'29.16"W
	ljac	Jacaré Lake	22°47' 2.04"S	53°29'49.08"W
	lpat	Patos Lake	22°49'33.66"S	53°33'9.9"W
	lper	Peroba Lake	22°54' 30.3"S	53°38' 24.3"W
	lsum	Sumida Lake	22°46'54.78"S	53°29' 22.2"W
	lven	Ventura Lake	22°51' 23.7"S	53°36' 1.02"W
	lzep	Zé do Paco Lake	22°50' 3.72"S	53°34' 18"W
rivi	Ivinhema River	22° 47'59.64"S	53° 32' 21.3"W	

3.2. Análisis de datos

En este estudio se trabajó con 2 tipos de datos: datos de peces y datos hidrológicos.

Se establecieron los períodos de tiempo involucrados de la siguiente forma (ver figura 3.2):

1. Año hidrológico: Iniciando en Mayo y finalizando en Abril del año posterior.
2. Año de peces: iniciando en Enero y finalizando en Diciembre del mismo año.

Con esta elección del año hidrológico, los peces recolectados en un año específico se pueden explicar con los atributos del ciclo hidrológico principalmente del año anterior (período seco), y con el inicio del año hidrológico del período en el que se observan los peces. Así, los peces menores de un año que se capturen en ese período se deben exclusivamente a las características del ciclo del año anterior. El mes de Mayo para el inicio del año hidrológico se estableció porque corresponde al mes donde el nivel de agua liberado por las represas aguas arriba de la zona de estudio es superior al que debería fluir naturalmente en el río, afectando los ecosistemas y dinámicas biológicas aguas abajo (esto se detalla en sección 4.2).

	Año X												Año X+1											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
💧																								
🐟																								

Figura 3.2: Año hidrológico (primera fila, coloreada en azul) y año de peces (segunda fila, coloreada en naranja)

3.2.1. Análisis de datos de peces

La elección de los peces de interés en este trabajo se definió según diversos criterios. Dos Santos *et al.* (2019), realizaron una recopilación de información entre los pescadores de la zona de estudio. Ellos indicaron que las especies más deseadas en el momento de la pesca correspondían a:

- Pintado/Surubí (*Pseudoplatystoma corruscans*): mencionado por el 92.8% de los pescadores encuestados
- Pacú (*Piaractus mesopotamicus*): mencionado por el 26.4 % de los pescadores encuestados.

Por otra parte, debido a la gran cantidad de estudios realizados en la zona de estudio sobre Curimba/Sábalo (*Prochilodus lineatus*), este también fue escogido como pez de interés.

Finalmente, Armado/Abotoado (*Pterodoras granulosus*) fue definido en reuniones con el equipo de trabajo de la Universidad de Maringá.

El análisis de datos de peces se llevó a cabo utilizando el software Excel. Primero que todo se seleccionaron los peces de menos de un año de edad (juveniles del año). Esta selección se realizó en base a las longitudes estándar y total de cada pez muestreado, calculadas según las ecuaciones 2.1 a 2.8 en la sección 2.5, y presentadas en la tabla 3.2. Si un pez tiene una longitud menor a la indicada en la tabla, entonces es un juvenil del año:

Tabla 3.2: Longitudes de especies de peces de interés correspondientes a un año de edad.

Especie	Longitud estándar [cm]	Longitud total [cm]
<i>P. lineatus</i>	14.2	17.4
<i>P. mesopotamicus</i>	24	25.85
<i>P. corruscans</i>	49.09	55.76
<i>P. granulatus</i>	17.6	20.46

Las 4 especies de peces (agrupadas) fueron estudiadas para cada subsistema por separado (Paraná, Ivinheima y Baia) y también considerando el sistema completo; y se separaron por año según la elección del año de peces (de Enero a Diciembre). Se analizó la biomasa y la abundancia de los juveniles del año correspondientes a las especies objetivo. Los indicadores considerados se presentan en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Indicadores de peces considerados en este estudio

Indicadores de peces
Paraná abundancia
Paraná biomasa
Ivinheima abundancia
Ivinheima biomasa
Baia abundancia
Baia biomasa
Total abundancia
Total biomasa

La abundancia se midió en cantidad de peces, mientras la biomasa en gramos de peces. Ambas cantidades, para cada subsistema y cada período de un año, se normalizaron por la cantidad de muestras tomadas durante el período en el subsistema. Se definió una muestra como un día en un sitio de muestreo. Por ejemplo, “Paraná abundancia” se definió como: todos los peces juveniles del año en el subsistema Paraná en el año X, dividido por todas las muestras del año X en el subsistema Paraná; “Total abundancia” correspondió a todos los peces juveniles del año capturados el año X en todos los subsistemas, dividido por todas las muestras del año X, en todos los subsistemas.

3.2.2. Análisis de datos hidrológicos

Esta actividad se desarrolló en 2 etapas: la primera consistió en rellenar los datos de profundidades utilizando datos de caudales en la estación Porto São José; posteriormente se calcularon atributos del régimen hidrológico que servirán de inputs para la construcción de regresiones lineales múltiples.

- Relleno serie de profundidades

La serie de profundidades en la estación Porto São José estaba disponible en casi la totalidad del período de estudio, faltando únicamente datos entre el 13 y el 30 de Noviembre de 2015. Estos días faltantes se rellenaron utilizando una regresión lineal simple, que relacionó los datos de caudales y profundidades en la estación Porto São José para cada día de registro. Con esto, se obtuvo una serie ininterrumpida de profundidades en la estación, utilizada para calcular los atributos que se detallan a continuación.

- Cálculo de atributos del régimen hidrológico

La serie de 19 años de profundidades se agrupó según el período de tiempo escogido (Mayo a Abril). Para cada año, se calcularon atributos asociados con el régimen hidrológico. La elección se basó en los atributos utilizados por Suzuki *et al.* (2009), y se agregaron algunos adicionales. Se presentan en las tablas 3.4 y 3.5:

Tabla 3.4: Atributos calculados a cada año hidrológico considerando el año completo

Abreviación	Atributo	Unidad de medida	Significado
H_{max}	Profundidad máxima	cm	Profundidad máxima del río dentro del año hidrológico, equivalente a la intensidad de la potamofase (Suzuki <i>et al.</i> , 2009)
H_{min}	Profundidad mínima	cm	Profundidad mínima del río dentro del año hidrológico, equivalente a la intensidad de la limnofase.
$DP1_{tot}$	Duración Potamofase 1	Nº días	Cantidad de días del año hidrológico cuando la profundidad es superior a 450 cm en est. Porto São José (Suzuki <i>et al.</i> , 2009)
$DP2_{tot}$	Duración Potamofase 2	Nº días	Cantidad de días del año hidrológico cuando la profundidad es superior a 540 cm en est. Porto São José (Suzuki <i>et al.</i> , 2009)
$DP3_{tot}$	Duración Potamofase 3	Nº días	Cantidad de días del año hidrológico cuando la profundidad es superior a 610 cm en est. Porto São José (Suzuki <i>et al.</i> , 2009)
$MI > 450_{tot}$	Mayor desbordamiento ininterrumpido sobre 450 cm	Nº días	Mayor cantidad de días consecutivos en que la profundidad fue superior a 450 cm dentro del año hidrológico (Suzuki <i>et al.</i> , 2009)
$MI > 540_{tot}$	Mayor desbordamiento ininterrumpido sobre 540 cm	Nº días	Mayor cantidad de días consecutivos donde la profundidad fue superior a 540 cm dentro del año hidrológico
$MI > 610_{tot}$	Mayor desbordamiento ininterrumpido sobre 610 cm	Nº días	Mayor cantidad de días consecutivos donde la profundidad fue superior a 610 cm dentro del año hidrológico
$F_{prim_{tot}}$	Fecha primera inundación	día del año	Fecha del año hidrológico cuando la profundidad supera los 450 cm por primera vez (Suzuki <i>et al.</i> , 2009)

Tabla 3.4 (continuación): Atributos calculados a cada año hidrológico considerando el año completo

Abreviación	Atributo	Unidad de medida	Significado
$Flarga_{tot}$	Fecha inundación más larga	día del año	Fecha del año hidrológico cuando comienza la inundación más larga (Mayor desbordamiento ininterrumpido sobre 450 cm)
DL	Duración Limnofase	Nº días	Cantidad de días del año hidrológico cuando la profundidad es inferior a 450 cm (Suzuki <i>et al.</i> , 2009)
DL_{larga}	Duración período seco más largo	Nº días	Mayor cantidad de días consecutivos dentro del año hidrológico cuando la profundidad fue inferior a 450 cm.
$DL_{larga/previa}$	Período seco más largo previo a primera inundación	Nº días	Cantidad de días donde la profundidad fue menor a 450 cm previo a la primera inundación del año hidrológico correspondiente. Si no existió inundación el año anterior, se acumulan los días hasta que esta exista.
F_{max}	Fecha hmax	día del año	Fecha del año hidrológico cuando ocurrió la máxima profundidad.
F_{min}	Fecha hmin	día del año	Fecha del año hidrológico cuando ocurrió la mínima profundidad.

Los atributos de fechas fueron transformados a número para poder ser utilizados en las regresiones lineales múltiples. Así, como el año hidrológico se consideró desde Mayo, el 1 de Mayo corresponde al día 1, y el 30 de Abril al día 366. En estos atributos de fechas, hay resultados mayores a 366 días. Esto se debe a que existen años sin inundación, y a estos se le suman los días del año siguiente hasta que la inundación ocurra. Así, un año con atributo de fecha superior a 366, indica que en ese período no ocurrió inundación.

Los atributos anteriores corresponden a medidas que involucran al año hidrológico en su totalidad; sin embargo, existen 8 atributos más que abarcan únicamente la temporada húmeda, comprendida entre los meses de Octubre y Abril, presentados en la tabla 3.5. Para los atributos de fechas en esta categoría, el 1 de Octubre correspondió al día 1, y el 30 de Abril al día 212.

Tabla 3.5: Atributos calculados a cada año hidrológico considerando la temporada húmeda

Abreviación	Atributo	Unidad de medida	Significado / Origen
$DP1_{hum}$	Duración Potamofase 1 temporada húmeda	Nº días	Cantidad de días de la temporada húmeda cuando la profundidad es superior a 450 cm (Suzuki <i>et al.</i> , 2009)
$DP2_{hum}$	Duración Potamofase 2 temporada húmeda	Nº días	Cantidad de días de la temporada húmeda cuando la profundidad es superior a 540 cm (Suzuki <i>et al.</i> , 2009)
$DP3_{hum}$	Duración Potamofase 3 temporada húmeda	Nº días	Cantidad de días de la temporada húmeda cuando la profundidad es superior a 610 cm (Suzuki <i>et al.</i> , 2009)
$MI > 450_{hum}$	Mayor desbordamiento ininterrumpido sobre 450 cm temp. húmeda	Nº días	Mayor cantidad de días consecutivos donde la profundidad fue superior a 450 cm dentro días de la temporada húmeda (Suzuki <i>et al.</i> , 2009)
$MI > 540_{hum}$	Mayor desbordamiento ininterrumpido sobre 540 cm temp. húmeda	Nº días	Mayor cantidad de días consecutivos donde la profundidad fue superior a 540 cm dentro días de la temporada húmeda
$MI > 610_{hum}$	Mayor desbordamiento ininterrumpido sobre 610 cm temp. húmeda	Nº días	Mayor cantidad de días consecutivos donde la profundidad fue superior a 610 cm dentro días de la temporada húmeda
$F_{prim_{hum}}$	Fecha primera inundación temp. húmeda	día del año	Fecha de la temporada húmeda cuando la profundidad supera los 450 cm por primera vez
$Flarga_{hum}$	Fecha inundación más larga temp. húmeda	día del año	Fecha de la temporada húmeda cuando comienza la inundación más larga (Mayor desbordamiento ininterrumpido sobre 450 cm)

3.3. Regresiones lineales múltiples

El objetivo de esta actividad es encontrar un conjunto de variables del régimen hidrológico que expliquen y pronostiquen la abundancia o biomasa de los peces de interés en cada uno de los subsistemas y el sistema completo. Se detallará la metodología que se utilizó para construir regresiones lineales múltiples dados m posibles predictores y n años de datos.

En este trabajo se tienen 8 indicadores de peces que se quieren predecir, y 23 atributos hidrológicos que son posibles predictores. Además, se tiene un registro de 19 años de datos, que se divide en 2 subconjuntos, según ocurrencia o ausencia de inundación en la temporada húmeda:

- Subconjunto 1: conjunto que incluye la totalidad de los años del período de registro, independiente de si existió inundación o no, completando 19 datos (con esto, $m=23$ y $n=19$).
- Subconjunto 2: conjunto con 13 datos que incluye únicamente los años en los que existió inundación en temporada húmeda. Los años sin inundación y con inundación en temporada seca (Mayo a Septiembre) se omiten de este subconjunto de datos (con esto, $m=23$ y $n=13$).

Las regresiones lineales múltiples, son ecuaciones cuya forma general es la siguiente:

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i \cdot x_i \quad (\text{Ec. 3.1})$$

donde \hat{y} corresponde al valor a predecir, en este caso, un indicador de peces; x_i corresponden a los atributos del régimen hidrológico que actúan como predictores del indicador de peces seleccionado; β_0 es la intersección o constante de regresión, y β_i son los coeficientes o parámetros de regresión de cada predictor.

Para la construcción de una regresión lineal múltiple, se debe escoger el conjunto de predictores que produzca el menor error para las predicciones. En este trabajo, se utiliza el método de selección hacia adelante o “*stepforward*”. Este método fue descrito por Wilks (2011), e indica que a la regresión se le va agregando un predictor a la vez, luego de someterlos a un procedimiento de filtrado. Al contar con 19 y 13 datos para construir las regresiones, el valor de k será de 3 (Tabachnick & Fidell, 1989), es decir, se escogerán a lo más 3 predictores para cada regresión. Si k es superior a 3, se podría obtener información redundante y peores estimaciones.

Los pasos a seguir para construir las regresiones con m posibles predictores, y n datos se indican a continuación:

- Paso 1: en primera instancia, y para cada subconjunto de datos por separado, se normaliza cada valor de atributo de año hidrológico por el máximo valor del período de estudio. Con esto se obtienen inputs para las regresiones lineales con valores entre 0 y 1, y además adimensionales, por lo que el aporte de un predictor a una regresión puede ser comparable con el aporte de otro predictor observando el coeficiente (β_i) de cada uno.
- Paso 2: preparación de n sets de datos, donde al set 1 se le ha quitado el primer año de datos, al set 2 se le ha quitado el segundo año de datos, etc. Esta actividad se realiza para luego efectuar la validación cruzada de dejar uno afuera (“*Leave one out cross validation*”).
- Paso 3: en esta etapa, se calculan todas las m posibles regresiones lineales simples entre los predictores candidatos y el indicador de peces que se quiere predecir, utilizando un set con $n - 1$ datos. El resultado de este proceso son m regresiones. El predictor que se escoge es

aquel que obtiene las mejores medidas de bondad de ajuste entre las m regresiones: mayor R^2 ajustado, menor error cuadrático medio de los residuos (promedio de los cuadrados de los residuos, MSE por sus siglas en inglés) y mayor relación F, indicados en la tabla 3.6 y 3.7, de información de la regresión y análisis de varianza, respectivamente, entregadas por el software Excel para cada regresión.

Tabla 3.6: Resumen estadísticas regresión generado por Excel

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.8577
Coefficiente de determinación R^2	0.735
R^2 ajustado	0.700
Error típico	154.396
Observaciones	18

Tabla 3.7: Tabla análisis de varianza generada por Excel

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	995867.598	497933.799	20.887	4.6181E-05
Residuos	15	357575.904	23838.393		
Total	17	1353443.5			

Con esto, la ecuación queda de la forma:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 \quad (\text{Ec. 3.2})$$

- Paso 4: en esta etapa, se realizan $m - 1$ regresiones lineales múltiples con 2 predictores; cada una incluye el predictor escogido en el paso anterior, y uno de los posibles $m - 1$ predictores candidatos que no fueron escogidos. El predictor que se escoge en el paso 4, es aquel que genera la mejor de las $m - 1$ regresiones, dados los criterios de bondad de ajuste descritos en el paso 3, siempre y cuando no exista una correlación fuerte entre el predictor x_1 y el candidato x_2 (coeficiente de correlación menor a 0.6), y ambos predictores no pertenezcan a la misma categoría (por ejemplo, duración potamofase y mayor desbordamiento ininterrumpido no son escogidos en la misma regresión). Además, si esta ecuación no mejora los indicadores con respecto a la ecuación generada solo con el predictor x_1 , el procedimiento finaliza y la regresión final queda de la forma indicada en la ecuación 3.2. Si se escoge un predictor x_2 , la ecuación queda de la forma:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 \quad (\text{Ec. 3.3})$$

- Paso 5: de igual forma que en el paso 4, en esta etapa se calculan $m - 2$ regresiones lineales múltiples, que incluyen los 2 predictores ya escogidos y cada uno de los $m - 2$ candidatos restantes. Se escoge como x_3 aquel que mejore los indicadores de bondad de ajuste con respecto al paso anterior, y que tenga los mejores indicadores de entre las $m - 2$ ecuaciones calculadas en este paso. Se obtiene la regresión final con 3 predictores:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 \quad (\text{Ec. 3.4})$$

- Paso 6: repetir los pasos 3, 4 y 5 para el resto de los sets de datos que se prepararon en el paso 2. Con esto se obtienen n ecuaciones para un indicador de pez, cada una generada con $n - 1$ datos.

Para probar que la ecuación sea adecuada, se prueba en el dato no utilizado en la construcción, mediante la validación cruzada de dejar uno afuera (“*leave one out cross validation - LOOCV*”), también descrita por Wilks (2011).

- Paso 7: elección de la ecuación más correcta mediante el cálculo del error de validación. Para probar una ecuación generada con $n - 1$ valores, se calcula el valor del dato omitido utilizando el conjunto de predictores omitido. La diferencia entre el valor calculado y el valor observado (que se omitió en la construcción de la regresión) es el error de validación. En este caso, se utiliza la ecuación construida con los $n - 1$ valores para pronosticar los n valores del atributo que se quiere predecir, y se calcula la diferencia entre cada valor observado y cada valor calculado, para luego sumar estos valores al cuadrado, como se indica en la fórmula 3.5 (para una ecuación “a” generada con $n - 1$ datos).

$$Error\ validaci3n_a = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (Ec. 3.5)$$

donde y_i corresponde al valor observado, \hat{y}_i es el valor calculado, n es el total de datos: los $n - 1$ datos utilizados en la construcción de la regresión más el dato omitido.

Este paso se repite para las n ecuaciones generadas para un atributo de peces. La ecuación elegida como la más adecuada es aquella que presente la menor suma de errores al cuadrado, siempre y cuando, el error sea aceptable al compararlo con los valores observados.

Con esta metodología, se obtienen 2 set de ecuaciones: uno generado con 19 datos y otro con 13 datos. Para escoger el set final de ecuaciones, se compara para cada par de atributos la raíz del promedio de error al cuadrado, y se escoge el set que obtenga menor valor:

$$Raiz\ promedio\ de\ errores\ al\ cuadrado = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (Ec. 3.6)$$

Capítulo 4: Resultados y discusiones

En este capítulo se presentan los principales resultados obtenidos para el análisis de datos y las regresiones lineales múltiples, y la discusión y análisis crítico de estos. En las primeras dos secciones se presentan los resultados del análisis de datos de peces y series hidrológicas, respectivamente. La tercera sección presenta un análisis y posterior discusión cualitativa de los resultados, que nace de comparar de manera general las principales tendencias encontradas. La cuarta sección presenta los resultados obtenidos de la construcción de regresiones lineales múltiples, seguida de una quinta sección que presenta un análisis crítico y discusión de las regresiones obtenidas. Finalmente se discute sobre la validación de la hipótesis de trabajo y las principales limitaciones asociadas al trabajo desarrollado.

4.1. Peces

El análisis de datos de peces entregó los resultados de abundancia y biomasa de juveniles del año que se observan en las figuras 4.1 a 4.8, para los diferentes subsistemas (en el Apéndice A, tablas 1 a 7, se incluye la cantidad de peces, biomasa, cantidad de muestras, masa promedio por pez y cantidad de especies capturadas).

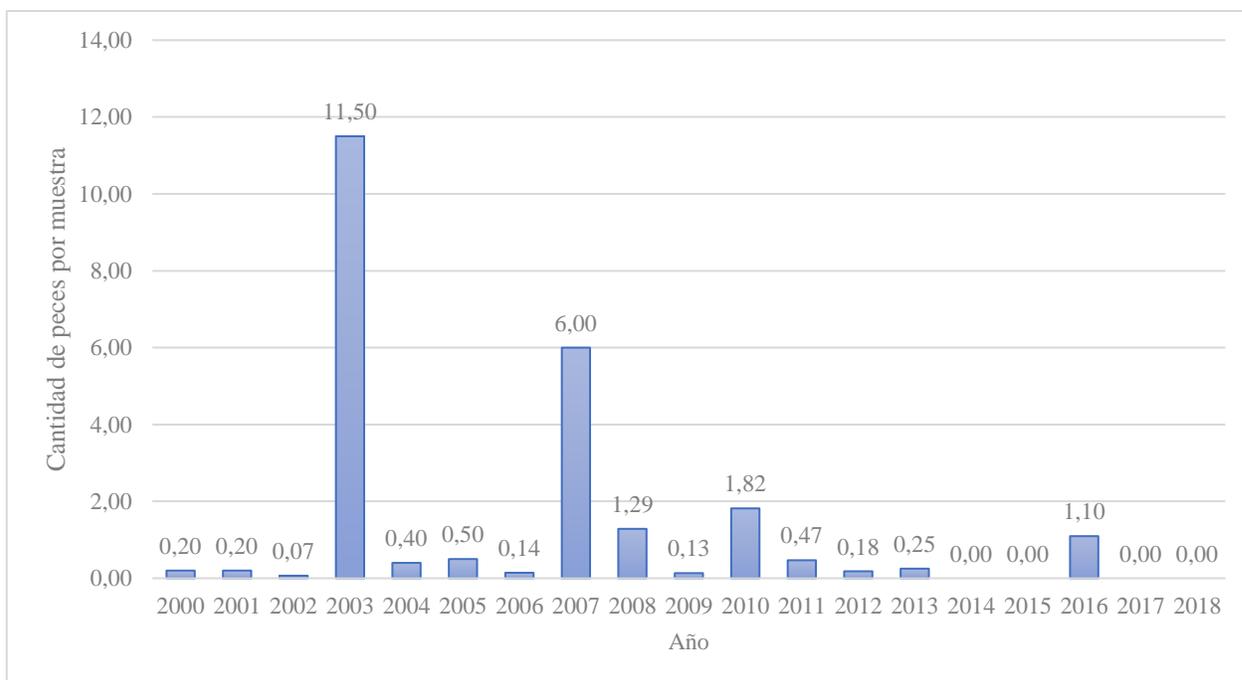


Figura 4.1: Abundancia de peces en el subsistema Paraná

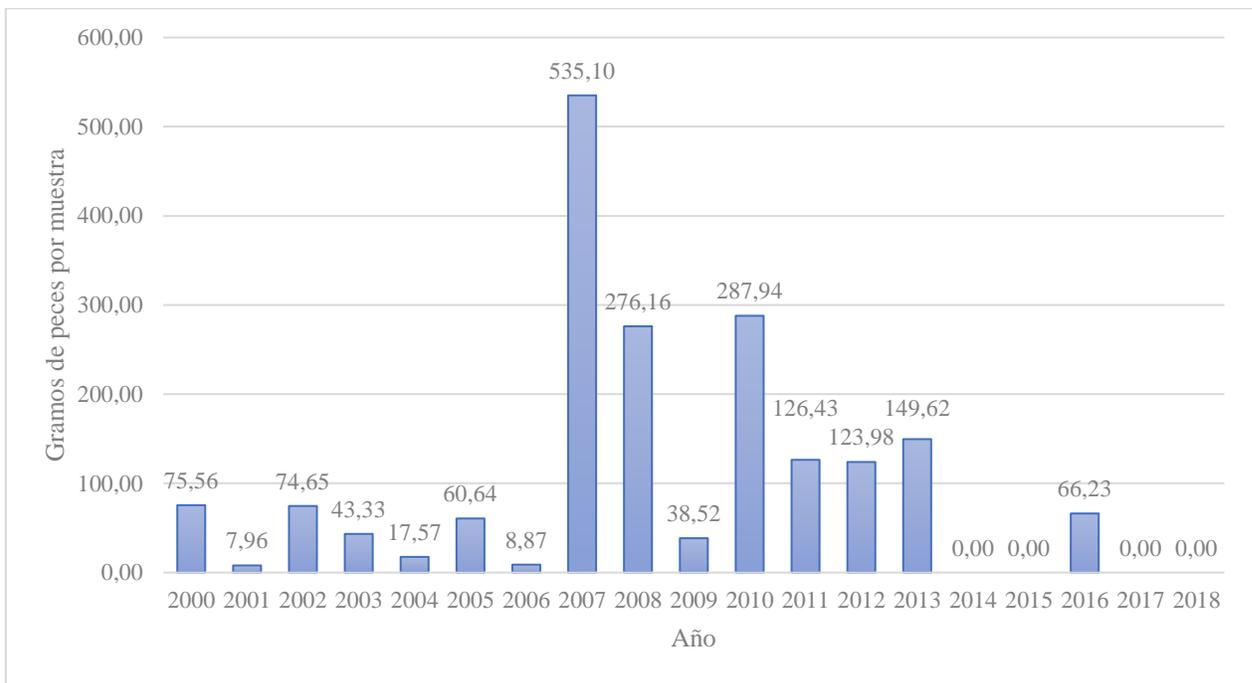


Figura 4.2: Biomasa de peces en el subsistema Paraná.

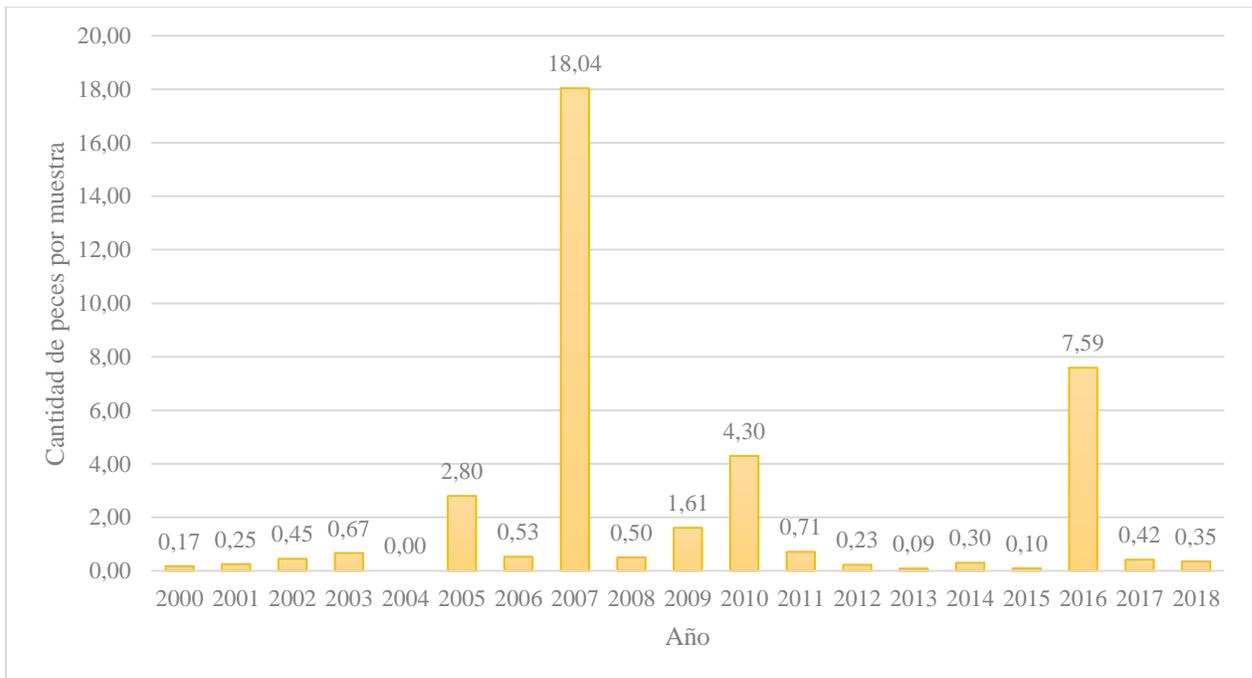


Figura 4.3: Abundancia de peces en el subsistema Ivinheima.

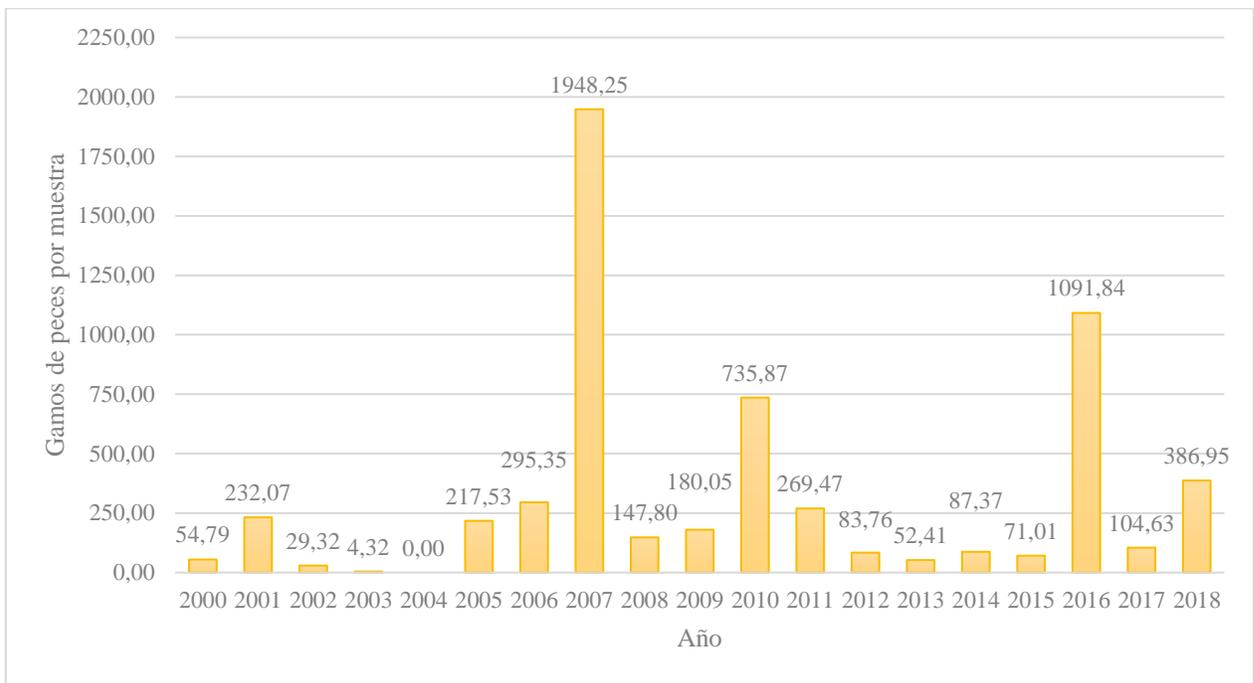


Figura 4.4: Biomasa de peces en el subsistema Ivinheima.

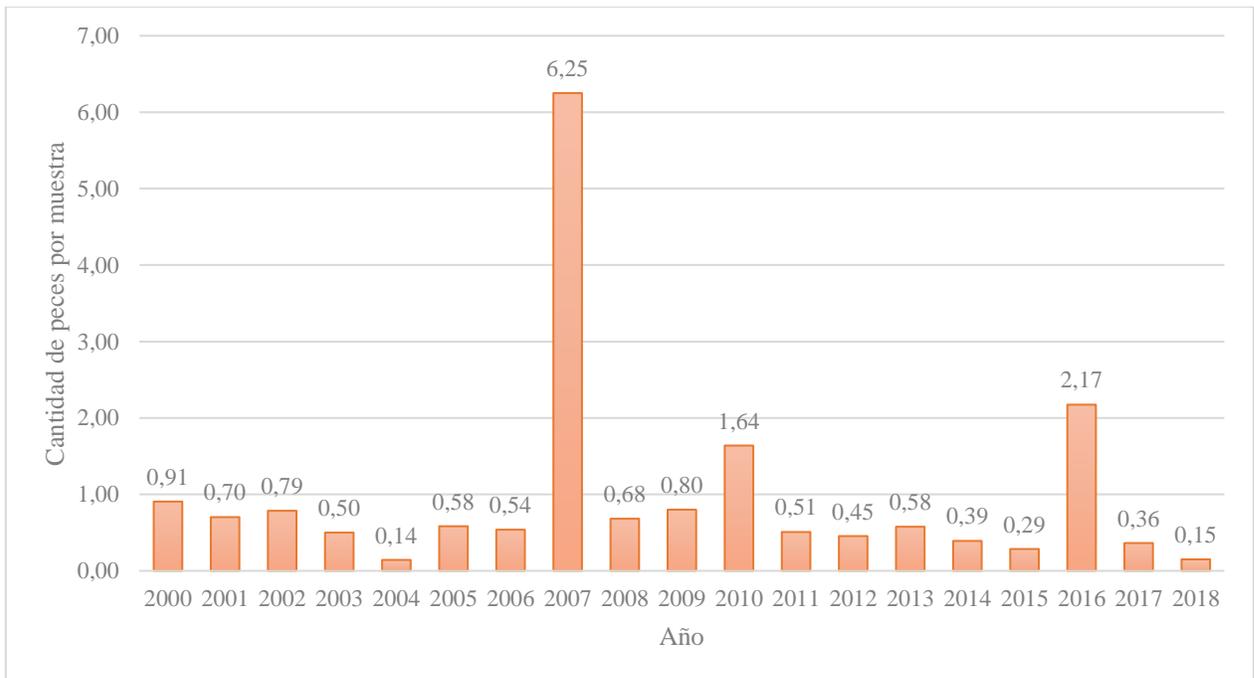


Figura 4.5: Abundancia de peces en el subsistema Baía.

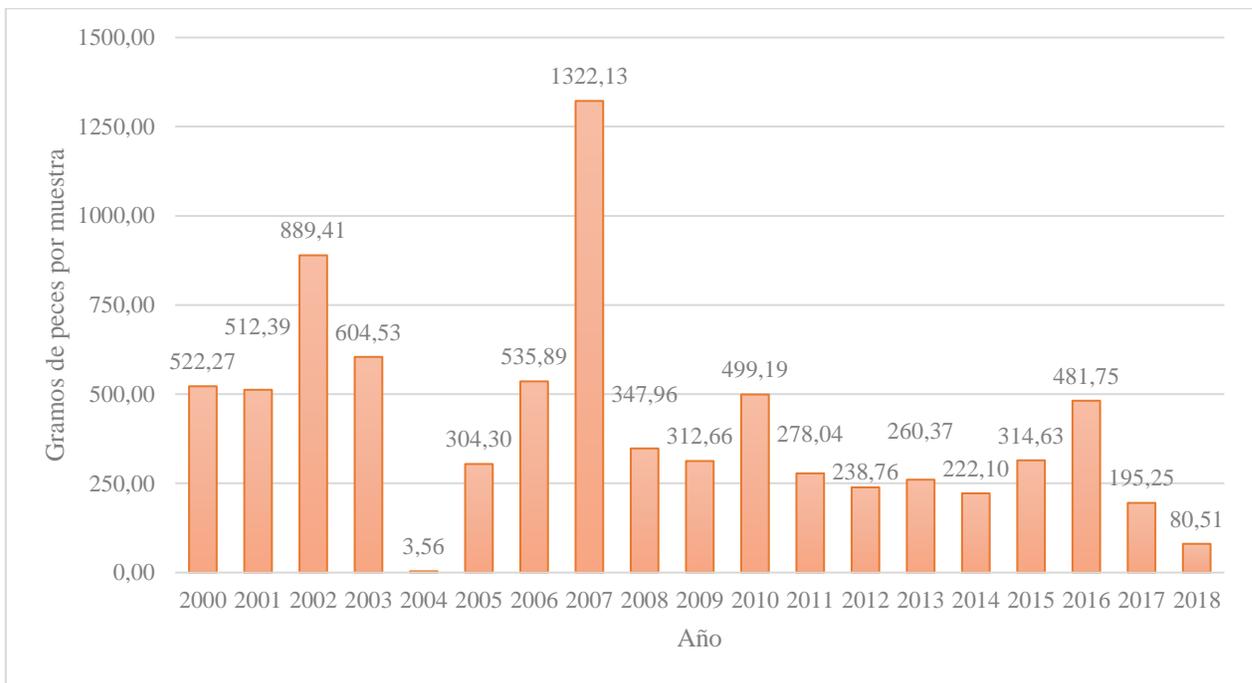


Figura 4.6: Biomasa de peces en el subsistema Baia.

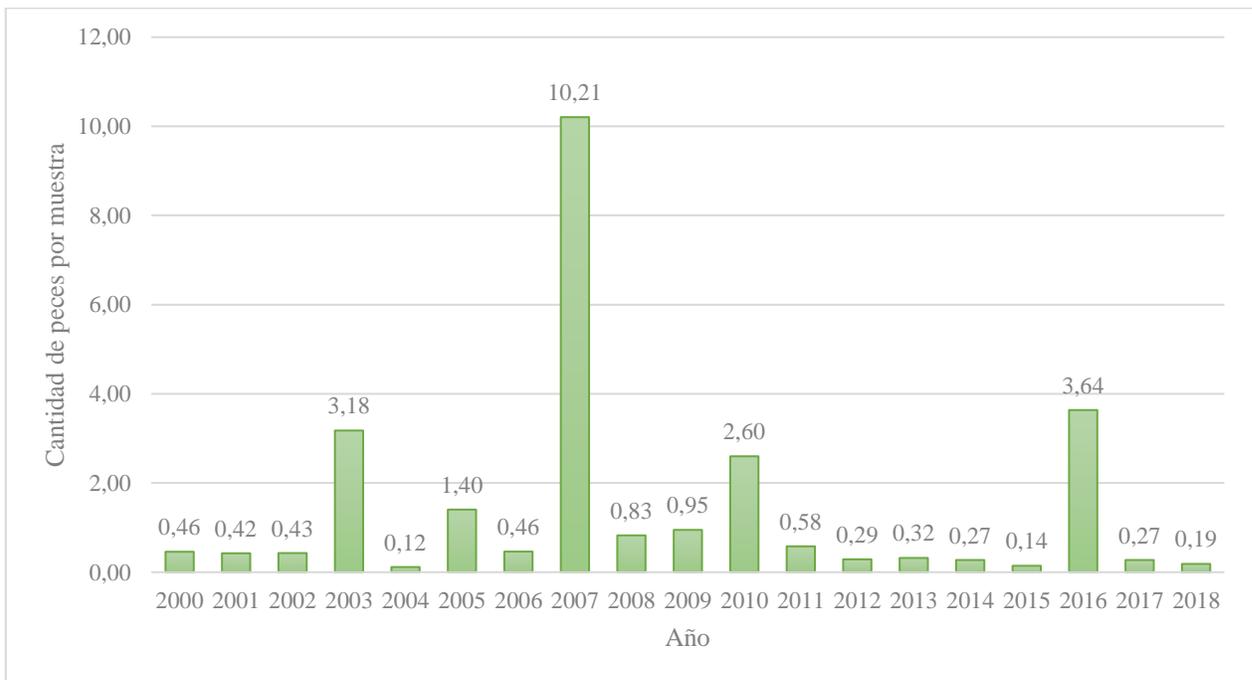


Figura 4.7: Abundancia de peces en el sistema Total.

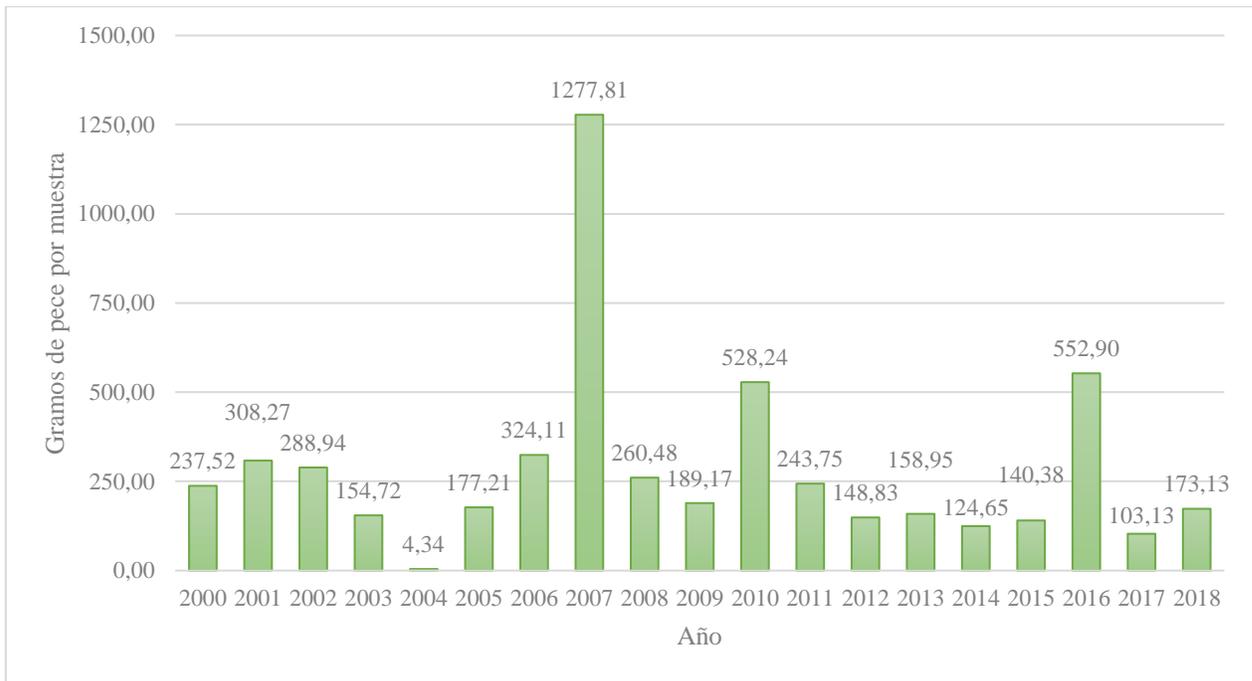


Figura 4.8: Biomasa de peces en el sistema Total.

4.2. Series de profundidades y año hidrológico

La serie de profundidades desde Mayo 1999 hasta Abril 2018 se muestra en la figura 4.9, además de las profundidades correspondientes a los diferentes niveles de inundación: potamofase 1, 2 y 3 con 450, 540 y 610 cm de profundidad respectivamente, en la estación Porto São José.

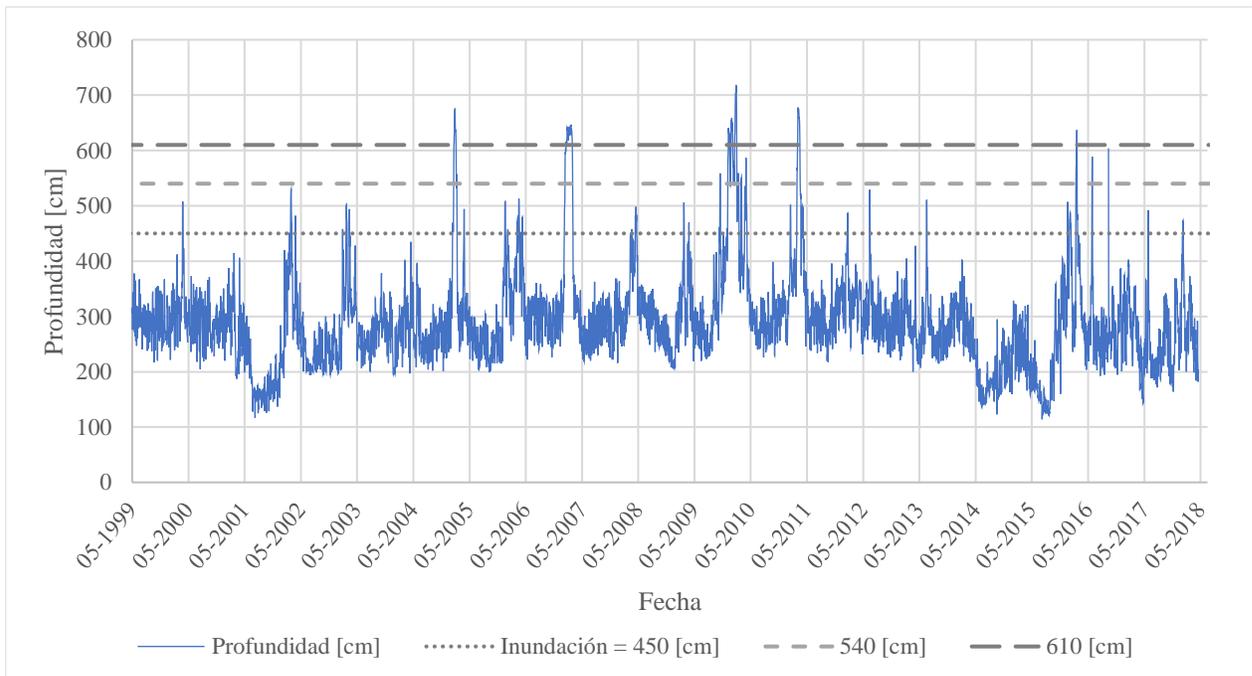


Figura 4.9: Profundidad media diaria en estación Porto São José, incluyendo niveles de inundación (450, 540 y 610 cm)

Los atributos del régimen hidrológico (tablas 3.4 y 3.5 de la metodología) calculados a partir de esta serie de profundidades se muestran en detalle en el Apéndice B, donde se encuentran los valores calculados directamente de la serie de profundidades y los valores normalizados por el máximo de cada atributo obtenido en el período de estudio (paso 1 metodología de regresiones lineales múltiples, sección 3.3), junto a los coeficientes de correlación que informan el comportamiento de cada atributo con respecto a los demás.

Por otra parte, en la figura 4.10 se presenta la serie de caudales observados desde Mayo 1999 hasta Abril 2018, y la serie de caudales naturalizados en el mismo período (caudal calculado a partir del caudal naturalizado en la represa Porto Primavera y la represa Rosana, en el río Paranapanema, datos proporcionados por el equipo de trabajo). A la serie de caudales no naturalizados se le llama serie alterada. Además, se ubican los caudales correspondientes al inicio de la potamofase 1, 2 y 3 (caudales de aproximadamente 12.600, 15.000 y 16.900 m³/s respectivamente).

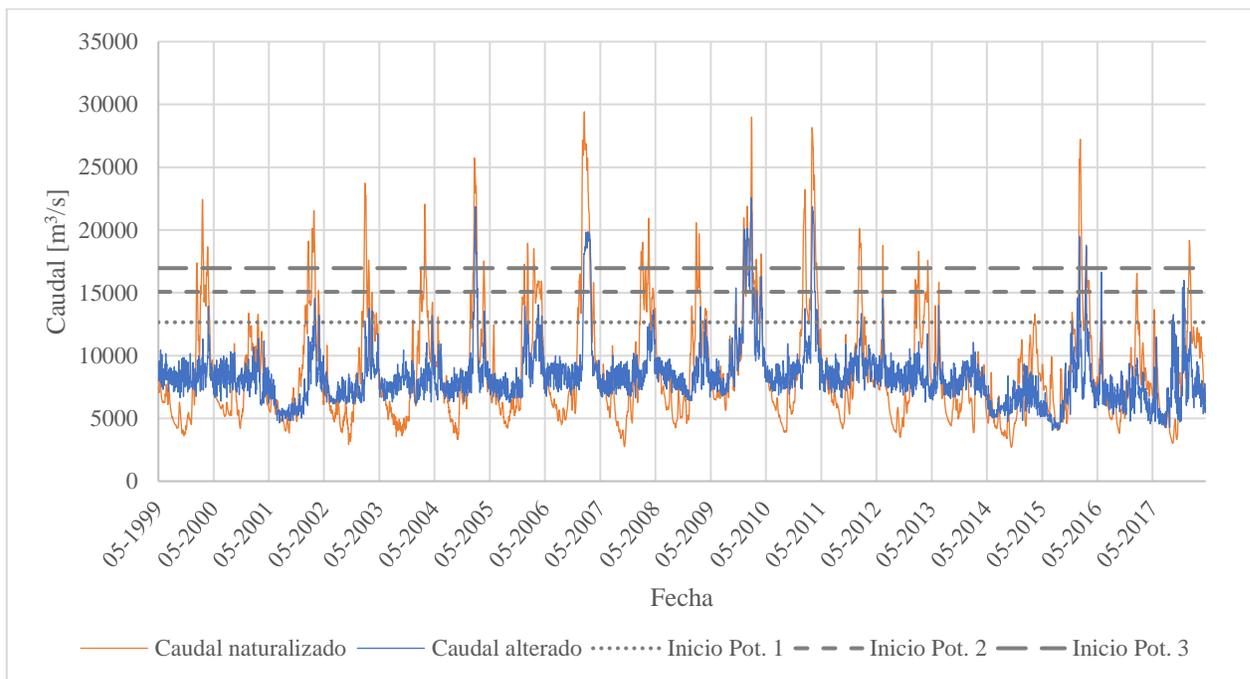


Figura 4.10: Series naturalizada y alterada de caudales, incluyendo inicio de potamofase 1, 2 y 3.

En la figura 4.11 se presenta la relación entre profundidad y caudal. Se observa que ambas magnitudes presentan un alto grado de correlación (coeficiente de correlación = 0,966), con una regresión lineal dada por la ecuación 4.1. Con esta ecuación se rellenaron datos de profundidades correspondientes a las fechas 13 al 30 de Noviembre de 2015.

$$Caudal [m^3/s] = 26,94 \cdot profundidad[cm] + 531,3 \quad (Ec.4.1)$$

El caudal medio mensual de las series alterada y naturalizada se muestra en la figura 4.12. En esta se observa que a partir del mes de Mayo y hasta mediados de Noviembre, el caudal entregado por las represas (serie alterada) es menor que el caudal naturalizado. Este período corresponde principalmente a la temporada seca en la zona de estudio, y presenta el comportamiento reportado por Poff *et al.* (1997) de alteración de régimen hidrológico por represas: estabilización del caudal (pérdida de “peaks” naturales), con aumento de caudales mínimos y disminución de máximos.

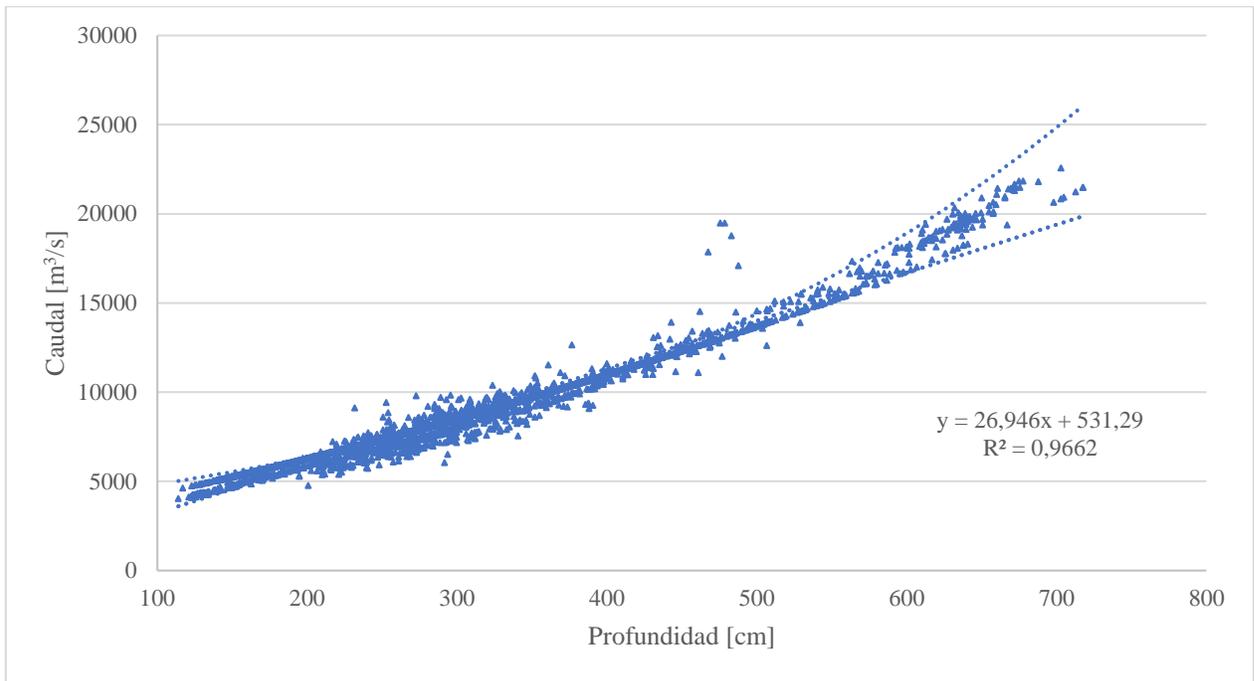


Figura 4.11 : Relación entre caudal y profundidad en la estación Porto São José.

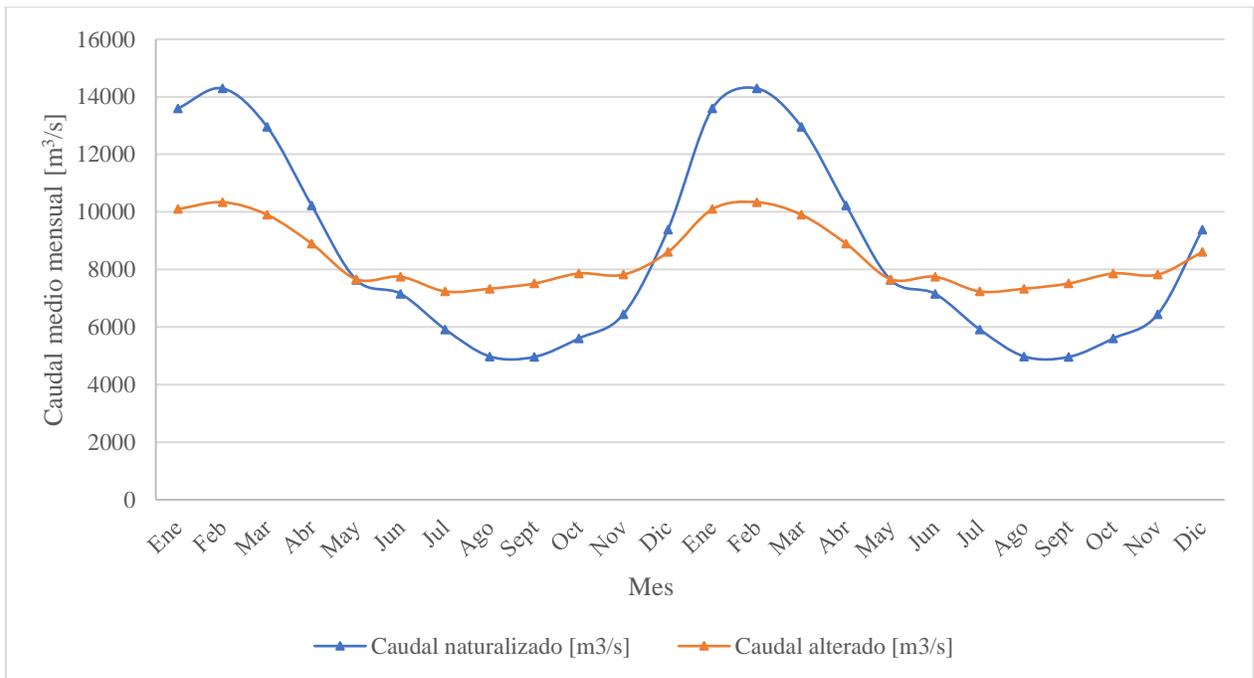


Figura 4.12: Caudal medio mensual de series alterada y naturalizada en estación Porto São José.

Lo contrario ocurre en el período comprendido entre Noviembre y Abril, en el que, en promedio, el caudal alterado es menor que el naturalizado, y esto responde a la entrega de agua controlada por parte de la represa, que no permite el libre paso de los “*peaks*” de caudal producidos por las lluvias en temporada húmeda.

Con la información de la figura 4.12 se determinó la elección del inicio del año hidrológico en el mes de Mayo, que es el mes donde el nivel de agua liberado por las represas aguas arriba es superior al que debería fluir naturalmente en el río.

4.3. Análisis y discusión de resultados: peces, series de profundidades y año hidrológico.

En esta sección se realizará una comparación entre los resultados obtenidos para los indicadores de peces, y la serie de profundidades mostrada en la figura 4.9. Para esto se analizarán de manera cualitativa los años estudiados divididos según intensidad de inundación. En primera instancia, se analizarán los años en que no se superó el nivel umbral de desborde del río Paraná, luego los años en que el nivel superó los 450 cm, pero no los 610 cm, y, por último, los años en que la inundación fue más intensa, superando el nivel de 610 cm.

4.3.1. Años sin inundación: nivel fluviométrico no superó 450 cm

Los años en que el nivel fluviométrico en la estación Porto São José no superó el nivel de 450 cm se listan a continuación, con su año de peces asociado.

- Mayo 2000 - Abril 2001 (2001 año de peces)
- Mayo 2003 - Abril 2004 (2004 año de peces)
- Mayo 2014 - Abril 2015 (2015 año de peces)

Además, se analizarán en esta sección 3 años adicionales en que ocurrió inundación fuera de la temporada húmeda:

- Mayo 2012 - Abril 2013 (2013 año de peces)
- Mayo 2013 - Abril 2014 (2014 año de peces)
- Mayo 2016 - Abril 2017 (2017 año de peces)

Dado el ciclo de vida de los peces, descrito en la sección 2.2, si no ocurre inundación se esperarían bajos valores de abundancia para los juveniles del año, ya que se afecta directamente la disponibilidad de hábitats de crecimiento, aún más, se impide el paso de huevos de peces a la llanura de inundación, incluso habiendo sido exitosa la fertilización de los huevos en los hábitats de reproducción (Agostinho *et al.*, 2008; Suzuki *et al.*, 2009).

Si la inundación ocurre fuera de la temporada húmeda (Octubre a Abril), se espera un comportamiento similar: esta época no coincide con la fecha de inicio del ciclo reproductivo de los peces (gónadas no maduras, debido a la ausencia de estímulos fisicoquímicos en el ambiente, como aumento de temperatura y de fotoperíodo [Vazzoler *et al.*, 1997; Agostinho *et al.*, 2013]), por lo que no serviría en términos de aportar a la población de juveniles del año.

En general, los años listados son los que presentan menores indicadores de abundancia y biomasa de juveniles del año en la zona de estudio. Destaca el caso del año 2004, que presentó la mayor escasez de juveniles. Los valores de este período fueron los mínimos en los subsistemas Ivinheima, Baía y Total para la abundancia y biomasa. En cuanto al subsistema Paraná, el año 2004 presentó bajos valores de indicadores de peces, sin embargo, hubo numerosos años con valores aún inferiores.

Los años 2001, 2013, 2014, 2015 y 2017 también presentaron bajos valores. De los 3 subsistemas, se aleja de la tendencia el subsistema Baía, que presentó valores superiores al resto en todos los

años, lo que podría explicarse por la desincronización de su ciclo hidrológico con respecto al del río Paraná, ya que no se encuentra intensamente regulado (Agostinho *et al.* 2004a).

Estos resultados coinciden con lo mencionado por Verissimo (1999), quien reportó una mínima abundancia de juveniles del año de especies migratorias de larga distancia en tres lagunas de la llanura aluvial, en años sin inundación. Por otra parte, estudiando 3 años con diferentes intensidades de inundaciones, Agostinho *et al.* (2001) encontraron que la abundancia más reducida de juveniles de especies migratorias de larga distancia se encontró en un año sin inundación.

Los resultados también concuerdan con lo descrito por Suzuki *et al.* (2009), quienes encontraron baja abundancia de juveniles del año de peces migratorios en años sin inundación (ellos estudiaron *Prochilodus lineatus*, *Leporinus*, *Obtusidens*, *Pimelodus maculatus*, *Pseudoplatystoma corruscans*, *Pterodoras granulosus*, *Salminus brasiliensis* por separado, y en este estudio se analizaron en conjunto *Prochilodus lineatus*, *Pseudoplatystoma corruscans*, *Pterodoras granulosus* y se agregó *Piaractus mesopotamicus*).

4.3.2. Años con inundación moderada: niveles fluviométricos entre 450 y 610 cm

Los años de inundación moderada, en el que ocurrieron eventos con niveles fluviométricos entre los 450 cm y los 540 cm en la estación Porto São José fueron los siguientes:

- Mayo 1999 – Abril 2000 (2000 año de peces)
- Mayo 2001 – Abril 2002 (2002 año de peces)
- Mayo 2002 – Abril 2003 (2003 año de peces)
- Mayo 2005 – Abril 2006 (2006 año de peces)
- Mayo 2007 – Abril 2008 (2008 año de peces)
- Mayo 2008 – Abril 2009 (2009 año de peces)
- Mayo 2011 – Abril 2012 (2012 año de peces)
- Mayo 2017 – Abril 2018 (2018 año de peces)

Para estos años, las figuras 4.1 a 4.8 entregan valores bajos de indicadores de peces. Esto significa que las inundaciones moderadas no son influyentes para el reclutamiento, según este estudio.

Para algunos años la biomasa obtenida es mayor a la esperada dada la abundancia de peces. Esto indica que esos años se capturaron especies grandes, como *P. corruscans*. Esto ocurre especialmente en el subsistema Baia, donde para los años 2000, 2002 y 2012 esta especie constituyó el 100 % de las capturas, y el 60% en el 2013.

Suzuki *et al.* (2009), estudiando la relación entre la duración de la inundación y la abundancia de juveniles del año, encontraron que la abundancia estaba correlacionada positivamente con la duración del mayor período de inundación ininterrumpida sobre los 3 niveles de potamofase (450, 540 y 610 cm), siendo la correlación más fuerte con el nivel de 450 cm. En este estudio se revela que el nivel de 450 cm no sería suficiente para elevar la cantidad de individuos capturados en los diferentes subsistemas.

Otros autores han estudiado la relación entre el reclutamiento de peces migratorios de larga distancia y la duración de las inundaciones sobre 450 cm, encontrándose siempre una correlación positiva (Piana *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2014; Agostinho *et al.*, 2001). Sin embargo, no se ha hecho la distinción entre los niveles de inundación más intensos.

El año 2003 fue una excepción a la tendencia en el subsistema Paraná, presentando la mayor abundancia de peces en todo el período de estudio. Se analizará en mayor detalle este hallazgo.

- Año 2003 (Mayo 2002/Abril 2003 año hidrológico):

En este período, la máxima profundidad alcanzó 502 cm en la estación Porto São José. El nivel de 450 cm se superó durante 11 días y el pulso no fue continuado, siendo el período más largo de 7 días iniciándose el 22 de Febrero y alcanzando el máximo el 24 de Febrero. Previo a esta inundación, existió un período seco de 306 días (entre el 29 de Marzo 2002 y el 30 de Enero 2003, ver figura 4.13).

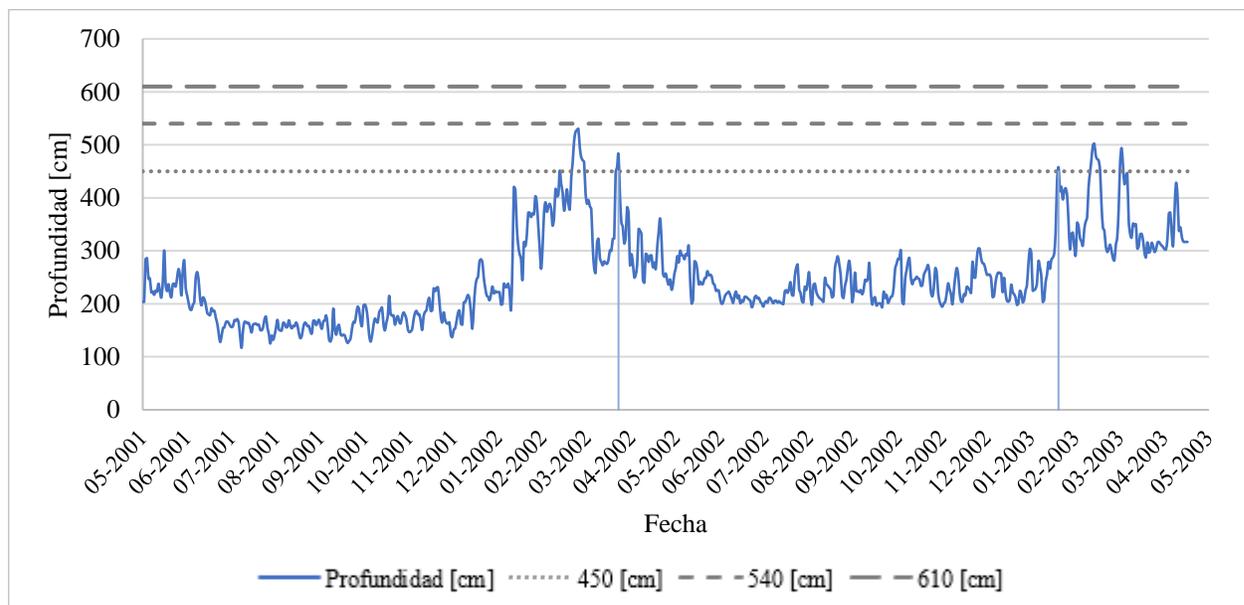


Figura 4.13: Detalle serie de profundidades entre Mayo 2001 y Abril 2003; entre ambas líneas verticales transcurrieron 306 días sin inundación.

La totalidad de los peces capturados ese año provinieron de la Laguna Osmar (losm, figura 3.1) y correspondieron a la especie *P. lineatus*. ¿Por qué en el subsistema Paraná hubo alto reclutamiento y en los demás no? Una razón podría ser la proximidad de la Laguna Osmar con el río Paraná (se encuentra dentro del canal principal); estos son los primeros ambientes afectados por las inundaciones (Vazzoler *et al.*, 1997), y debido a la elevación del nivel freático podría haberse mantenido más tiempo conectado al río y con mejores condiciones para el desarrollo de las larvas, en comparación con los ambientes más alejados dentro de la llanura de inundación.

4.3.3. Años con inundaciones intensas: niveles fluviométricos sobre 610 cm

Los años con mayor intensidad de inundación se listan a continuación, con su correspondiente año de peces. Estos años superaron el nivel definido para la potamofase 3 (610 cm de profundidad en la estación Porto São José) que determina una conectividad total entre los ambientes de la planicie de inundación y el río Paraná (Vazzoler *et al.*, 1997; Oliveira *et al.*, 2014; Suzuki *et al.*, 2009).

- Mayo 2004 – Abril 2005 (2005 año de peces)
- Mayo 2006 – Abril 2007 (2007 año de peces)
- Mayo 2009 – Abril 2010 (2010 año de peces)
- Mayo 2010 – Abril 2011 (2011 año de peces)
- Mayo 2015 – Abril 2016 (2016 año de peces)

Dado el ciclo de vida de los peces migratorios estudiados, y su fuerte correlación con el ciclo hidrológico, especialmente con la presencia de inundaciones para completar las primeras etapas de desarrollo de su vida (ver sección 2.2), se espera que estos años sean los más beneficiados en cuanto a abundancia y biomasa de peces juveniles.

En esta sección resulta importante estudiar la duración de las diferentes fases de inundación, que se presentan en la figura 4.14. En esta se observa por separado la duración de las potamofases (número de días en que el río supera los niveles de 450, 540 y 610 cm), y la duración de los pulsos continuados más prolongados.

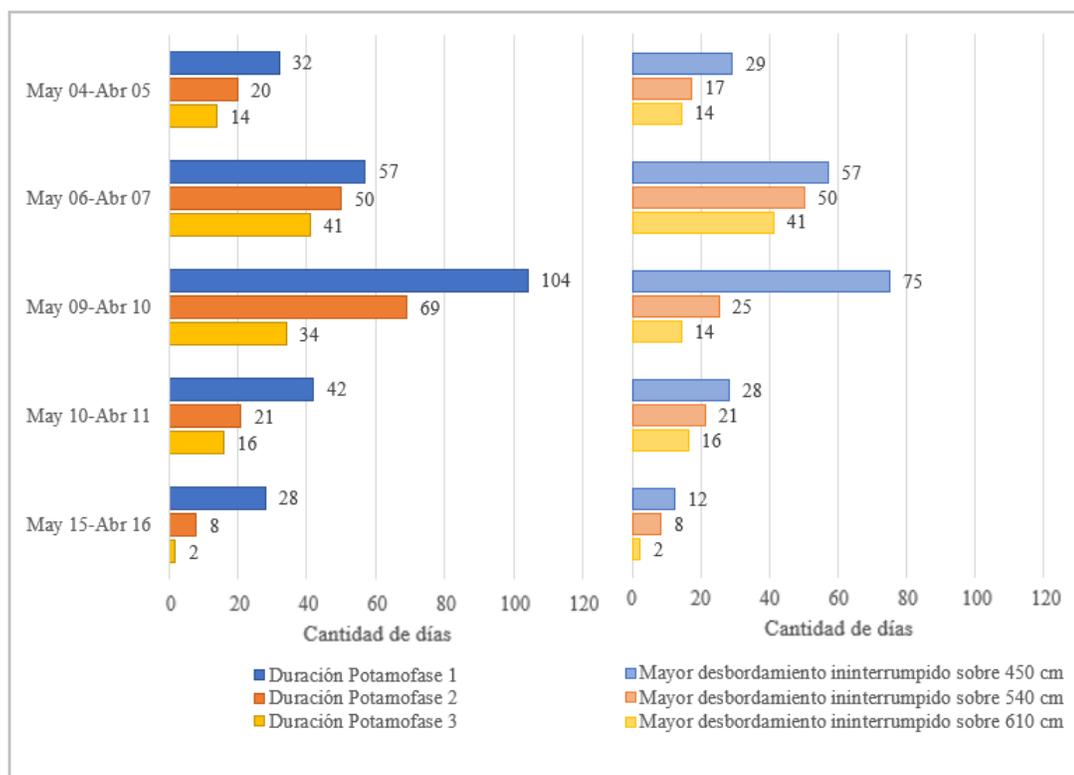


Figura 4.14: Detalle de duraciones de las distintas fases de inundación y de mayores desbordamientos ininterrumpidos en los años en que se superó el nivel de potamofase 3 (610 cm).

De los años mencionados, el 2007 fue el que presentó la mayor biomasa y abundancia, en todos los subsistemas incluyendo el sistema completo (la única excepción fue la abundancia en el subsistema Paraná, donde el 2007 fue el segundo año con mayor valor de este atributo, superado por el 2003). Por lo tanto, el 2007 fue el mejor año de todo el período de estudio y se detallará a continuación.

- Año 2007 (Mayo 2006 /Abril 2007 año hidrológico):

En el ciclo Mayo 2006/Abril 2007 la intensidad del pulso de inundación alcanzó 647 cm. El nivel de 450 cm se superó durante 57 días; el de 540 cm durante 50 días, y el de 610 cm durante 41 días. De entre todos los años abordados en este estudio, el 2007 es el que presentó mayor duración de la potamofase 3 y en solo un pulso (inundación continua). La inundación comenzó el 12 de Enero, como indica la segunda línea vertical en la figura 4.15.

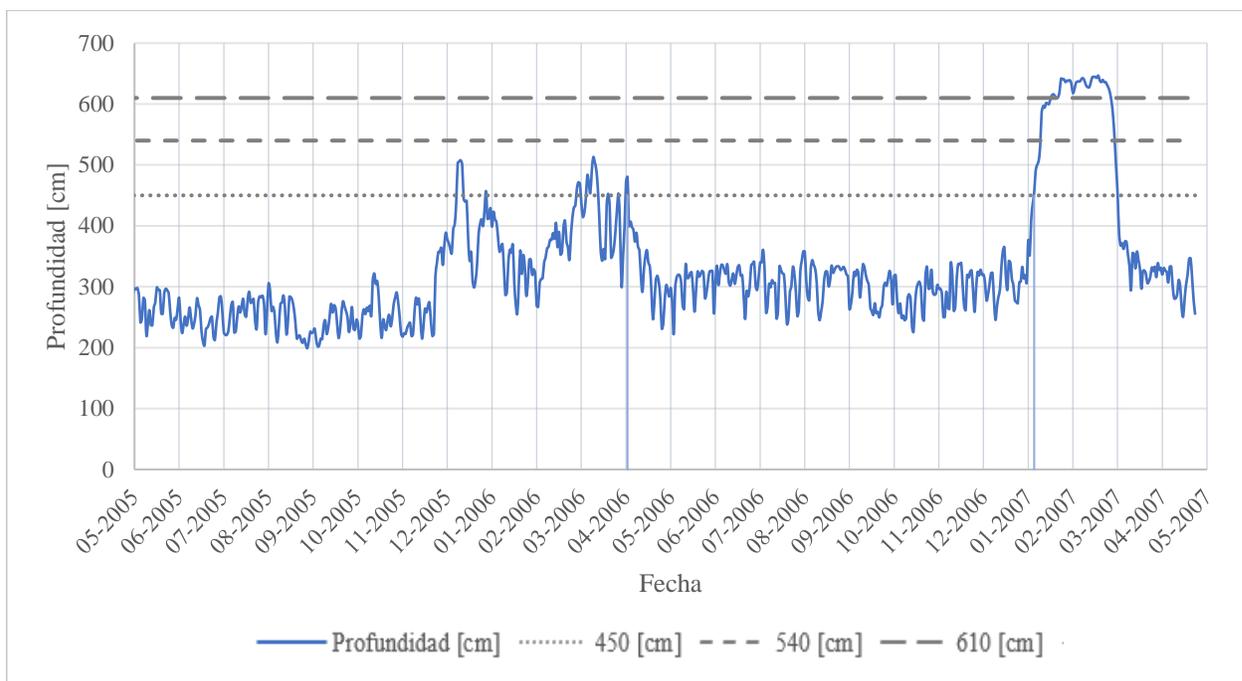


Figura 4.15: Detalle serie de profundidades entre Mayo 2005 y Abril 2007; entre ambas líneas verticales transcurrieron 272 días sin inundación.

En el período anterior, comprendido entre Mayo 2005 y Abril 2006, se produjo una inundación durante 20 días (no continuados), alcanzando un nivel máximo de 513 cm. La última fecha inundada fue el 14 de Abril de 2006 (primera línea vertical figura 4.15). Esto le dio al ciclo Mayo 2006/Abril 2007 un período de 272 días sin inundaciones antes del 12 de Enero. En el período de tiempo previo a la inundación de Enero 2007, posiblemente se alcanzó a desarrollar la flora que posteriormente es utilizada como alimento y refugio por los juveniles en la llanura.

Por otra parte, la prolongada inundación permitió a los huevos y larvas alcanzar sin problemas las lagunas de la planicie, y darles tiempo suficiente para el desarrollo inicial, en el que tienen más probabilidades de ser depredados si no encuentran un refugio adecuado (Agostinho *et al.*, 2013; Agostinho *et al.*, 2004a; Sverlij, Espinach Ros & Orti, 1993; Suzuki *et al.*, 2009).

De la figura 4.15 se observa que el nivel del río comenzó a ascender cerca de los últimos días de Diciembre. Esta variación en el nivel del río actúa como estímulo para el comienzo de las migraciones reproductivas, y coincide con las fechas de maduración gonadal de los adultos, reportado por Agostinho *et al.* (1993) y Agostinho *et al.* (2013), y que corresponde a los meses de Julio a Noviembre, aproximadamente. Los períodos de desove para los peces considerados de interés en este estudio corresponden a Octubre - Enero (*P. lineatus* y *P. mesopotamicus*), Noviembre - Febrero (*P. corruscans*) y Enero - Marzo (*P. granulosus*), es decir, la fecha de inundación del 2007 fue favorable para todas las especies.

Por último, se destaca que este evento de inundación coincide con un fenómeno de El Niño de intensidad débil (*El Niño and La Niña Years and Intensities*. (2020)). Para más detalle revisar apéndice C.

Los años 2010 y 2016, por otra parte, fueron los dos siguientes años con mayor importancia en los atributos de peces; en general, ambos períodos sobresalen luego del año 2007 en todos los subsistemas. Los dos períodos se consideran exitosos para el reclutamiento de peces, y cumplen con lo esperado dada la relación entre su ciclo de vida y el año hidrológico. La diferencia entre ambos años, sin embargo, radica en la duración de las inundaciones.

El 2010 presentó las inundaciones ininterrumpidas más largas de todo el período de estudio (figura 4.14). La inundación ocurrió sobre 450 cm durante 75 días seguidos, sobre 540 cm durante 25 días y sobre 610 cm durante 14 días. El 2016 presentó una inundación corta, de 12, 8 y 2 días sobre 450, 540 y 610 cm, respectivamente. También se destaca que ambos años estuvieron influenciados por el fenómeno de El Niño, con intensidades moderada y muy fuerte para el 2010 y 2016, respectivamente. A continuación, se presentan ampliaciones a los años hidrológicos de Mayo 2009/Abril 2010 y Mayo 2009/Abril 2010, en conjunto con el año Mayo 2010/ Abril 2011 (por coincidencia de fechas con año 2010).

- Años 2010 y 2011 (Mayo 2009/Abril 2010, Mayo 2010/Abril 2011):

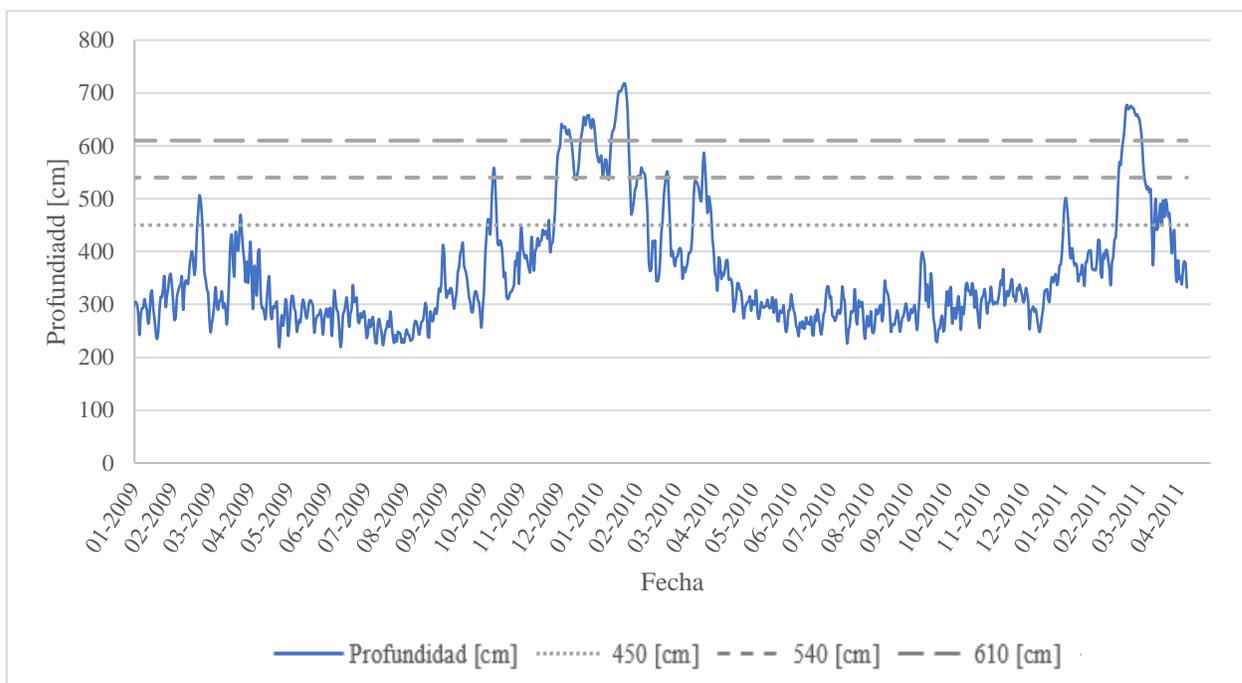


Figura 4.16: Detalle serie de profundidades entre Enero 2009 y Abril 2011.

Estos dos años superaron el nivel de 610 cm. Sin embargo, únicamente el 2010 presentó niveles elevados de reclutamiento, mientras el 2011 presentó un comportamiento similar a los años con inundación moderada.

A pesar de que las fechas de inundaciones son adecuadas para los peces en el año 2011 (la más prolongada ocurrió el 24 de Febrero de 2011 y la primera el 22 de Enero 2011, figura 4.16), es posible que otros factores hayan afectado el reclutamiento ese año. Este período estuvo influenciado por el fenómeno de La Niña, lo que podría ser un factor importante para tener en cuenta.

Este año, junto al 2005 son los más representativos de que la inundación intensa no es suficiente para el aumento de las capturas de peces migratorios de larga distancia. Esto había sido mencionado por Fernandes *et al.* (2009) y Piana *et al.* (2017), que estudiaron la abundancia de peces migratorios de larga distancia y su relación con las características de la inundación y con otros factores como la temperatura, transparencia del agua, entre otros.

El 2010, en cambio, fue el tercer año con mejor reclutamiento de todo el período de estudio. Este período presentó inundaciones intensas y prolongadas, siendo el año con mayor duración de potamofase 1 (104 días), y 75 días de inundación ininterrumpida. La inundación más larga comenzó el 10 de Diciembre, alcanzando su máximo el 3 de Febrero con 718 cm. Previo a la primera inundación del ciclo Mayo 2009/Abril 2010 (17 Octubre 2009), el período seco se extendió por 197 días, duración que podría haber sido adecuada para el desarrollo de un hábitat de crecimiento apropiado. A su vez, este año coincidió con un fenómeno de El Niño de intensidad moderada.

Esta sucesión de dos años seguidos con inundaciones intensas no fue efectiva para el reclutamiento en el segundo año. Dado esto, se podría decir que las inundaciones intensas durante dos años consecutivos no son lo óptimo para el crecimiento de la población de juveniles del año de peces migratorios de larga distancia, por lo que una frecuencia de una inundación cada dos años podría ser adecuada. Dos autores mencionan esta frecuencia de ocurrencia de eventos de inundaciones intensas:

Suzuki *et al.* (2009) estudiaron atributos del régimen hidrológico para los años 1991, 1992, 1993, relacionados con las capturas de juveniles del año para los años 1992, 1993 y 1994, respectivamente. Durante los 3 años, la intensidad de la inundación superó los 600 cm en el río Paraná (628, 667, 605 cm, respectivamente). Los resultados del reclutamiento de peces, sin embargo, solo fueron exitosos para el año 1992 en los subsistemas Ivinheima y Baia, y para el año 1993 en el subsistema Paraná. Por lo tanto, el evento de 2 años seguidos con inundación intensa y sólo un año de alto reclutamiento se repitió en este trabajo. Dado eso, Suzuki *et al.* (2009), indican que un evento de inundación importante (duración potamofase 1 sobre 50 días, intensidad sobre 610 cm) debería producirse cada 2 años para aumentar el reclutamiento de juveniles.

Fernandes *et al.* (2009), mencionan que una secuencia de un año seco seguido de un año con inundación mejora la condición nutricional de los peces adultos, que estarían mejor preparados para realizar migraciones reproductivas en el año de inundación, implicando indirectamente un éxito en el reclutamiento del año con inundación.

- Año 2016 (Mayo 2015/Abril 2016):

Este año presentó 12 días seguidos con niveles sobre 450 cm, 8 días con niveles sobre 540 cm y únicamente 2 días con niveles sobre 610 cm. La fecha de inicio de la inundación más larga fue el 23 de Febrero y alcanzó el máximo el 1 de Marzo, con 637 cm de profundidad (ver figura 4.17). Existieron inundaciones previas de menor duración, que no superaron el nivel de 540 cm: 3 días el 31 de Diciembre 2009 y 11 días el 13 de Enero. Los 3 años anteriores no presentaron inundación en la temporada húmeda, sólo 4 días en Junio de 2012 y 2013. Estas pequeñas inundaciones no deberían contribuir a la entrada de huevos y larvas a la llanura de inundación, ya que los peces adultos no se encuentran en período reproductivo en esas fechas (Vazzoler *et al.*, 1997; Agostinho *et al.*, 2013).

Previo a la inundación del 31 de diciembre de 2015, se completó un período de aguas bajas de 810 días. En este período, los hábitats de la llanura de inundación debieron ser ambientes difíciles para la supervivencia de peces, ya que los niveles de las lagunas disminuyen; y algunas se pueden secar (Agostinho *et al.*, 2013). Durante esa larga fase seca, puede haber ocurrido gran mortalidad de peces, lo que se evidencia con la tendencia a la baja en la abundancia en los 3 subsistemas desde el año 2013 en adelante.

Llama la atención la fecha de ocurrencia del “peak” de inundación, a principios de Marzo. Como se mencionó, esta fecha solo favorecería a la especie *P. granulatus* y en menor medida a *P. corruscans*, por lo que se esperaría una elevada abundancia de ambas. Sin embargo, de 240 peces capturados en este año, 195 fueron *P. lineatus*, 24 *P. corruscans*, 14 *P. granulatus* y 4 *P. mesopotamicus* (mayor detalle se puede encontrar en el apéndice A, tabla 7). Las inundaciones más tempranas podrían explicar estas cifras.

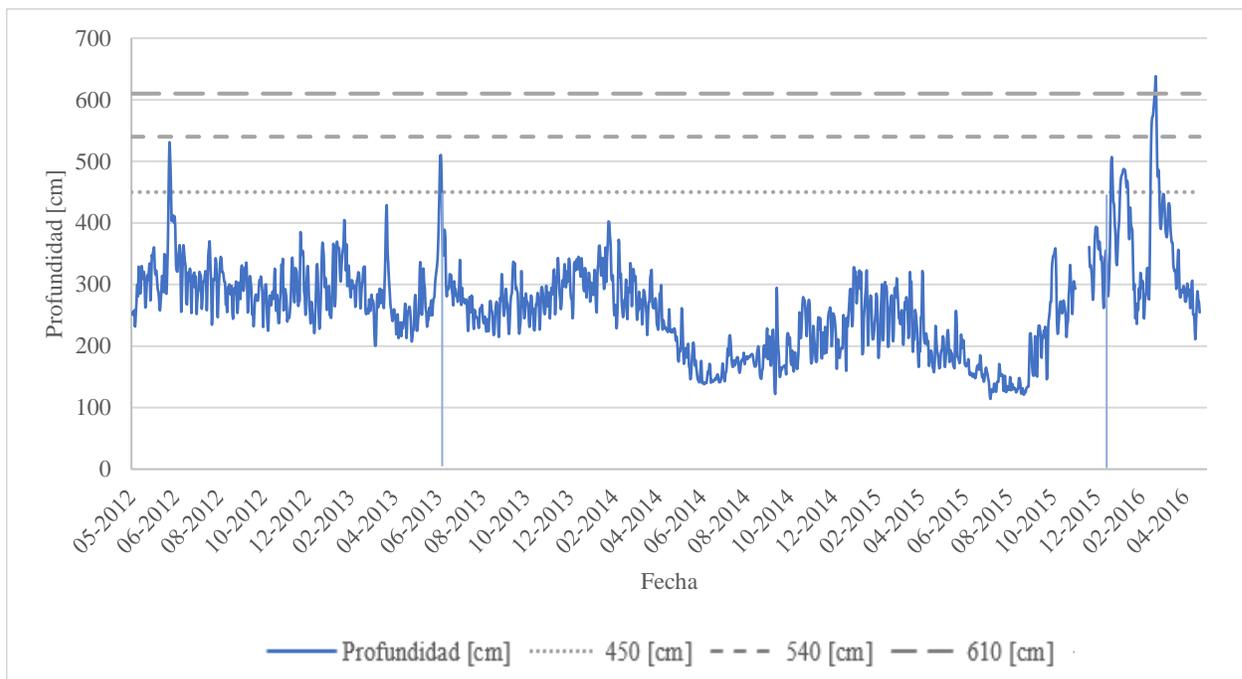


Figura 4.17: Detalle serie de profundidades entre Mayo 2012 y Abril 2016.

Un factor importante a considerar es el fenómeno de El Niño ocurrido este año, el más intenso registrado en los últimos 70 años (ver apéndice C). Este evento climático podría acarrear otros factores ambientales que favorezcan la supervivencia de los peces en sus etapas más tempranas.

- Año 2005 (Mayo 2004/Abril 2005)

La inundación del año 2005 presentó duraciones similares a la de 2011: 29 días de inundación continua sobre 450 cm, 17 días sobre 540 cm y 14 días sobre 610 cm. Las capturas este año fueron bajas para los todos los subsistemas, presentando un comportamiento de año sin inundación o con inundación moderada. Se destaca que este año estuvo influenciado por un fenómeno de El Niño intensidad débil.

En síntesis, del análisis expuesto se puede decir que, durante el período estudiado, las inundaciones moderadas en general no conllevaron un elevado valor de las capturas de juveniles del año de las especies migratorias consideradas. Las inundaciones que superan el nivel de 610 cm tienden a generar valores elevados de reclutamiento.

Por otra parte, se observó que la ocurrencia de inundaciones intensas (sobre 610 cm) no fue suficiente por sí sola para obtener niveles de captura exitosos, como los años 2005 y 2011. Destacó el caso del año 2016, que presentó niveles elevados de reclutamiento y duraciones de inundación cortas. Este año podría ser utilizado como referente para la futura operación de la represa Porto Primavera, ya que, en términos de producción de peces sobre agua liberada por la represa, fue el más eficiente.

Las diferentes respuestas sobre el reclutamiento en años con inundaciones intensas y duraderas indicarían que existen otros factores que serían importantes de considerar, y que no dependen de la operación de represas. Resultaría útil estudiar la influencia de los eventos climáticos de El Niño y La Niña sobre factores que pueden afectar el reclutamiento de peces, como por ejemplo la temperatura ambiental en la zona.

4.4. Regresiones lineales múltiples

A continuación, se exponen los resultados de las regresiones lineales múltiples para el total de datos y para el subconjunto de datos correspondientes a los años con inundación en temporada húmeda según lo descrito en la metodología. En las tablas 4.1 y 4.2 se muestran las ecuaciones y los indicadores de bondad de ajuste correspondientes al total de 19 años de datos; y en las tablas 4.3 y 4.4 se muestran estos resultados para el subconjunto de 13 datos. El detalle de los datos utilizados se encuentra en el Apéndice B, tablas 5 a 8. Los predictores están ordenados de manera decreciente en cuanto a aporte a la ecuación, determinado a partir de los coeficientes con las variables adimensionales. Las ecuaciones presentadas no son adimensionales, sino que fueron convertidas utilizando los máximos de la serie de datos mencionados en el paso 1 de la metodología de regresiones lineales múltiples, presentada en la sección 3.3. Las unidades de medida de cada atributo son las presentadas en las tablas 3.4 y 3.5.

Tabla 4.1. Resultados de regresiones generadas con 19 años de datos

Atributo	Regresión	β_i variables adimensionales		
		β_1	β_2	β_3
Paraná Abundancia [N peces]	$4.468 - 0.011 \cdot F_{min} - 0.033 \cdot DL_{larga/previa}$	-4.232	-2.972	
Paraná biomasa [g]	$-80.13 + 7.601 \cdot MI > 540_{hum} + 0.704 \cdot F_{min}$	380.061	159.265	
Ivinheima abundancia [N peces]	$4.72 + 0.305 \cdot MI > 540_{hum} - 0.027 \cdot Hmin + 0.0015 \cdot Fmax$	15.297	-6.072	0.516
Ivinheima biomasa [g]	$1098.87 + 30.95 \cdot MI > 540_{hum} - 3.18 \cdot Hmin - 1.32 \cdot DL_{larga}$	1547.536	-718.784	-482.353
Baia abundancia [N peces]	$1.587 + 0.119 \cdot MI > 610_{hum} - 0.006 \cdot Hmin$	4.910	-1.413	
Baia biomasa [g]	$514.997 + 19.663 \cdot MI > 610_{hum} - 2.16 \cdot Hmin + 0.81 \cdot Fmax$	806.199	-488.284	289.994
Total abundancia [N peces]	$2.399 + 0.204 \cdot MI > 610_{hum} - 0.0103 \cdot Hmin$	8.363	-2.324	
Total biomasa[g]	$323.767 + 17.802 \cdot MI > 540_{hum} - 1.269 \cdot Hmin + 0.371 \cdot Fmax$	890.125	-286.992	132.885

Tabla 4.2: indicadores de las regresiones lineales y análisis de varianza para cada ecuación. (MSE=promedio del error al cuadrado de los residuos)

Atributo	Indicadores regresiones generadas con 19 años de datos				
	R ² ajustado	F	MSE	Suma error ²	Error ² unitario
Paraná Abundancia [N peces]	0.100	1.948	7.547	125.675	2.572
Paraná biomasa [g]	0.636	15.861	7074.918	106293.391	74.796
Ivinheima abundancia [N peces]	0.740	17.142	5.047	71.579	1.941
Ivinheima biomasa [g]	0.736	16.829	63493.633	936995.072	222.071
Baia abundancia [N peces]	0.698	20.650	0.593	8.899	0.684
Baia biomasa [g]	0.419	5.088	54643.760	791083.279	204.049
Total abundancia [N peces]	0.671	18.335	1.941	29.116	1.238
Total biomasa[g]	0.704	14.493	22336.347	354001.018	136.498

Tabla 4.3: Resultados de regresiones generadas con subconjunto 2, con 13 años de datos.

Atributo	Regresión	β_i variables adimensionales		
		β_1	β_1	β_1
Paraná Abundancia [N peces]	$-0.977 + 0.042 \cdot F_{prim_{hum}} - 0.032 \cdot F_{min} - 0.014 \cdot F_{max}$	14.185	-7.848	-5.027
Paraná biomasa [g]	$-158.984 + 10.242 \cdot DP3_{tot} + 1.136 \cdot F_{prim_{hum}} + 0.274 \cdot F_{max}$	419.933	203.415	98.338
Ivinheima abundancia [N peces]	$-1.558 + 0.367 \cdot MI > 540_{hum} + 0.032 \cdot Flarga_{tot} - 0.044 \cdot H_{min}$	18.360	11.273	-9.953
Ivinheima biomasa [g]	$90.126 + 34.156 \cdot MI > 540_{hum} - 4.669 \cdot H_{min}$	1707.841	-1055.239	
Baia abundancia [N peces]	$1.543 + 0.123 \cdot MI > 610_{hum} - 0.012 \cdot H_{min} + 0.004 \cdot F_{max}$	5.046	-2.685	1.419
Baia biomasa [g]	$518.97 - 3.765 \cdot H_{min} + 19.46 \cdot MI > 610_{hum} + 1.988 \cdot F_{max}$	-851.075	797.888	711.826
Total abundancia [N peces]	$3.409 + 0.202 \cdot MI > 610_{hum} - 0.014 \cdot H_{min}$	8.287	-3.328	
Total biomasa[g]	$-60.787 + 21.468 \cdot MI > 540_{hum} + 2.121 \cdot Flarga_{tot} - 2.126 \cdot H_{min}$	1073.437	751.002	-480.487

Tabla 4.4: indicadores de las regresiones lineales y análisis de varianza para cada ecuación generadas con 13 datos. (MSE=promedio del error al cuadrado de los residuos)

Atributo	Indicadores regresiones generadas con 13 años de datos				
	R ² ajustado	F	MSE	Suma error ²	Error ² unitario
Paraná Abundancia [N peces]	0.122	1.511	10.382	95.654	2.713
Paraná biomasa [g]	0.667	8.356	7751.105	62238.398	69.192
Ivinheima abundancia [N peces]	0.732	11.005	7.199	64.597	2.229
Ivinheima biomasa [g]	0.709	14.394	93334.254	846073.099	255.113
Baia abundancia [N peces]	0.672	8.503	0.901	7.212	0.745
Baia biomasa [g]	0.484	4.443	56010.600	449061.014	185.858
Total abundancia [N peces]	0.623	10.079	3.006	27.050	1.442
Total biomasa[g]	0.697	9.427	30159.320	241299.024	136.540

4.5. Análisis y discusión regresiones lineales múltiples

Con respecto a los resultados presentados para las regresiones lineales múltiples, los análisis se dirigirán en primera instancia a la comparación de ambos conjuntos de ecuaciones, para posteriormente analizar cada atributo en mayor detalle.

4.5.1. Comparación regresiones generadas con 19 y 13 años de datos

De comparar la columna Error² unitario de las tablas 4.2 y 4.4, se desprende que en general, las regresiones generadas con 19 datos arrojan menor error para cada valor en comparación con las regresiones generadas con 13 datos, para cada par de atributos de peces. Es por esto que se consideran como resultado final de este trabajo las ecuaciones mostradas en la tabla 4.1.

Por otra parte, al comparar los indicadores R² ajustado, F y MSE se observa un mejor ajuste para las regresiones construidas con 19 años, para los 3 indicadores y para la mayoría de los indicadores de peces (la excepción es el coeficiente R² ajustado en el subsistema Paraná y biomasa en el subsistema Baia).

En general, las regresiones sí se ajustan a los valores observados. La excepción a esta tendencia es el atributo Paraná Abundancia, (coeficiente R² ajustado = 0.1), y en menor medida la biomasa del subsistema Baia (coeficiente R² ajustado = 0.419).

La ecuación de abundancia para el subsistema Paraná, debido a su mal ajuste, no se considera aceptable. Omitir el año 2003 de este análisis probablemente hubiese entregado una ecuación admisible, sin embargo, se hubiera perdido la muestra más abundante, implicando la obtención de un ajuste que se no se adecúa a la realidad.

Para la biomasa del subsistema Baia, esta distorsión se explicaba por la mayor captura de *P. corruscans* en esta zona, que significaba una mayor masa por ser la especie más grande que se consideró.

Estos ajustes alejados de las observaciones, sin embargo, alcanzan a ser neutralizados por el comportamiento de los demás subsistemas, ya que, al analizar el sistema Total, las ecuaciones presentan ajustes con coeficientes R² ajustado de 0.671 y 0.704 para abundancia y biomasa, respectivamente.

4.5.2. Atributos seleccionados

Dentro de los atributos seleccionados en las regresiones construidas con 19 datos destacan:

- Duración de la inundación

De los 8 indicadores de peces, 7 son principalmente explicados por la duración de la inundación, siempre con una correlación positiva y siendo el atributo que más aporta en la regresión. Se destaca que las duraciones consideradas son para los niveles de inundación ininterrumpida de 540 y 610 cm, en temporada húmeda.

Este resultado coincide parcialmente con lo presentado en la sección 4.3 de este estudio, en la que se destacó que una inundación que sobrepase el nivel de 450 cm pero no el de 610 cm, no es efectiva

para las capturas de juveniles del año de los peces estudiados. En esta sección se agrega el nivel de 540 cm como un umbral importante a superar para el éxito del reclutamiento.

Este resultado coincide con lo reportado por Agostinho *et al.* (2004); Suzuki *et al.* (2009) y Piana *et al.* (2017), quienes indicaron que la abundancia y/o biomasa de juveniles del año de peces migratorios de larga distancia se ve beneficiada en los años con inundaciones prolongadas.

Los atributos de duración de inundación (duración potamofase 1, 2, 3, mayor período continuado inundado, en temporada húmeda y año completo) se correlacionaron fuertemente con la profundidad máxima en el río (ver tabla 9 Apéndice B), por lo que, si un atributo de inundación era seleccionado en la regresión, el atributo de profundidad máxima era automáticamente descartado como candidato al siguiente predictor.

- Profundidad mínima

El atributo de profundidad mínima fue de relevancia para todos los indicadores de peces, excepto los relacionados con el subsistema Paraná. Este siempre se presenta correlacionado de forma negativa con los indicadores de peces, significando que mientras mayor sea la profundidad mínima, menor será el reclutamiento. Este atributo no había sido estudiado por los autores mencionados en la revisión de antecedentes.

La correlación negativa con los atributos de peces podría explicarse por la necesidad de ocurrencia de períodos secos en los hábitats de llanura de inundación para el desarrollo de plantas, plántulas arbustos u otro tipo de flora. Si la profundidad mínima es elevada (implicando nivel freático elevado), estos procesos podrían verse perjudicados, y al momento de la inundación, cuando peces juveniles o larvas necesitan alimento y refugio, la calidad del hábitat podría ser insuficiente para sus necesidades.

Esta alteración sí fue mencionada por Agostinho *et al.* (2008), quienes, analizando los principales efectos de la construcción de represas sobre la zona de estudio, destacaron que el incremento en la magnitud de los caudales mínimos ha resultado en un aumento de las áreas húmedas en la llanura de inundación a lo largo del año, impidiendo el aislamiento de cuerpos de agua durante los períodos secos.

Este atributo siempre fue seleccionado en segundo lugar, constituyendo el segundo mayor aporte a las regresiones luego de la duración de la inundación. Se destaca que la profundidad mínima (*Hmin*) solo se correlacionó de manera importante con el atributo de “Período seco más largo previo a la primera inundación” (Coeficiente Correlación = -0,608).

- Fechas profundidad máxima y mínima

Destaca la elección de 5 atributos correspondientes a esta categoría en las regresiones lineales construidas.

El atributo de fecha de la profundidad máxima fue de importancia en la biomasa del subsistema Baia, Total y la abundancia del subsistema Ivinheima. Para este atributo, un valor de 1 coincide con la mayor fecha de ocurrencia de la profundidad máxima de todo el período de estudio (valor de 358, 22 de Abril de 2008), mientras un valor de 0 indica que ocurrió el primer día del año hidrológico (1 de Mayo). La correlación entre este atributo y los indicadores de peces fue positiva, significando que mientras más avanzado en el año hidrológico ocurre la profundidad máxima, mejor para los indicadores de peces.

Para este atributo puede que el ajuste más correcto sea una función cuadrática, donde las fechas óptimas del desove (Octubre-Marzo, según Agostinho *et al.* (2013)) correspondieran al máximo valor de los indicadores de peces, y los valores extremos (de atributo de fecha) fueran los mínimos valores de indicadores de peces.

La fecha de profundidad mínima fue seleccionada en 2 indicadores de peces: abundancia y biomasa del subsistema Paraná. Como se mencionó anteriormente, la abundancia en el subsistema Paraná no se considera una regresión aceptable.

En el caso de la biomasa, la correlación positiva indicaría que mientras más avanzado en el año hidrológico ocurre la profundidad mínima, mejor para los indicadores de peces. Esto podría ser correcto si el rango de fecha en que ocurren las profundidades mínimas fuera dentro del período seco o cercano a dicho período. En este estudio, el mayor valor de este atributo fue de 366 días. Esto implica que en un año la profundidad mínima ocurrió el 30 de Abril. Sin embargo, esta profundidad mínima no afecta a los peces recolectados el año hidrológico correspondiente, sino que podría afectar al año siguiente. Al 30 de Abril, los procesos biológicos relacionados con la migración, el desove y el desarrollo de las etapas primarias de vida de los peces ya han ocurrido. Para estudios posteriores, una solución a esta distorsión podría ser limitar la selección de fechas mínimas a unos meses antes del final del año hidrológico seleccionado en este estudio, por ejemplo, limitar este atributo al mes de Diciembre.

Además, se destaca que 3 años presentaron la profundidad mínima pasado el mes de Diciembre. Estos fueron el 2001, 2013 y 2017, con profundidades mínimas el 12 de Marzo, 30 de Marzo y 30 Abril, respectivamente. Estos 3 años no presentan inundación.

- Duración período seco

Por último, las duraciones de los períodos secos (duración período seco más largo dentro del año hidrológico, duración del período seco más largo previo a la primera inundación del año) se correlacionaron de manera negativa con los indicadores de abundancia en el subsistema Paraná y biomasa en el subsistema Ivinheima. Estos atributos fueron los últimos en ser escogidos dentro de las regresiones, presentando los coeficientes β_i más bajos. La correlación negativa implica que mientras más dura un período seco, menor es la captura de peces. Esta correlación podría explicarse observando los casos extremos; mientras más dure un período seco previo a una inundación, los hábitats de llanura de inundación podrían secarse por completo (Agostinho *et al.*, 2013), e impedir el desarrollo de las plantas o los organismos adecuados para la alimentación y refugio de larvas y juveniles. En el otro extremo, esta correlación indica que, si no existiera período seco previo a una inundación, se beneficiarían las capturas. Esto parece estar alejado de la lógica, ya que se conoce la necesidad de una intercalación de períodos inundados y secos para el éxito del desarrollo de los peces juveniles (Casco, 2005, Agostinho *et al.*, 2013). Por lo tanto, este atributo, al igual que la fecha de profundidad máxima, podría ser abordado en una ecuación cuadrática para explicar los indicadores de peces, donde una duración determinada de días sin inundación correspondiera a las máximas capturas, mientras una cantidad de días alejada de la duración mencionada fueran las mínimas capturas.

Se encontraron dos tendencias dentro de las ecuaciones generadas: la biomasa del sistema Total, y subsistema Baia, y la abundancia del subsistema Ivinheima presentan los mismos atributos: duración del mayor período de inundación ininterrumpida (sobre 540 ó 610 cm), profundidad mínima y fecha de la profundidad máxima. Por otra parte, la abundancia del sistema Total y el subsistema Baia presentaron como predictores la duración del mayor período de inundación ininterrumpida (sobre 610 ó 540 cm) y la profundidad mínima en el río.

Estos resultados podrían ser utilizados en un modelo de optimización que incluya las necesidades y restricciones de la fauna, y que sea considerada al determinar la operación de la represa.

Se destaca que muchos de los atributos calculados (tablas 3.4 y 3.5) se descartaron como candidatos a predictores a medida que se seleccionaban otros atributos, con los que tuvieran alta correlación. En este sentido, se recalca la elevada correlación entre la duración de la inundación (potamofase, mayor período de inundación continuada, en temporadas húmeda y año completo) con el atributo de profundidad máxima (coeficiente de correlación mayor a 0.61 en todos los casos). Esta correlación es inherente a la relación entre ambos atributos: una elevada profundidad implica una cantidad de días previos en que la profundidad se eleva, y una cantidad de días posteriores en que esta disminuye, no se da en un impulso repentino de corta duración. Esto se puede observar en la figura 4.9 y 4.10 de este informe y con mayor detalle en las figuras 4.15 a 4.17.

Por último, se destaca que en las ecuaciones generadas con 13 años de datos las tendencias son similares, siendo escogidos como los atributos más importantes los de duración de la inundación, la profundidad mínima, y las fechas de las profundidades máximas. También fueron seleccionadas las fechas de las inundaciones más largas y las primeras inundaciones del período, con correlación siempre positiva. La elección de estos atributos en estas ecuaciones radica en que, para el caso de los 13 años de datos, las correlaciones entre los atributos cambiaron (comparando con los 19 años de datos), siendo el coeficiente de correlación entre la fecha de la profundidad máxima y las fechas de las primera y más largas inundaciones menor a 0.6 (valor crítico para descartar atributos candidatos, ver apéndice B tabla 9).

4.6. Verificación de hipótesis de trabajo

La hipótesis de este trabajo señalaba lo siguiente:

“La abundancia y biomasa de juveniles del año de las 4 especies migratorias de larga distancia se pueden explicar por atributos del régimen hidrológico como magnitud, duración y fecha de las inundaciones en la zona”.

La discusión presentada permitió validar parcialmente la hipótesis de trabajo. El atributo que más explica la abundancia y biomasa de los juveniles del año de estos peces migratorios corresponde a la duración de las inundaciones ininterrumpidas de intensidad alta (sobre 540 o 610 cm, que se traducen en caudales superiores a 15.000 y 16.900 m³/s aproximadamente). La fecha de las inundaciones es un elemento relevante, cuyo estudio se debe complementar con la incidencia de otros factores, como la temperatura ambiental, que detona el inicio de procesos como la maduración gonadal, y el comienzo de las migraciones reproductivas en los adultos. A su vez, se agrega que la frecuencia (cada 2 años) de ocurrencia de las inundaciones que presentan las características mencionadas es un componente importante a tener en consideración.

4.7. Principales limitaciones

Durante la realización de este estudio, se presentaron una serie de limitantes que dificultaron el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos.

En el análisis de datos de peces, las cantidades de abundancia y biomasa se normalizaron por la cantidad de muestras en un año, teniendo en cuenta que las muestras utilizadas se tomaron durante 24 horas en un sitio de muestreo. El valor que generalmente se utiliza para contabilizar estas cantidades es la captura por unidad de esfuerzo (CPUE: cantidad o kg de peces/área de malla/24 horas). El uso de esta unidad hubiese permitido comparar de manera más adecuada las relaciones encontradas en este trabajo con las reportadas por otros autores que utilizaron CPUE en sus resultados.

Con respecto a la elección y definición de los atributos del año hidrológico, destaca que la alta correlación existente entre numerosos atributos impidió que muchos fuesen elegidos como predictores debido a la elección de alguno correlacionado en la primera iteración del método “*stepforward*”. Para estudios futuros, se sugiere la incorporación de variables que no estén altamente correlacionados, como podrían ser las temperaturas, disponibilidad de alimento, o variables fisicoquímicas del agua (concentración de nutrientes, de oxígeno disuelto, transparencia).

El planteamiento de las variables “fecha de primera inundación” y “fecha de inundación más larga” se podría abordar de forma distinta. El sumar a un año sin inundación los días del año posterior hasta que la inundación se produzca, genera series de datos con valores muy elevados en los años sin inundación. Estos “*peaks*” en años sin inundaciones provoca que las variables en esta categoría no se correlacionen con ninguno de los indicadores de peces, perdiendo la opción de integrar la fecha en las regresiones lineales múltiples. Para solucionar esto en estudios futuros, se sugiere realizar un tratamiento diferente a esta variable, asignando, por ejemplo, un valor de 366 en un año sin inundación. Esto significaría que, para ese año, la inundación ocurrió el último día, no afectando los procesos de ese período sino del siguiente.

El planteamiento de la variable “fecha de profundidad mínima” podría limitarse y ser considerado solo dentro de la temporada seca, para evitar distorsiones como las presentadas en este estudio, en que debido a años con profundidades mínimas ocurridas en Marzo y Abril, el rango de fechas se amplió y no se logró reflejar el significado de esta variable en la relación con los indicadores de peces.

Al trabajar con regresiones lineales, no se capturan efectos cuadráticos que podrían haber significado un mejor ajuste entre los indicadores de peces y algunas de los atributos seleccionados. Se sugiere incorporar modelos más sofisticados que incluyan los efectos cuadráticos, que probablemente se hubiesen ajustado más a los atributos de “fecha de profundidad máxima” y “duración de período seco más largo previo a la primera inundación del año”.

Por último, la cantidad de años disponibles para construir las regresiones fue bajo, sólo disponiendo de 19 años. Esto limitó la cantidad de predictores a escoger en las regresiones lineales múltiples a 3 (Tabachnick, B., & Fidell, L, 1989). Para estudios posteriores se sugiere esperar algunos años y construir nuevas regresiones considerando un grupo mayor de datos, que probablemente resultarán más confiables que las obtenidas en este estudio.

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

Para encontrar las características del régimen hidrológico que más favorecen el reclutamiento de juveniles del año de peces migratorios de larga distancia, este trabajo ha incluido la recopilación y análisis de datos de peces y de año hidrológico, así como la posterior búsqueda de relaciones entre ambos tipos de valores. Los principales hallazgos fueron:

- La duración de las inundaciones intensas (niveles fluviométricos superiores a 540 y 610 cm) e ininterrumpidas resultó ser de mayor importancia que la duración de inundaciones moderadas (niveles fluviométricos entre 450 y 540 cm) sobre el reclutamiento de juveniles del año de peces migratorios de larga distancia.
- La duración de las inundaciones con intensidades sobre 540 y 610 cm resultó ser la principal variable que explica el reclutamiento, mientras que otras variables, como la fecha de la profundidad máxima, o la duración del período seco más largo previo a la primera inundación, podrían ajustarse de manera no lineal al modelo desarrollado.
- La ocurrencia de inundaciones intensas y prolongadas parece no ser suficiente para el éxito del reclutamiento de juveniles del año de peces migratorios de larga distancia, debiendo suceder también otros eventos climáticos, que no pueden ser controlados por las represas aguas arriba de la zona de estudio. Casos interesantes de estudio fueron los años 2005, 2007, 2010, 2011 y 2016; puesto que en todos se superó el nivel de inundación de 610 cm, pero los resultados del reclutamiento de juveniles del año fueron heterogéneos. Todos estos años estuvieron influenciados por fenómenos de El Niño y/o La Niña, cuyos efectos sobre la zona de estudio y sobre las comunidades de peces resultaría interesante estudiar.
- Con respecto a la frecuencia de inundaciones intensas, se considera adecuado un período de retorno de 2 años, tomando en cuenta los rendimientos de los años 2010 y 2011, lo reportado por Fernandes *et al.* (2009) (durante el año sin inundación los peces adultos mejoran su condición nutricional y tienen mayor éxito en la migración reproductiva del año siguiente) y por Suzuki *et al.* (2009) al estudiar el período 1991-1993 y describir éxito en el reclutamiento en solo uno de los 3 años para los diferentes subsistemas estudiados.

Las principales recomendaciones para estudios futuros son:

- Inclusión de más años de datos, para así construir regresiones lineales múltiples con mejores ajustes.
- Incorporar otro tipo de variables en el análisis, como la temperatura ambiental, y diversos parámetros de calidad del agua.
- Profundizar estudios en el subsistema Paraná, ya que en este estudio no se encontraron variables del régimen hidrológico que explicaran la abundancia en ese sector. Incorporar el estudio de otras variables como caudales medios mensuales, o la tasa de cambio de ciertos eventos, así como también la incorporación de variables fisicoquímicas.

Bibliografía

Agostinho, A., Vazzoler, A., Gomes, L., & Okada, E. (1993). Estratificación espacial y complotamiento de *Prochilodus scrofa* en distintas fases del ciclo de vida, en la planicie de inundación del alto río Paraná y embalse de Itaipú, Paraná, Brasil. *Rev. Hydrobiol. Trop*, 26(1), 79-90.

Agostinho, A., Zalewski, M., & Gomes, L. (2001). The importance of floodplains for the dynamics of fish communities of the upper river Paraná. *Ecohydrology And Hydrobiology* , 1(2), 209-217.

Agostinho, A., Gomes, L., Suzuki, H., & Ferreira Júlio Jr, H. (2003). Migratory fishes of the upper Paraná River basin, Brazil. In *Migratory fishes of South America, Biology, Social Importance and Conservation Status* (pp. 13-98). Victoria, BC: Joachim Carolsfeld; Brian Harvey; Carmen Ross; Anton Baer.

Agostinho, A., Gomes, L., Verissimo, S., & Okada, E. (2004a). Flood regime, dam regulation and fish in the Upper Paraná River: effects on assemblage attributes, reproduction and recruitment. *Reviews In Fish Biology And Fisheries*, (14), 11–19.

Agostinho, A., Thomaz, S., & Gomes, L. (2004b). Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Paraná River: effects of hydrological regulation by dams. *Ecohydrology And Hydrobiology*, (3), 255-268.

Agostinho, A., Gomes, L., Pelicice, F., Souza-Filho, E., & Tomanik, E. (2008). Application of the ecohydrological concept for sustainable development of tropical floodplains: the case of the upper Paraná River basin. *Ecohydrology And Hydrobiology*, 8(2-4), 205-223.

Agostinho, A., Gomes, L., Bonecker, C., & Thomaz, S. (2013). Padrões de variação de longo prazo na planície de inundação do rio Alto Paraná. In *PELD–CNPq: Dez Anos do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração no Brasil: Achados, Lições e Perspectivas* (pp. 165-190). Recife: Marcelo Tabarelli, Carlos Frederico Duarte da Rocha, Helena Piccoli Romanowski, Odete Rocha e Luiz Drude de Lacerda.

Agostinho, A., Gomes, L., Santos, N., Ortega, J., & Pelicice, F. (2016). Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management. *Fisheries Research*, (173), 26-36.

Arenas-Ibarra, J., & Souza-Filho, E. (2007). Alteraciones en la hidrología de la planicie de inundación del Alto Río Paraná (1964-2006): Influencia De Las Represas. *Anais Do Viii Congresso De Ecologia Do Brasil, 23 A 28 De Setembro De 2007, Caxambu - Mg*.

Bunn, S., & Arthington, A. (2002). Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. *Basic Principles And Ecological Consequences Of Altered Flow Regimes For Aquatic Biodiversity*, 30(4), 492-507.

Casco, S., Neiff, M., & Neiff, J. (2005). Biodiversidad en ríos del litoral fluvial. Utilidad del software PULSO. *INSUGEO, Miscelánea*, 14, 419 - 434.

da S. Lourenço, L., R. da Costa, R., Rondon, P., & Mateus, L. (2017). Individual, spatial and inter-sex variation in somatic growth: a study of *Piaractus mesopotamicus* (Characiformes: Serrasalminidae), a long-distance freshwater Neotropical migratory fish. *E160097[1] Neotropical Ichthyology*, 15(2).

dos Santos, D., de Paiva Affonso, I., Message, H., Okada, E., Gomes, L., Bornatowsk, H., & Simoes Vitule, J. (2019). Societal perception, impacts and judgment values about invasive freshwater stingrays. *Biological Invasions*, (21), 3593–3606.

El Niño and La Niña Years and Intensities. (2020). Golden Gate Weather Services. *Ggweather.com*. Recuperado 1 Junio 2020, a partir de <https://ggweather.com/enso/oni.htm>

Feitoza, L., Okada, E., & Ambrósio, A. (2004). Idade e crescimento de *Pterodoras granulosus* (Valenciennes, 1833) (Siluriformes, Doradidae) no reservatório de Itaipu, Estado do Paraná, Brasil *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 26(1), 47-53.

Fernandes, R., Agostinho, A., Ferreira, E., Pavanelli, C., Suzuki, H., Lima, D., & Gomes, L. (2009). Effects of the hydrological regime on the ichthyofauna of riverine environments of the Upper Paraná River floodplain. *Brazilian Journal Of Biology*, 69(2), 669-680.

Ferreira, H., Silvério, K., Ota, R., Ferreira, L., de Mello, V., Nunes, V., Lazzarini, L., Kirchheim, P., Pereira, D. Jr., Nogueira, A., de Faveri, M., Agostinho, A. (2008) *Relatorio anual 2008 Área de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração.*, Capítulo 9: A Comunidade de Peixes, *Peld.uem.br*. Recuperado 10 Junio 2020, a partir de <http://www.peld.uem.br/Relat2008/pdf/Capitulo09.pdf>

FishBase. (2020). *Fishbase.se*. Recuperado 15 Junio 2020, a partir de <https://www.fishbase.se/search.php>

Holden, M., & Raitt, D. (1975). Parte 2 - Métodos para Investigar los Recursos y su Aplicación. In M. Holden, *Manual de ciencia pesquera*. Roma: FAO.

Jati, S., Bortolini, J., Moresco, G., Magro de Paula, A., Rodrigues, L., & Iatskiu, P. *et al.* (2017). Phytoplankton community in the last undammed stretch of the Paraná River: considerations on the distance from the dam. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 29(12).

Junk, W., Bayley, P., & Sparks, R. (1989). The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. En *Proceedings of the International Large River Symposium* (pp. 110-127).

Loponte, D., Acosta, A., & Musali, J. (2010). Allometric parameters of *Pterodoras granulosus* (Valenciennes 1833) and its application to fossil assemblages. *International Journal Of Osteoarchaeology*, 22(3), 352-360.

Marquez, A., Tourinho, J., Errico, E., & Pereira, A. (2017). Evaluating the presence of interspecific hybrids of the sorubims *Pseudoplatystoma corruscans* and *Pseudoplatystoma reticulatum* in the middle and inferior Paraná and Uruguay rivers using genetic markers. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst*, 1(5), 1-5.

Mateus, L., & Petrere Jr., M. (2004). Age of growth and yield per recruitment analysis of the Pintado *Pseudoplatystoma corruscans* (Agassiz, 1982) in the Cuiabá river basin, Pantanal Matogrossense, Brazil. *Braz. J. Biol*, 2(64), 257-264.

Oliveira, A., Suzuki, H., Gomes, L., & Agostinho, A. (2014). Interspecific variation in migratory fish recruitment in the Upper Paraná River: effects of the duration and timing of floods. *Environ Biol Fish*, (98), 1327–1337.

Oliveira, A., Baumgartner, M., Gomes, L., Dias, R., & Agostinho, A. (2018). Long-term effects of flow regulation by dams simplify fish functional diversity. *Freshwater Biology*, 63(3), 293-305.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2020). ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Recuperado 20 June 2020, a partir de <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>

Poff, N., Allan, J., Bain, M., Karr, J., Presteggaard, K., & Richter, B. *et al.* (1997). The Natural Flow Regime: A paradigm for river conservation and restoration. *American Institute Of Biological Sciences.*, (11), 769-784.

Piana, P., Cardoso, B., Dias, J., Gomes, L., Agostinho, A., & Miranda, L. (2017). Using long-term data to predict fish abundance: the case of *Prochilodus lineatus* (Characiformes, Prochilodontidae) in the intensely regulated upper Paraná River. *Neotropical Ichthyology*, 15(3).

Souza, E., Stevaux, J., Okawa, C., Arenas, J., de Andrade, I., Rigon, B., Puerta, L., Cremon, E. & do Couto, E., (2008). *Relatorio anual 2008 Área de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração.*, Capítulo 1: Geología e geomorfología, *Peld.uem.br*. Recuperado 10 Junio 2020, a partir de <http://www.peld.uem.br/Relat2008/pdf/Capitulo01.pdf>

Suzuki, H., Agostinho, A., Bailly, D., Gimenes, M., Júlio-Junior, H., & Gomes, L. (2009). Inter-annual variations in the abundance of young-of-the-year of migratory fishes in the Upper Paraná River floodplain: relations with hydrographic attributes. *Bra. J. Biol.*, 2(69), 649-660.

Sverlij, S., Espinach Ros, A., & Orti, G. (1993). Sinopsis de los datos biológicos y pesqueros del sabalo *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847). *FAO Sinopsis Sobre La Pesca*, 154, 64p.

Tabachnick, B., & Fidell, L. (1989). *Using multivariate statistics* (2nd ed., pp. 128-129). Cambridge.

Vazzoler, A., Agostinho, A., & Segatti Hahn, N. (1997). *A Planície de inundacao de Alto rio Paraná: Aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos* (p. 460). Maringá: Anna Emilia Amato de Moraes Vazzoler, Angelo Antonio Agostinho; Norma Segatti Hahn.

Verissimo, S. (1999). *Influência do regime hidrológico sobre a ictiocenose de três lagoas da planície aluvial do alto rio Paraná* (Ph. D.). Universidade Federal de São Carlos.

Wilks, D. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (3ra edición., pp. 215-300). Amsterdam: Academic Press.

Wagner, V., Simões Rocha, A., Luna Rondon, P., dos Santos Costa, F., & Rondon Suárez, Y. (2012). Parâmetros populacionais, período reprodutivo e crescimento de *prochilodus lineatus* (Characiformes, Prochilodontidae) na cabeceira do rio Miranda, Alto rio Paraguai. *Oecologia Australis*, 16(4), 891-90.

Apéndices

A. Resultados peces

Tabla A1: Número de muestras en subsistemas Paraná, Ivinheima, Baia y Total.

Muestras [número de muestras]				
Año	Paraná	Ivinheima	Baia	Total
2000	10	41	32	83
2001	15	40	37	92
2002	15	20	14	49
2003	4	9	4	17
2004	5	14	7	26
2005	20	20	12	52
2006	7	19	13	39
2007	24	25	24	73
2008	21	20	22	63
2009	15	23	20	58
2010	44	61	72	177
2011	32	62	63	157
2012	22	22	22	66
2013	20	23	26	69
2014	12	20	23	55
2015	7	21	14	42
2016	21	22	23	66
2017	10	12	11	33
2018	14	20	20	54

Tabla A2: Abundancia de peces en subsistemas Paraná, Ivinheima, Baia y Total.

Abundancia [número de peces]				
Año	Paraná	Ivinheima	Baia	Total
2000	2	7	29	38
2001	3	10	26	39
2002	1	9	11	21
2003	46	6	2	54
2004	2	0	1	3
2005	10	56	7	73
2006	1	10	7	18
2007	144	451	150	745
2008	27	10	15	52
2009	2	37	16	55
2010	80	262	118	460
2011	15	44	32	91
2012	4	5	10	19
2013	5	2	15	22
2014	0	6	9	15
2015	0	2	4	6
2016	23	167	50	240
2017	0	5	4	9
2018	0	7	3	10

Tabla A3: Biomasa de peces en subsistemas Paraná, Ivinheima, Baía y Total.

Biomasa [gramos de peces]				
Año	Paraná	Ivinheima	Baía	Total
2000	755.6	2246.29	16712.52	19714.41
2001	119.45	9282.98	18958.45	28360.88
2002	1119.7	586.4	12451.8	14157.9
2003	173.3	38.86	2418.1	2630.26
2004	87.83	0	24.92	112.75
2005	1212.7	4350.68	3651.63	9215.0
2006	62.1	5611.7	6966.6	12640.4
2007	12842.42	48706.34	31731.15	93279.91
2008	5799.29	2955.99	7655.05	16410.33
2009	577.8	4141.19	6253.1	10972.09
2010	12669.53	44887.96	35941.7	93499.19
2011	4045.68	16706.95	17516.45	38269.08
2012	2727.6	1842.61	5252.64	9822.85
2013	2992.4	1205.4	6769.6	10967.4
2014	0	1747.4	5108.32	6855.72
2015	0	1491.22	4404.8	5896.02
2016	1390.88	24020.49	11080.2	36491.57
2017	0	1255.57	2147.76	3403.33
2018	0	7739.07	1610.19	9349.26

Tabla A4: Abundancia de peces normalizada por cantidad de muestras en subsistemas Paraná, Ivinheima, Baía y Total.

Abundancia normalizada [número de peces por muestra]				
Año	Paraná	Ivinheima	Baía	Total
2000	0.2	0.17	0.91	0.46
2001	0.2	0.25	0.7	0.42
2002	0.07	0.45	0.79	0.43
2003	11.5	0.67	0.5	3.18
2004	0.4	0	0.14	0.12
2005	0.5	2.8	0.58	1.4
2006	0.14	0.53	0.54	0.46
2007	6	18.04	6.25	10.21
2008	1.29	0.5	0.68	0.83
2009	0.13	1.61	0.8	0.95
2010	1.82	4.3	1.64	2.6
2011	0.47	0.71	0.51	0.58
2012	0.18	0.23	0.45	0.29
2013	0.25	0.09	0.58	0.32
2014	0	0.3	0.39	0.27
2015	0	0.1	0.29	0.14
2016	1.1	7.59	2.17	3.64
2017	0	0.42	0.36	0.27
2018	0	0.35	0.15	0.19

Tabla A5: Biomasa de peces normalizada por cantidad de muestras en subsistemas Paraná, Ivinheima, Baía y total.

Biomasa normalizada [gramos de peces por muestra]				
Año	Paraná	Ivinheima	Baía	Total
2000	75.56	54.79	522.27	237.52
2001	7.96	232.07	512.39	308.27
2002	74.65	29.32	889.41	288.94
2003	43.33	4.32	604.53	154.72
2004	17.57	0	3.56	4.34
2005	60.64	217.53	304.3	177.21
2006	8.87	295.35	535.89	324.11
2007	535.1	1948.25	1322.13	1277.81
2008	276.16	147.8	347.96	260.48
2009	38.52	180.05	312.66	189.17
2010	287.94	735.87	499.19	528.24
2011	126.43	269.47	278.04	243.75
2012	123.98	83.76	238.76	148.83
2013	149.62	52.41	260.37	158.95
2014	0	87.37	222.1	124.65
2015	0	71.01	314.63	140.38
2016	66.23	1091.84	481.75	552.9
2017	0	104.63	195.25	103.13
2018	0	386.95	80.51	173.13

Tabla A6: Peso promedio de cada pez en subsistemas Paraná, Ivinheima, Baía y total

Peso promedio de cada pez [gramos por pez]				
Año	Paraná	Ivinheima	Baía	Total
2000	377.80	320.90	576.29	518.80
2001	39.82	928.30	729.17	727.20
2002	1119.70	65.16	1131.98	674.19
2003	3.77	6.48	1209.05	48.71
2004	43.92	-	24.92	37.58
2005	121.27	77.69	521.66	126.23
2006	62.10	561.17	995.23	702.24
2007	89.18	108.00	211.54	125.21
2008	214.79	295.60	510.34	315.58
2009	288.90	111.92	390.82	199.49
2010	158.37	171.33	304.59	203.26
2011	269.71	379.70	547.39	420.54
2012	681.90	368.52	525.26	516.99
2013	598.48	602.70	451.31	498.52
2014	-	291.23	567.59	457.05
2015	-	745.61	1101.20	982.67
2016	60.47	143.84	221.60	152.05
2017	-	251.11	536.94	378.15
2018	-	1105.58	536.73	934.93

Tabla A7: Detalle de especies capturadas en la zona de estudio.

	Paraná				Ivinheima				Baia				Total
	<i>P.corr</i>	<i>P.gran</i>	<i>P.lin</i>	<i>P.mes</i>	<i>P.corr</i>	<i>P.gran</i>	<i>P.lin</i>	<i>P.mes</i>	<i>P.corr</i>	<i>P.gran</i>	<i>P.lin</i>	<i>P.mes</i>	
2000	2	-	-	-	3	-	3	1	29	-	-	-	38
2001	-	-	3	-	8	-	2	-	24	-	1	1	39
2002	1	-	-	-	-	2	7	-	11	-	-	-	21
2003	-	-	46	-	-	-	-	-	2	-	-	-	48
2004	-	-	1	1	-	-	6	-	-	1	-	-	9
2005	1	-	9	-	23	5	28	-	6	-	1	-	73
2006	-	-	1	-	7	2	1	-	6	-	-	1	18
2007	16	-	125	3	126	7	306	12	74	27	48	1	745
2008	4	-	17	6	6	1	1	2	14	-	1	-	52
2009	1	-	1	-	3	3	29	2	15	-	1	-	55
2010	18	-	59	3	89	26	99	48	58	22	25	13	460
2011	8	-	6	1	35	4	3	2	32	-	-	-	91
2012	4	-	-	-	5	-	-	-	10	-	-	-	19
2013	4	-	1	-	2	-	-	-	9	1	5	-	22
2014	-	-	-	-	3	3	-	-	9	-	-	-	15
2015	-	-	-	-	1	-	1	-	4	-	-	-	6
2016	-	-	23	-	15	12	137	3	12	2	35	1	240
2017	-	-	-	-	-	-	2	3	2	1	1	-	9
2018	-	-	-	-	6	1	-	-	1	1	-	1	10
Total	59	0	292	14	332	66	625	73	318	55	118	18	
% subsistema	16.16	0.00	80.00	3.84	30.29	6.02	57.03	6.66	62.48	10.81	23.18	3.54	

P.corr: *Pseudoplatystoma corruscans*; *P.gran*: *Pterodoras granulatus*; *P.lin*: *Prochilodus lineatus*; *P.mes*: *Piaractus mesopotamicus*.

B. Resultados serie de profundidades

Tabla B1: atributos año hidrológico 19 años, año completo

	Hmax	Hmin	Duración pot1	Duración pot2	Duración pot3	D. ininterrumpido >450 [cm]	D. ininterrumpido >540 [cm]	D. ininterrumpido >610 [cm]	Fecha primera inundación	Fecha inundación más larga	Duración Linnofase	Duración periodo seco más largo	Seco más largo previo prim. Inund.	Fecha hmax	Fecha hmin
May 99-Abr 00	508	217	4	0	0	4	0	0	329	329	362	328	297	330	143
May 00-Abr 01	415	188	0	0	0	0	0	0	657	657	365	365	399	298	317
May 01-Abr 02	530	117	12	0	0	9	0	0	292	301	353	291	690	306	70
May 02-Abr 03	502	194	11	0	0	7	0	0	275	298	354	274	306	300	61
May 03-Abr 04	434	195	0	0	0	0	0	0	625	625	366	365	410	354	247
May 04-Abr 05	675	201	32	20	14	29	17	14	260	260	334	259	625	275	199
May 05-Abr 06	513	199	20	0	0	8	0	0	235	323	345	234	263	327	134
May 06-Abr 07	647	222	57	50	41	57	50	41	257	257	308	256	272	300	15
May 07-Abr 08	498	216	10	0	0	9	0	0	332	354	356	321	373	358	239
May 08-Abr 09	506	207	5	0	0	4	0	0	303	303	360	302	326	304	232
May 09-Abr 10	718	219	104	69	34	75	25	14	170	224	261	169	197	279	3
May 10-Abr 11	678	226	42	21	16	28	21	16	267	310	323	297	282	318	93
May 11-Abr 12	487	218	4	0	0	4	0	0	274	274	362	273	287	276	148
May 12-Abr 13	529	201	4	0	0	4	0	0	52	52	361	310	140	53	335
May 13-Abr 14	510	208	4	0	0	4	0	0	57	57	361	305	366	59	19
May 14-Abr 15	328	123	0	0	0	0	0	0	576	576	365	365	670	258	151
May 15-Abr 16	637	114	28	8	2	12	8	2	211	299	338	210	880	306	80
May 16-Abr 17	604	153	5	4	0	4	3	0	38	38	360	219	93	146	366
May 17-Abr 18	492	143	6	0	0	4	0	0	39	264	359	223	257	40	6

Tabla B2: Atributos año hidrológico 19 años de datos, temporada húmeda

	Duración pot1	Duración pot2	Duración pot3	D. ininterrumpido >450 [cm]	D. ininterrumpido >540 [cm]	D. ininterrumpido >610 [cm]	Fecha primera inundación	Fecha inundación más larga
May 99-Abr 00	4	0	0	4	0	0	176	176
May 00-Abr 01	0	0	0	0	0	0	504	504
May 01-Abr 02	12	0	0	9	0	0	139	148
May 02-Abr 03	11	0	0	7	0	0	122	145
May 03-Abr 04	0	0	0	0	0	0	472	472
May 04-Abr 05	31	20	14	29	17	14	107	107
May 05-Abr 06	20	0	0	8	0	0	82	170
May 06-Abr 07	57	50	40	57	50	41	104	104
May 07-Abr 08	10	0	0	1	0	0	179	201
May 08-Abr 09	5	0	0	4	0	0	150	150
May 09-Abr 10	104	68	34	75	25	14	17	71
May 10-Abr 11	42	21	16	28	21	16	114	157
May 11-Abr 12	4	0	0	4	0	0	121	121
May 12-Abr 13	0	0	0	0	0	0	1153	1241
May 13-Abr 14	0	0	0	0	0	0	788	876
May 14-Abr 15	0	0	0	0	0	0	423	511
May 15-Abr 16	28	8	2	12	8	2	58	146
May 16-Abr 17	0	0	0	0	0	0	476	476
May 17-Abr 18	4	0	0	4	0	0	111	111

Tabla B3: atributos año hidrológico 13 años, año completo

	Hmax	Hmin	Duración pot1	Duración pot2	Duración pot3	D. ininterrumpido >450 [cm]	D. ininterrumpido >540 [cm]	D. ininterrumpido >610 [cm]	Fecha primera inundación	Fecha inundación más larga	Duración Limnofase	Duración periodo seco más largo	Seco más largo previo prim. Inund.	Fecha hmáx	Fecha hmin
May 99-Abr 00	508	217	4	0	0	4	0	0	329	329	362	328	297	330	143
May 01-Abr 02	530	117	12	0	0	9	0	0	292	301	353	291	690	306	70
May 02-Abr 03	502	194	11	0	0	7	0	0	275	298	354	274	306	300	61
May 04-Abr 05	675	201	32	20	14	29	17	14	260	260	334	259	625	275	199
May 05-Abr 06	513	199	20	0	0	8	0	0	235	323	345	234	263	327	134
May 06-Abr 07	647	222	57	50	41	57	50	41	257	257	308	256	272	300	15
May 07-Abr 08	498	216	10	0	0	9	0	0	332	354	356	321	373	358	239
May 08-Abr 09	506	207	5	0	0	4	0	0	303	303	360	302	326	304	232
May 09-Abr 10	718	219	104	69	34	75	25	14	170	224	261	169	197	279	3
May 10-Abr 11	678	226	42	21	16	28	21	16	267	310	323	297	282	318	93
May 11-Abr 12	487	218	4	0	0	4	0	0	274	274	362	273	287	276	148
May 15-Abr 16	637	114	28	8	2	12	8	2	211	299	338	210	880	306	80
May 17-Abr 18	492	143	6	0	0	4	0	0	39	264	359	223	257	40	6

Tabla B4: atributos año hidrológico 13 años, temporada húmeda

	Duración pot1	Duración pot2	Duración pot3	D. ininterrumpido >450 [cm]	D. ininterrumpido >540 [cm]	D. ininterrumpido >610 [cm]	Fecha primera inundación	Fecha inundación más larga
May 99-Abr 00	4	0	0	4	0	0	176	176
May 01-Abr 02	12	0	0	9	0	0	139	148
May 02-Abr 03	11	0	0	7	0	0	122	145
May 04-Abr 05	31	20	14	29	17	14	107	107
May 05-Abr 06	20	0	0	8	0	0	82	170
May 06-Abr 07	57	50	40	57	50	41	104	104
May 07-Abr 08	10	0	0	1	0	0	179	201
May 08-Abr 09	5	0	0	4	0	0	150	150
May 09-Abr 10	104	68	34	75	25	14	17	71
May 10-Abr 11	42	21	16	28	21	16	114	157
May 11-Abr 12	4	0	0	4	0	0	121	121
May 15-Abr 16	28	8	2	12	8	2	58	146
May 17-Abr 18	4	0	0	4	0	0	111	111

Tabla B5: atributos año hidrológico 19 años, año completo normalizados

	Hmax	Hmin	Duración pot1	Duración pot2	Duración pot3	D. ininterrumpido >450 [cm]	D. ininterrumpido >540 [cm]	D. ininterrumpido >610 [cm]	Fecha primera inundación	Fecha inundación más larga	Duración Limnofase	Duración periodo seco más largo	Seco más largo previo prim. Inund.	Fecha hmax	Fecha hmin
May 99-Abr 00	0.707	0.960	0.038	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.501	0.501	0.989	0.899	0.338	0.922	0.391
May 00-Abr 01	0.578	0.830	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.997	1.000	0.453	0.832	0.866
May 01-Abr 02	0.739	0.518	0.115	0.000	0.000	0.120	0.000	0.000	0.444	0.458	0.964	0.797	0.784	0.855	0.191
May 02-Abr 03	0.699	0.857	0.106	0.000	0.000	0.093	0.000	0.000	0.419	0.454	0.967	0.751	0.348	0.838	0.167
May 03-Abr 04	0.605	0.863	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.951	0.951	1.000	1.000	0.466	0.989	0.675
May 04-Abr 05	0.941	0.889	0.308	0.290	0.341	0.387	0.340	0.341	0.396	0.396	0.913	0.710	0.710	0.768	0.544
May 05-Abr 06	0.714	0.881	0.192	0.000	0.000	0.107	0.000	0.000	0.358	0.492	0.943	0.641	0.299	0.913	0.366
May 06-Abr 07	0.901	0.982	0.548	0.725	1.000	0.760	1.000	1.000	0.391	0.391	0.842	0.701	0.309	0.838	0.041
May 07-Abr 08	0.693	0.956	0.096	0.000	0.000	0.120	0.000	0.000	0.505	0.539	0.973	0.879	0.424	1.000	0.653
May 08-Abr 09	0.705	0.916	0.048	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.461	0.461	0.984	0.827	0.370	0.849	0.634
May 09-Abr 10	1.000	0.969	1.000	1.000	0.829	1.000	0.500	0.341	0.259	0.341	0.713	0.463	0.224	0.779	0.008
May 10-Abr 11	0.944	1.000	0.404	0.304	0.390	0.373	0.420	0.390	0.406	0.472	0.883	0.814	0.320	0.888	0.254
May 11-Abr 12	0.679	0.963	0.038	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.417	0.417	0.989	0.748	0.326	0.771	0.404
May 12-Abr 13	0.737	0.888	0.038	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.079	0.079	0.986	0.849	0.159	0.148	0.915
May 13-Abr 14	0.711	0.920	0.038	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.087	0.087	0.986	0.836	0.416	0.165	0.052
May 14-Abr 15	0.457	0.544	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.928	0.928	0.997	1.000	0.761	0.721	0.413
May 15-Abr 16	0.888	0.504	0.250	0.116	0.049	0.160	0.160	0.049	0.373	0.455	0.929	0.575	1.000	0.855	0.219
May 16-Abr 17	0.842	0.676	0.048	0.058	0.000	0.053	0.060	0.000	0.058	0.058	0.984	0.600	0.106	0.408	1.000
May 17-Abr 18	0.686	0.633	0.058	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.059	0.402	0.981	0.611	0.292	0.112	0.016

Tabla B6: Atributos año hidrológico. 19 años de datos, temporada húmeda normalizados

	Duración pot1	Duración pot2	Duración pot3	D. ininterrumpido >450 [cm]	D. ininterrumpido >540 [cm]	D. ininterrumpido >610 [cm]	Fecha primera inundación	Fecha inundación más larga
May 99-Abr 00	0.038	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.148	0.142
May 00-Abr 01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.424	0.406
May 01-Abr 02	0.115	0.000	0.000	0.120	0.000	0.000	0.117	0.119
May 02-Abr 03	0.106	0.000	0.000	0.093	0.000	0.000	0.103	0.117
May 03-Abr 04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.397	0.380
May 04-Abr 05	0.298	0.294	0.350	0.387	0.340	0.341	0.090	0.086
May 05-Abr 06	0.192	0.000	0.000	0.107	0.000	0.000	0.069	0.137
May 06-Abr 07	0.548	0.735	1.000	0.760	1.000	1.000	0.088	0.084
May 07-Abr 08	0.096	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.151	0.162
May 08-Abr 09	0.048	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.126	0.121
May 09-Abr 10	1.000	1.000	0.850	1.000	0.500	0.341	0.014	0.057
May 10-Abr 11	0.404	0.309	0.400	0.373	0.420	0.390	0.096	0.126
May 11-Abr 12	0.038	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.102	0.097
May 12-Abr 13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000
May 13-Abr 14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.693	0.706
May 14-Abr 15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.386	0.412
May 15-Abr 16	0.250	0.118	0.050	0.160	0.160	0.049	0.077	0.118
May 16-Abr 17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.401	0.383
May 17-Abr 18	0.038	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.093	0.089

Tabla B7: atributos año hidrológico 13 años, año completo normalizados

	Hmax	Hmin	Duración pot1	Duración pot2	Duración pot3	D. ininterrumpido >450 [cm]	D. ininterrumpido >540 [cm]	D. ininterrumpido >610 [cm]	Fecha primera inundación	Fecha inundación más larga	Duración Limnofase	Duración periodo seco más largo	Seco más largo previo prim. Inund.	Fecha hmax	Fecha hmin
May 99-Abr 00	0.707	0.960	0.038	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.991	0.929	1.000	1.000	0.338	0.922	0.598
May 01-Abr 02	0.739	0.518	0.115	0.000	0.000	0.120	0.000	0.000	0.880	0.850	0.975	0.887	0.784	0.855	0.293
May 02-Abr 03	0.699	0.857	0.106	0.000	0.000	0.093	0.000	0.000	0.828	0.842	0.978	0.835	0.348	0.838	0.255
May 04-Abr 05	0.941	0.889	0.308	0.290	0.341	0.387	0.340	0.341	0.783	0.734	0.923	0.790	0.710	0.768	0.833
May 05-Abr 06	0.714	0.881	0.192	0.000	0.000	0.107	0.000	0.000	0.708	0.912	0.953	0.713	0.299	0.913	0.561
May 06-Abr 07	0.901	0.982	0.548	0.725	1.000	0.760	1.000	1.000	0.774	0.726	0.851	0.780	0.309	0.838	0.063
May 07-Abr 08	0.693	0.956	0.096	0.000	0.000	0.120	0.000	0.000	1.000	1.000	0.983	0.979	0.424	1.000	1.000
May 08-Abr 09	0.705	0.916	0.048	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.913	0.856	0.994	0.921	0.370	0.849	0.971
May 09-Abr 10	1.000	0.969	1.000	1.000	0.829	1.000	0.500	0.341	0.512	0.633	0.721	0.515	0.224	0.779	0.013
May 10-Abr 11	0.944	1.000	0.404	0.304	0.390	0.373	0.420	0.390	0.804	0.876	0.892	0.905	0.320	0.888	0.389
May 11-Abr 12	0.679	0.963	0.038	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.825	0.774	1.000	0.832	0.326	0.771	0.619
May 15-Abr 16	0.888	0.504	0.250	0.116	0.049	0.160	0.160	0.049	0.738	0.845	0.939	0.640	1.000	0.855	0.335
May 17-Abr 18	0.686	0.633	0.058	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.117	0.746	0.992	0.680	0.292	0.112	0.025

Tabla B8: atributos año hidrológico 13 años, temporada húmeda normalizados

	Duración pot1	Duración pot2	Duración pot3	D. ininterrumpido >450 [cm]	D. ininterrumpido >540 [cm]	D. ininterrumpido >610 [cm]	Fecha primera inundación	Fecha inundación más larga
May 99-Abr 00	0.038	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.983	0.876
May 01-Abr 02	0.115	0.000	0.000	0.120	0.000	0.000	0.777	0.736
May 02-Abr 03	0.106	0.000	0.000	0.093	0.000	0.000	0.682	0.721
May 04-Abr 05	0.298	0.294	0.350	0.387	0.340	0.341	0.598	0.532
May 05-Abr 06	0.192	0.000	0.000	0.107	0.000	0.000	0.458	0.846
May 06-Abr 07	0.548	0.735	1.000	0.760	1.000	1.000	0.581	0.517
May 07-Abr 08	0.096	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	1.000	1.000
May 08-Abr 09	0.048	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.838	0.746
May 09-Abr 10	1.000	1.000	0.850	1.000	0.500	0.341	0.095	0.353
May 10-Abr 11	0.404	0.309	0.400	0.373	0.420	0.390	0.637	0.781
May 11-Abr 12	0.038	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.676	0.602
May 15-Abr 16	0.250	0.118	0.050	0.160	0.160	0.049	0.514	0.726
May 17-Abr 18	0.038	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.620	0.552

Tabla B9: matrices de correlación para atributos calculados con 19 y 13 datos, respectivamente.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1 Hmax	1.00																							
2 Hmin	0.25	1.00																						
3 Duración	0.78	0.29	1.00																					
4 Duración	0.72	0.33	0.96	1.00																				
5 Duración	0.69	0.38	0.89	0.96	1.00																			
6 D. ininter	0.76	0.35	0.97	0.99	0.96	1.00																		
7 D. ininter	0.69	0.32	0.79	0.87	0.96	0.87	1.00																	
8 D. ininter	0.61	0.36	0.70	0.80	0.93	0.81	0.99	1.00																
9 Fecha pri	-0.55	-0.02	-0.22	-0.16	-0.12	-0.21	-0.12	-0.08	1.00															
10 Fecha inu	-0.55	-0.13	-0.20	-0.17	-0.14	-0.21	-0.15	-0.12	0.95	1.00														
11 Duración	-0.77	-0.28	-1.00	-0.96	-0.89	-0.97	-0.79	-0.70	0.23	0.20	1.00													
12 Duración	-0.72	0.09	-0.63	-0.53	-0.42	-0.55	-0.38	-0.28	0.71	0.59	0.63	1.00												
13 Duración	-0.11	-0.61	-0.10	-0.17	-0.16	-0.14	-0.09	-0.10	0.38	0.40	0.11	0.16	1.00											
14 Fecha hm	0.04	0.18	0.20	0.15	0.17	0.18	0.18	0.18	0.65	0.60	-0.20	0.19	0.33	1.00										
15 Fecha hm	-0.29	0.03	-0.49	-0.43	-0.43	-0.47	-0.40	-0.37	0.26	0.13	0.50	0.42	-0.18	0.00	1.00									
16 Duración	0.76	0.29	1.00	0.96	0.89	0.97	0.78	0.70	-0.18	-0.15	-1.00	-0.61	-0.07	0.25	-0.50	1.00								
17 Duración	0.71	0.34	0.96	1.00	0.96	0.99	0.87	0.81	-0.15	-0.15	-0.96	-0.51	-0.15	0.16	-0.45	0.96	1.00							
18 Duración	0.69	0.38	0.89	0.96	1.00	0.96	0.96	0.93	-0.12	-0.14	-0.89	-0.43	-0.16	0.17	-0.43	0.89	0.97	1.00						
19 D. ininter	0.74	0.33	0.97	0.99	0.96	0.99	0.88	0.81	-0.17	-0.16	-0.97	-0.55	-0.11	0.21	-0.50	0.97	0.99	0.96	1.00					
20 D. ininter	0.68	0.33	0.79	0.87	0.97	0.88	1.00	0.99	-0.11	-0.13	-0.79	-0.37	-0.07	0.19	-0.42	0.79	0.88	0.96	0.88	1.00				
21 D. ininter	0.61	0.36	0.70	0.80	0.93	0.81	0.99	1.00	-0.08	-0.12	-0.70	-0.28	-0.10	0.18	-0.37	0.70	0.81	0.93	0.81	0.99	1.00			
22 Fecha pri	-0.35	0.01	-0.44	-0.34	-0.33	-0.40	-0.33	-0.30	-0.08	-0.20	0.43	0.45	-0.23	-0.61	0.51	-0.47	-0.35	-0.34	-0.44	-0.34	-0.30	1.00		
23 Fecha inu	-0.33	-0.01	-0.40	-0.33	-0.33	-0.38	-0.32	-0.30	-0.10	-0.21	0.40	0.42	-0.20	-0.61	0.46	-0.44	-0.33	-0.33	-0.42	-0.33	-0.30	0.99	1.00	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1 Hmax	1.00																							
2 Hmin	0.13	1.00																						
3 Duración	0.86	0.26	1.00																					
4 Duración	0.82	0.34	0.97	1.00																				
5 Duración	0.79	0.40	0.88	0.96	1.00																			
6 D. ininte	0.83	0.35	0.97	1.00	0.96	1.00																		
7 D. ininte	0.77	0.34	0.76	0.86	0.96	0.86	1.00																	
8 D. ininte	0.69	0.37	0.66	0.78	0.92	0.79	0.99	1.00																
9 Fecha pr	-0.17	0.38	-0.27	-0.23	-0.16	-0.20	-0.10	-0.04	1.00															
10 Fecha in	-0.55	0.00	-0.64	-0.71	-0.65	-0.68	-0.55	-0.50	0.58	1.00														
11 Duración	-0.85	-0.26	-1.00	-0.97	-0.88	-0.97	-0.76	-0.66	0.27	0.64	1.00													
12 Duración	-0.49	0.27	-0.64	-0.56	-0.42	-0.53	-0.31	-0.20	0.76	0.71	0.64	1.00												
13 Duración	0.18	-0.73	-0.16	-0.23	-0.25	-0.21	-0.13	-0.16	0.11	0.11	0.17	-0.05	1.00											
14 Fecha hm	0.13	0.36	0.09	0.04	0.06	0.07	0.08	0.08	0.87	0.49	-0.08	0.41	0.16	1.00										
15 Fecha hm	-0.33	0.30	-0.50	-0.50	-0.48	-0.48	-0.43	-0.38	0.65	0.59	0.51	0.62	0.13	0.46	1.00									
16 Duración	0.85	0.27	1.00	0.97	0.88	0.97	0.76	0.66	-0.25	-0.63	-1.00	-0.63	-0.16	0.10	-0.50	1.00								
17 Duración	0.83	0.34	0.97	1.00	0.96	1.00	0.86	0.78	-0.23	-0.71	-0.97	-0.55	-0.23	0.04	-0.50	0.97	1.00							
18 Duración	0.80	0.40	0.89	0.96	1.00	0.96	0.96	0.92	-0.16	-0.66	-0.89	-0.42	-0.25	0.05	-0.47	0.88	0.96	1.00						
19 D. ininte	0.84	0.32	0.97	0.99	0.96	1.00	0.86	0.79	-0.23	-0.72	-0.97	-0.56	-0.21	0.05	-0.52	0.97	1.00	0.96	1.00					
20 D. ininte	0.77	0.34	0.76	0.86	0.96	0.86	1.00	0.99	-0.10	-0.55	-0.76	-0.31	-0.13	0.08	-0.43	0.76	0.86	0.96	0.86	1.00				
21 D. ininte	0.69	0.37	0.66	0.78	0.92	0.79	0.99	1.00	-0.04	-0.50	-0.66	-0.20	-0.16	0.08	-0.38	0.66	0.78	0.92	0.79	0.99	1.00			
22 Fecha pr	-0.66	0.15	-0.75	-0.65	-0.51	-0.63	-0.43	-0.30	0.59	0.68	0.75	0.95	-0.07	0.18	0.59	-0.75	-0.65	-0.52	-0.66	-0.43	-0.30	1.00		
23 Fecha in	-0.55	0.00	-0.64	-0.71	-0.65	-0.68	-0.55	-0.50	0.58	1.00	0.64	0.71	0.11	0.49	0.59	-0.63	-0.71	-0.66	-0.72	-0.55	-0.50	0.68	1.00	

C. Fenómeno de El Niño: fechas históricas

Referencia: *El Niño and La Niña Years and Intensities*. (2020). Golden Gate Weather Services. *Ggweather.com*. Recuperado 1 Junio 2020, a partir de <https://ggweather.com/enso/oni.htm>

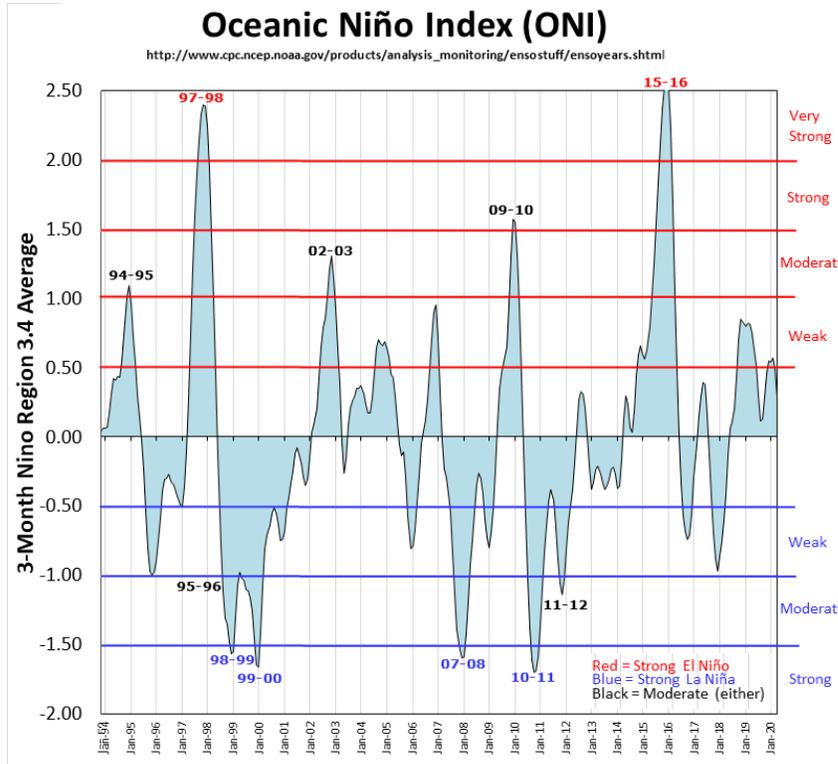


Figura C1: Fenómeno de El Niño y La Niña de 1994 en adelante

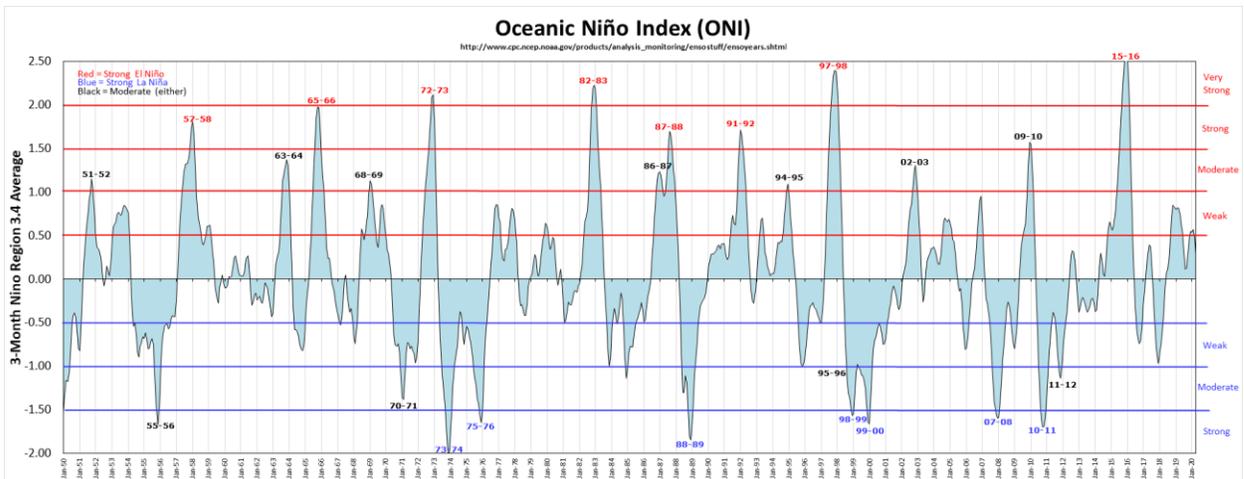


Figura C2: Fenómeno de El Niño y La Niña de 1950 en adelante

D. Comportamiento regresiones versus datos observados

Set de 19 datos

- Abundancia Paraná:

Tabla D.1: elección de ecuación N1 Paraná Abundancia, 19 años de datos

Faltando dato de año	Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
2000	128.1803	2.5974	0.0590	2.0660	7.9211
2001	128.1365	2.5969	0.0523	1.9376	7.9778
2020	128.4371	2.6000	0.0752	2.3823	7.7673
2003	136.3027	2.6784	0.7765	60.0769	0.4467
2004	128.1204	2.5968	0.0532	1.9558	7.9927
2005	128.4307	2.5999	0.0748	2.3735	7.8204
2006	128.2008	2.5976	0.0606	2.0972	7.9001
2007	130.3404	2.6192	0.0041	1.0706	7.0746
2008	128.1610	2.5972	0.0614	2.1117	7.9686
2009	128.1432	2.5970	0.0520	1.9318	7.9717
2010	141.9739	2.7336	0.0716	2.3113	7.8648
2011	128.6376	2.6020	0.0813	2.5034	7.7627
2012	128.1768	2.5973	0.0583	2.0528	7.9246
2013	128.1319	2.5969	0.0525	1.9420	7.9820
2014	129.0265	2.6059	0.0933	2.7487	7.6062
2015	128.1988	2.5976	0.0583	2.0516	7.8999
2016	128.1542	2.5971	0.0613	2.1109	7.9670
2017	128.1584	2.5971	0.0514	1.9207	7.9576
2018	125.6752	2.5719	0.1003	1.9479	7.5470

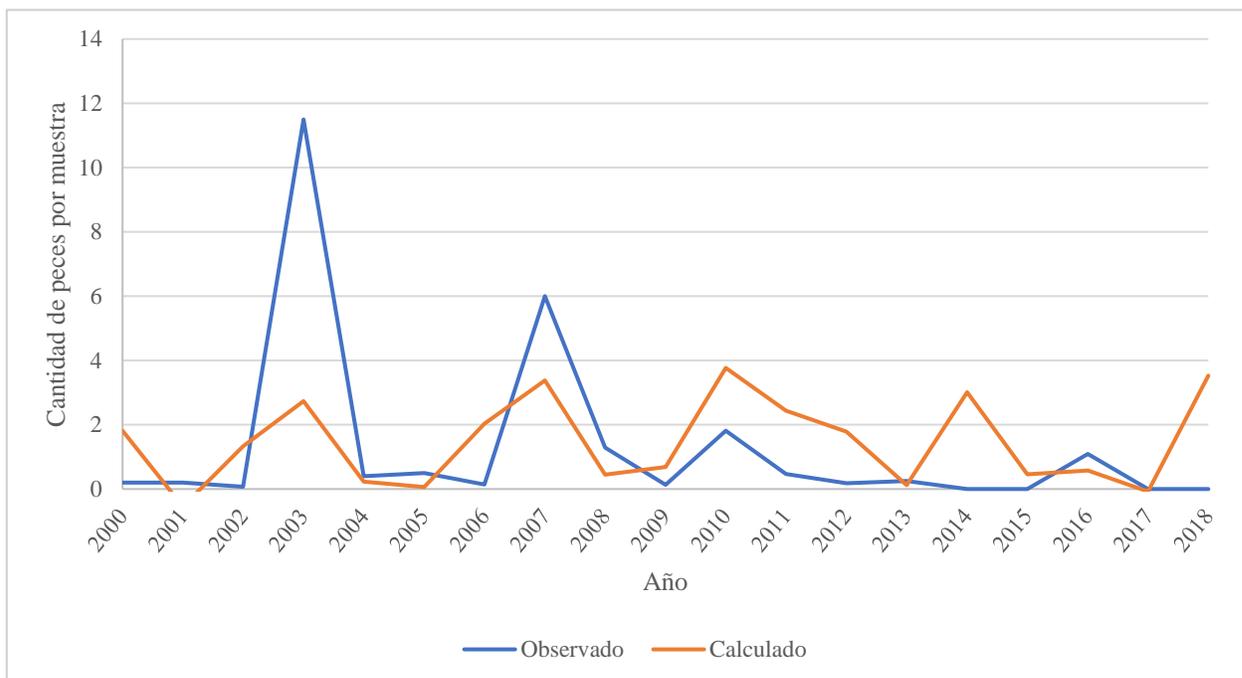


Figura D.1: Abundancia Paraná calculada con ecuación N1 vs observada

- Biomasa Paraná:

Tabla D.2: elección de ecuación N4 Paraná Biomasa, 19 años de datos

Faltando dato de año	Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
2000	233727.0262	110.9118	0.6386	16.0226	7084.2675
2001	106425.9237	74.8423	0.6364	15.8776	6951.6523
2020	108614.8796	75.6080	0.6625	17.6839	6616.0136
2003	106293.3905	74.7956	0.6361	15.8606	7074.9181
2004	106410.5288	74.8369	0.6370	15.9182	6977.2046
2005	118972.3848	79.1309	0.6818	37.4291	6219.2405
2006	106517.7924	74.8746	0.6392	16.0568	6902.5053
2007	159871.9403	91.7296	0.4096	6.8972	4643.3167
2008	113129.7629	77.1635	0.7991	34.8005	3557.7710
2009	106360.4895	74.8193	0.6375	15.9511	7034.8983
2010	121672.9248	80.0240	0.5992	26.4146	6989.3632
2011	108830.3459	75.6830	0.6884	19.7769	6106.4920
2012	117696.2705	78.7054	0.6465	32.0939	6929.4566
2013	109977.3165	76.0807	0.6812	13.1103	6211.2611
2014	106790.9153	74.9705	0.6442	16.3878	6769.5309
2015	106294.2861	74.7960	0.6277	15.3331	7082.2302
2016	106298.7178	74.7975	0.6381	15.9879	7082.7010
2017	110785.3657	76.3597	0.6426	16.2852	6798.7545
2018	109580.7717	75.9435	0.6311	15.5392	7018.8768

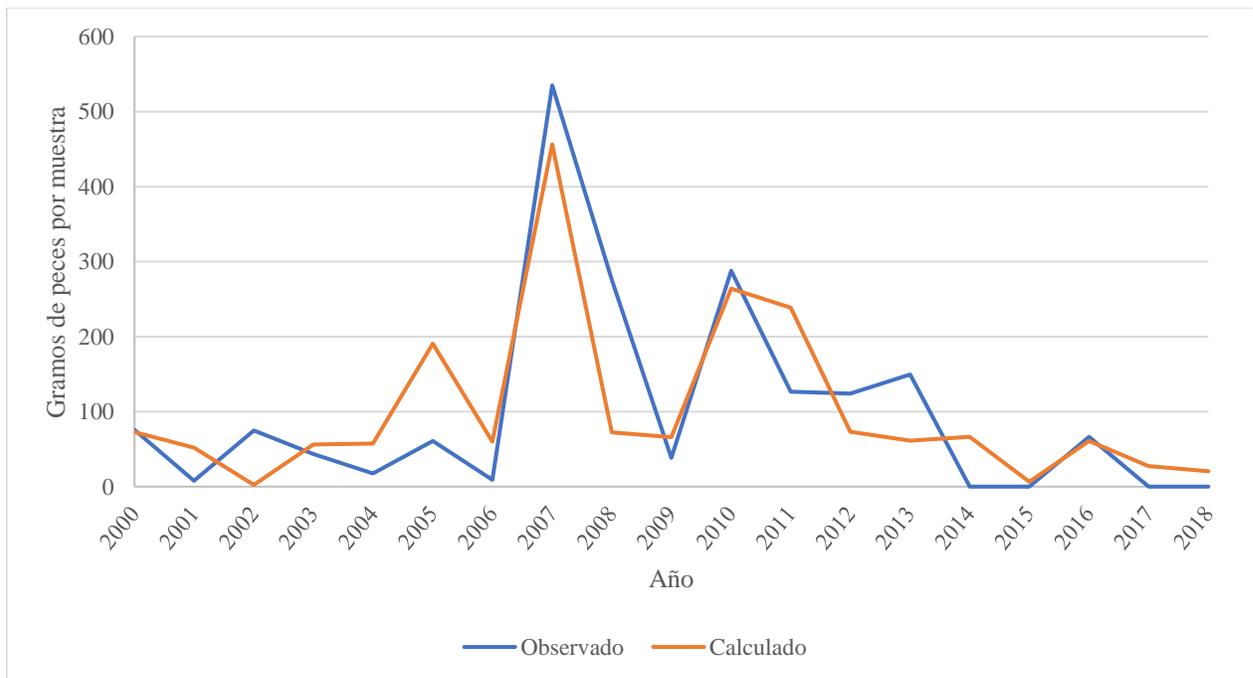


Figura D.2: Biomasa Paraná calculada con ecuación N4 vs observada

- Abundancia Ivinheima:

Tabla D.3: elección de ecuación N13 Ivinheima Abundancia, 19 años de datos

Faltando dato de año	Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
2000	76.9941	2.0130	0.7357	24.6646	5.1300
2001	71.8761	1.9450	0.7535	26.9779	4.7903
2020	72.7564	1.9569	0.7630	28.3709	4.6143
2003	71.9162	1.9455	0.7563	27.3737	4.7561
2004	71.8751	1.9450	0.7526	26.8642	4.7913
2005	79.6513	2.0475	0.7791	30.9720	4.3302
2006	71.9200	1.9456	0.7559	27.3242	4.7566
2007	276.2560	3.8131	0.6140	14.5224	1.4557
2008	72.0569	1.9474	0.7587	27.7222	4.7016
2009	72.3266	1.9511	0.7704	29.5283	4.5040
2010	73.6229	1.9685	0.7811	31.3361	4.2290
2011	76.6462	2.0085	0.8484	48.5678	2.9593
2012	71.5792	1.9410	0.7402	17.1418	5.0474
2013	71.8833	1.9451	0.7532	26.9464	4.7852
2014	71.9318	1.9457	0.7554	27.2443	4.7563
2015	72.7984	1.9574	0.7644	28.5840	4.5685
2016	92.7474	2.2094	0.8376	88.6898	2.8794
2017	71.9146	1.9455	0.7551	27.2015	4.7681
2018	72.0051	1.9467	0.7566	27.4288	4.7337

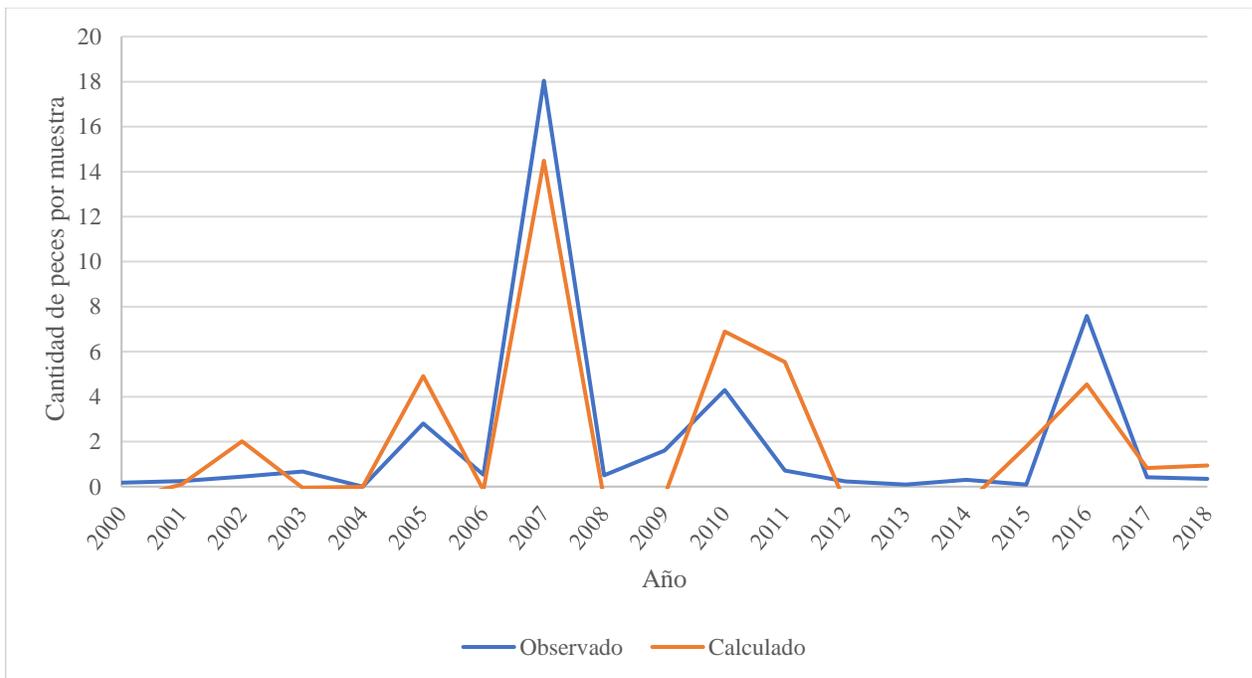


Figura D.3: Abundancia Ivinheima calculada con ecuación N13 vs observada

- Biomasa Ivinheima:

Tabla D.4: elección de ecuación N18 Ivinheima Biomasa, 19 años de datos

Faltando dato de año	Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
2000	974855.3056	226.5131	0.7295	23.9290	64744.5560
2001	938723.4309	222.2757	0.7422	17.3175	62682.5009
2020	1016566.3121	231.3082	0.7632	28.3975	56480.3737
2003	974887.6663	226.5168	0.7283	23.7889	64547.7075
2004	974897.3207	226.5180	0.7281	23.7662	64548.9229
2005	946978.9252	223.2510	0.7836	21.5240	52579.7907
2006	979502.2895	227.0523	0.7495	26.4307	61021.2090
2007	2246948.1611	343.8901	0.5155	7.0297	37821.1872
2008	977536.1313	226.8243	0.7378	24.9199	63414.1064
2009	976834.2801	226.7429	0.7385	25.0010	63414.4162
2010	957819.6374	224.5252	0.7322	16.4914	62305.6530
2011	1008202.4280	230.3547	0.7865	32.3136	51982.0316
2012	975561.9392	226.5952	0.7319	24.2058	64416.5458
2013	974406.9305	226.4610	0.7286	23.8150	64959.1309
2014	974773.2577	226.5035	0.7307	24.0647	64732.3506
2015	995923.4722	228.9476	0.7509	26.6211	59762.9086
2016	1627969.0791	292.7159	0.8307	28.8081	34902.6421
2017	936995.0717	222.0710	0.7364	16.8290	63493.6334
2018	977607.8598	226.8326	0.7388	25.0470	63538.9698

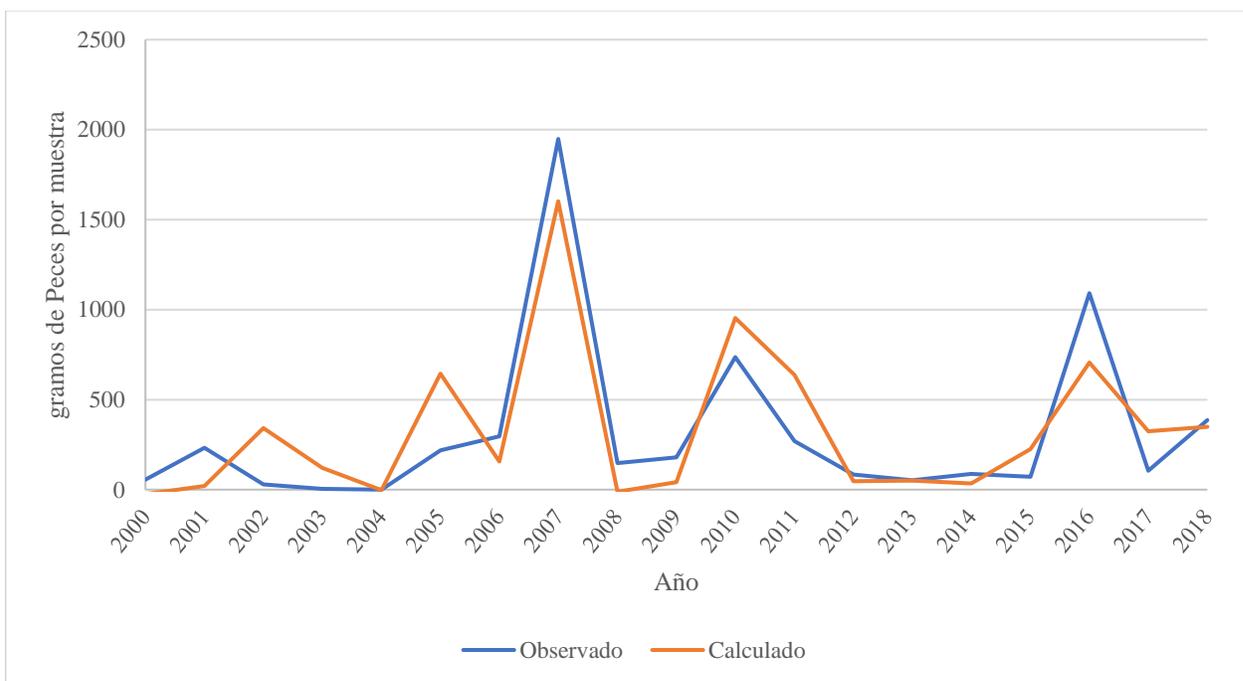


Figura D.4: Biomasa Ivinheima calculada con ecuación N18 vs observada

- Abundancia Baia:

Tabla D.5: elección de ecuación N15 Abundancia Baia, 19 años de datos

Faltando dato de año	Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
2000	8.9672	0.6870	0.7177	22.6125	0.5597
2001	8.9040	0.6846	0.7031	21.1253	0.5876
2020	8.9002	0.6844	0.7008	20.9070	0.5928
2003	8.8992	0.6844	0.6993	20.7657	0.5923
2004	8.9027	0.6845	0.6964	20.4935	0.5893
2005	10.1645	0.7314	0.7948	33.9328	0.4049
2006	8.9012	0.6845	0.7004	20.8711	0.5907
2007	28.9759	1.2349	0.4428	5.5024	0.1406
2008	8.9266	0.6854	0.7073	21.5391	0.5790
2009	8.9261	0.6854	0.7098	21.7872	0.5751
2010	10.0710	0.7280	0.7195	44.6152	0.5484
2011	10.1920	0.7324	0.7998	68.9347	0.3943
2012	8.9056	0.6846	0.7002	20.8511	0.5896
2013	8.9033	0.6845	0.7015	20.9715	0.5892
2014	8.8991	0.6844	0.6980	20.6500	0.5926
2015	8.9988	0.6882	0.7088	21.6871	0.5691
2016	9.8657	0.7206	0.7567	53.8625	0.4607
2017	8.9073	0.6847	0.7002	20.8526	0.5877
2018	8.9492	0.6863	0.7062	21.4296	0.5704

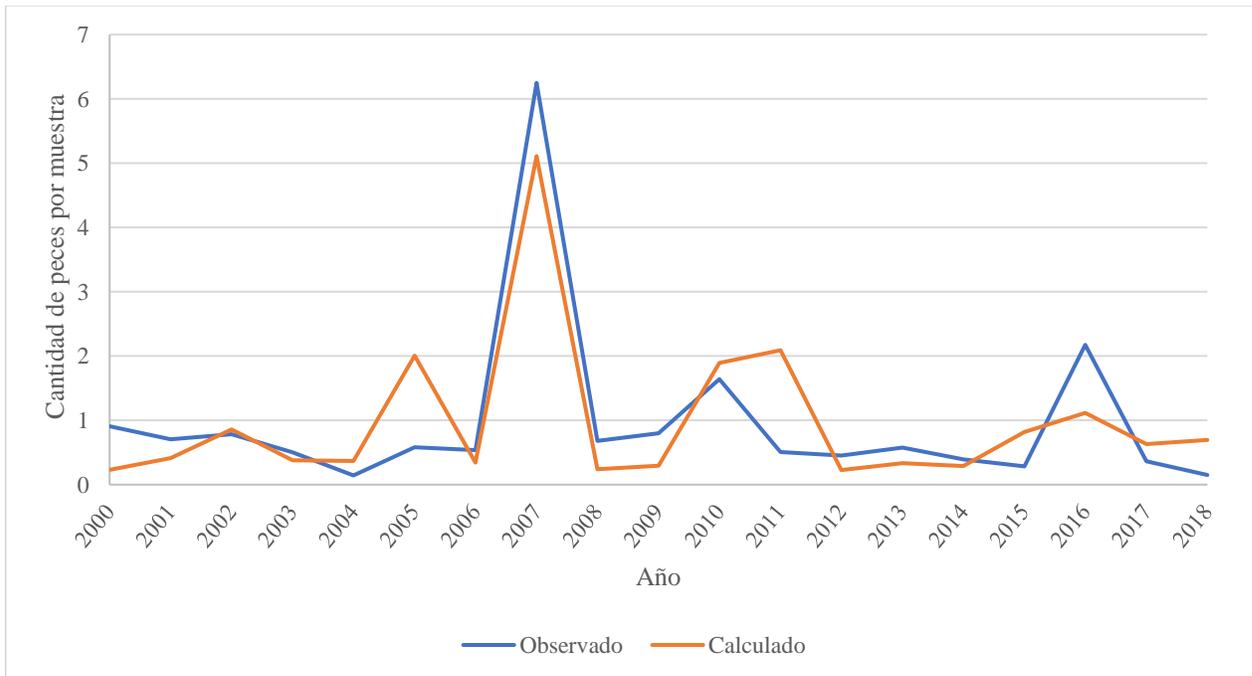


Figura D.5: Abundancia Baia calculada con ecuación N15 vs observada

- Biomasa Baia:

Tabla D.6: elección de ecuación N2 Biomasa Baia, 19 años de datos

Faltando dato de año	Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
2000	796640.2527	204.7643	0.4336	5.3375	53209.9511
2001	791083.2794	204.0489	0.4191	5.0878	54643.7603
2020	912600.9545	219.1612	0.5024	9.5820	40194.3320
2003	795279.9505	204.5894	0.4439	5.5227	51411.9176
2004	814818.5415	207.0874	0.4788	6.2055	43783.9692
2005	969415.9137	225.8803	0.4523	8.0205	51389.9115
2006	792984.0557	204.2939	0.4240	5.1711	54000.8360
2007	1314739.4406	263.0529	0.1735	2.1892	36179.4241
2008	864860.7420	213.3518	0.4025	4.8177	56358.5698
2009	864977.7253	213.3662	0.4003	4.7818	56344.6882
2010	1432270.4411	274.5590	0.3960	4.7159	56897.2368
2011	888774.4414	216.2813	0.4933	6.5169	47337.5761
2012	865105.9125	213.3820	0.3932	4.6722	56217.9754
2013	884713.0650	215.7866	0.4145	5.0112	54512.5457
2014	880049.4737	215.2171	0.4018	4.8068	55188.5339
2015	885776.9293	215.9163	0.4230	5.1538	54224.8234
2016	879692.2640	215.1734	0.4105	4.9455	55632.0891
2017	867581.1297	213.6871	0.3962	4.7187	55286.6462
2018	949178.3329	223.5101	0.4192	5.0897	50873.3512

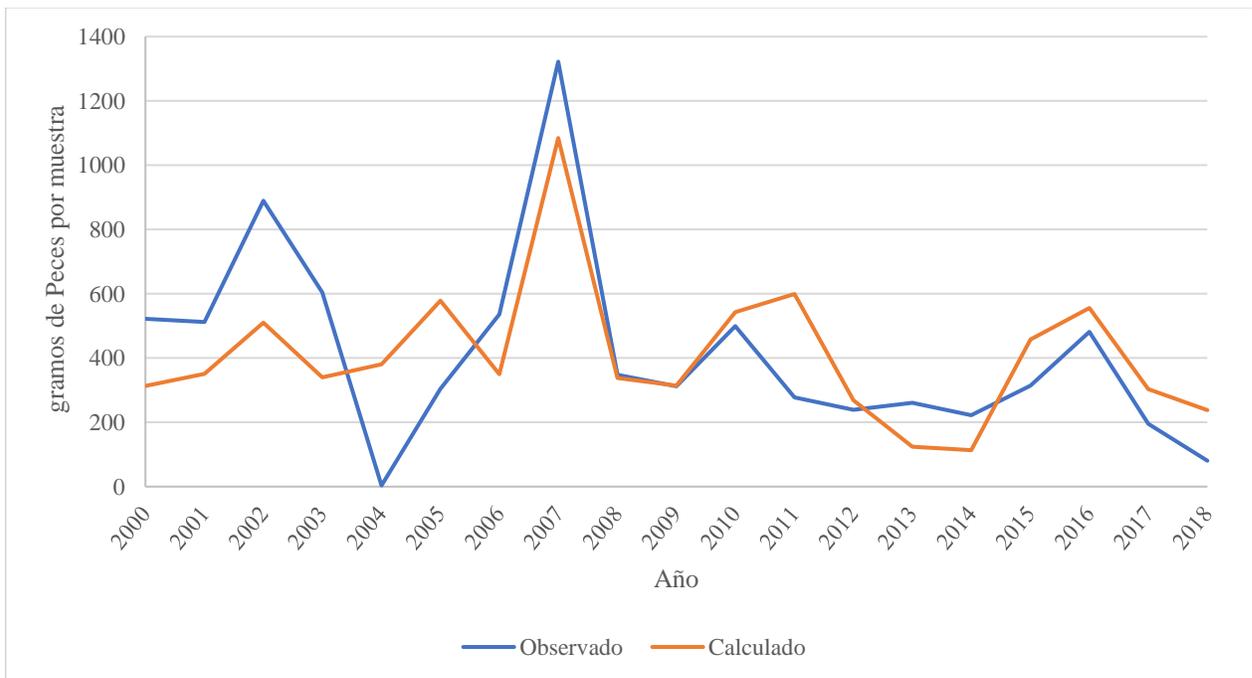


Figura D.6: Biomasa Baia calculada con ecuación N2 vs observada

- Abundancia Total:

Tabla D.7: elección de ecuación N15 Abundancia Total, 19 años de datos

Faltando dato de año	Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
2000	29.1294	1.2382	0.6734	18.5248	1.9348
2001	29.1165	1.2379	0.6721	18.4242	1.9409
2020	29.3800	1.2435	0.6810	19.1442	1.8887
2003	30.5362	1.2677	0.7549	27.1826	1.4179
2004	29.1228	1.2381	0.6706	18.3059	1.9355
2005	31.6018	1.2897	0.7273	23.6720	1.6306
2006	29.1174	1.2379	0.6725	18.4531	1.9403
2007	84.0284	2.1030	0.3254	5.0993	0.7917
2008	31.4824	1.2872	0.6714	35.7376	1.9579
2009	31.4903	1.2874	0.6730	35.9944	1.9508
2010	32.0601	1.2990	0.6982	40.3259	1.7782
2011	32.8878	1.3156	0.7773	60.3450	1.3221
2012	29.1188	1.2380	0.6713	18.3604	1.9399
2013	29.1163	1.2379	0.6713	18.3633	1.9411
2014	29.1163	1.2379	0.6710	18.3352	1.9411
2015	29.4662	1.2453	0.6842	19.4118	1.8573
2016	31.9081	1.2959	0.7399	49.3544	1.4752
2017	29.1550	1.2387	0.6749	18.6448	1.9181
2018	29.2114	1.2399	0.6775	18.8546	1.8987

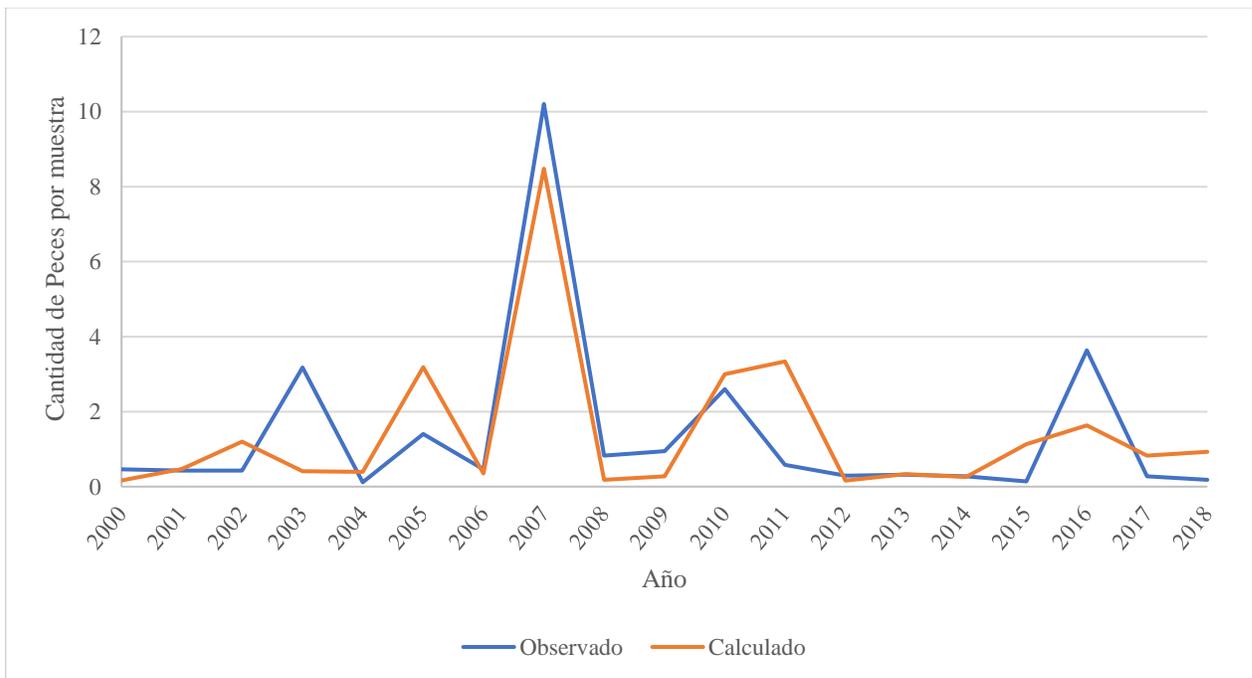


Figura D.7: Abundancia Total calculada con ecuación N15 vs observada

- Biomasa Total:

Tabla D.8: elección de ecuación N5 Biomasa Total, 19 años de datos

Faltando dato de año	Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
2000	362057.1505	138.0422	0.7123	22.0427	23087.6158
2001	361741.5157	137.9820	0.7196	22.8167	22525.6052
2020	396714.5987	144.4982	0.7037	41.3649	23819.4205
2003	360135.9576	137.6754	0.6974	20.5892	24008.7688
2004	354001.0184	136.4977	0.7042	14.4927	22336.3470
2005	412362.0470	147.3203	0.7884	32.6727	16856.9558
2006	362977.1264	138.2174	0.7283	23.7824	21813.0382
2007	977508.5438	226.8211	0.5109	9.8792	9320.4259
2008	362799.4275	138.1836	0.7175	22.5932	22693.4615
2009	360416.2935	137.7290	0.7014	20.9705	23830.4184
2010	361203.0982	137.8793	0.6914	20.0394	23665.5077
2011	409470.3853	146.8028	0.7701	57.9552	18453.2253
2012	360216.1626	137.6908	0.6975	20.5990	23971.1831
2013	360147.5810	137.6777	0.6978	20.6229	24000.1467
2014	360159.0648	137.6798	0.6955	20.4149	23994.5265
2015	364022.0437	138.4162	0.7083	21.6423	23070.3304
2016	436738.9063	151.6122	0.7383	48.9631	19859.2050
2017	361529.2487	137.9415	0.7040	21.2166	23190.0861
2018	360520.1330	137.7488	0.7006	20.8879	23838.3936

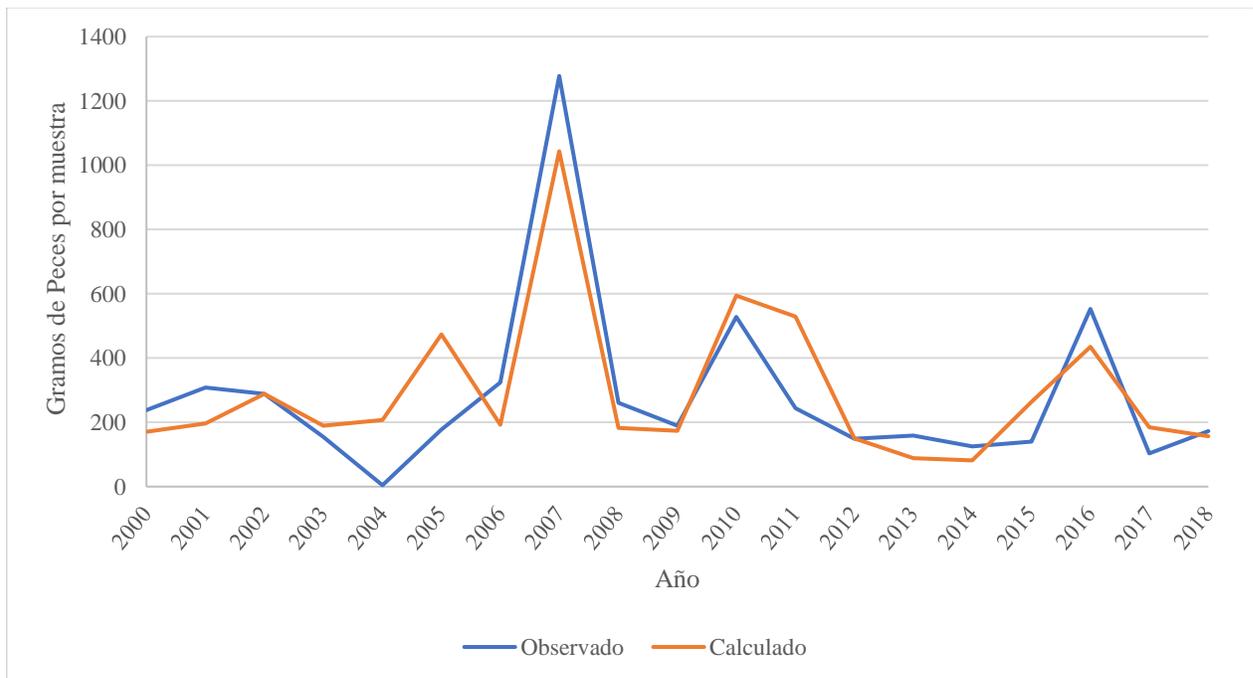


Figura D.8: Biomasa Total calculada con ecuación N5 vs observada

Set de 13 datos

- Abundancia Paraná:

Tabla D.9: elección de ecuación N1 Paraná Abundancia, 13 años de datos

Faltando dato de año		Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
1	2000	95.6538	2.7126	0.1224	1.5114	10.3819
2	2002	128.8357	3.1481	0.1524	1.6595	9.9895
3	2003	136.2584	3.2375	0.7511	34.1929	0.7005
4	2005	115.0242	2.9746	0.1279	1.5379	10.3913
5	2006	104.3766	2.8335	0.0545	1.3171	11.1678
6	2007	119.5369	3.0324	-0.0345	0.6331	10.7010
7	2008	104.6858	2.8377	0.0571	1.3332	11.3672
8	2009	104.2062	2.8312	0.0266	1.1501	11.4949
9	2010	105.9164	2.8544	0.0973	1.5928	10.9064
10	2011	108.9280	2.8947	0.1555	1.6753	10.0555
11	2012	104.0476	2.8291	0.0274	1.1551	11.4998
12	2016	104.3413	2.8331	0.0670	1.3950	11.2268
13	2018	128.9858	3.1499	0.1268	1.7985	10.2717

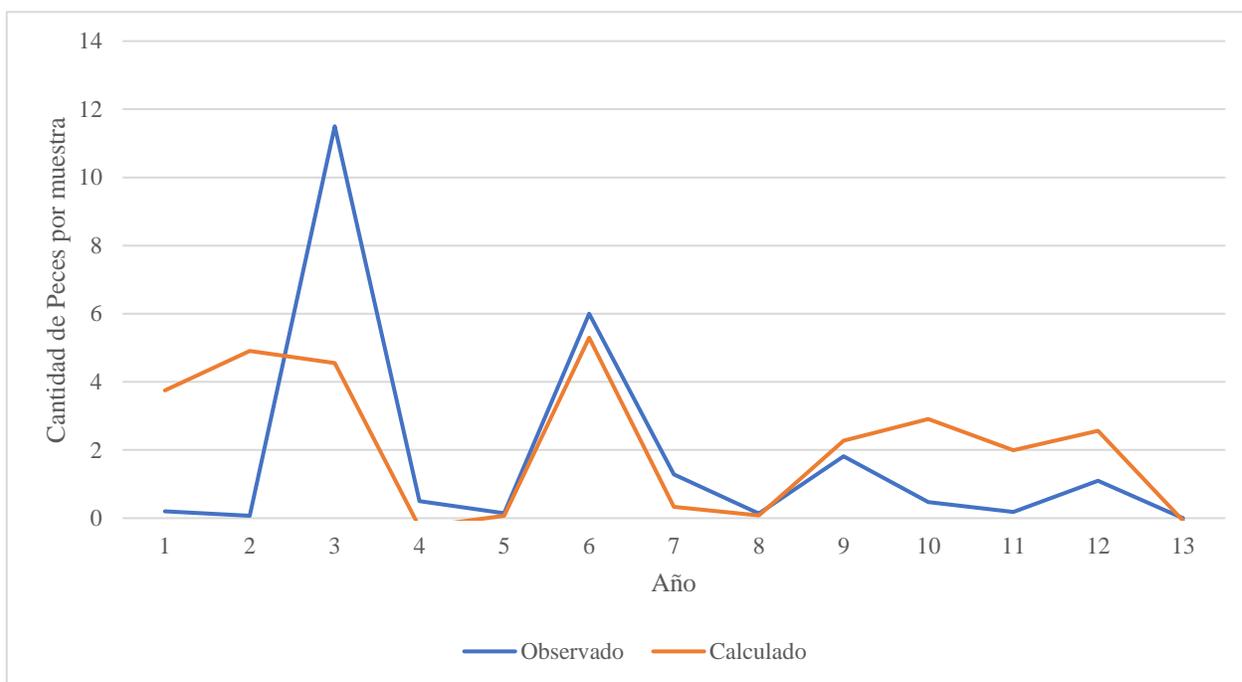


Figura D.9: Abundancia Paraná calculada con ecuación N1 vs observada

- Biomasa Paraná:

Tabla D.10: elección de ecuación N5 Paraná Biomasa, 13 años de datos

Faltando dato de año		Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
1	2000	81587.8017	79.2211	0.6356	10.5924	8921.7360
2	2002	81281.8919	79.0725	0.6311	10.4077	9028.4799
3	2003	81297.9737	79.0803	0.6248	10.1571	9013.5730
4	2005	110557.5501	92.2194	0.7095	14.4355	7056.3546
5	2006	62238.3976	69.1923	0.6674	8.3559	7751.1051
6	2007	138996.2828	103.4022	0.4608	5.7002	4746.3793
7	2008	102990.9661	89.0078	0.8098	47.8314	4327.8506
8	2009	81599.8805	79.2270	0.6319	10.4421	8809.8923
9	2010	118816.0821	95.6018	0.6697	12.1526	7399.9134
10	2011	89089.6321	82.7831	0.7322	11.0273	6638.6965
11	2012	89334.4021	82.8968	0.6624	11.7906	8369.6573
12	2016	81288.2911	79.0756	0.6295	10.3466	9027.8005
13	2018	176811.1601	116.6227	0.7022	9.6458	6872.6522

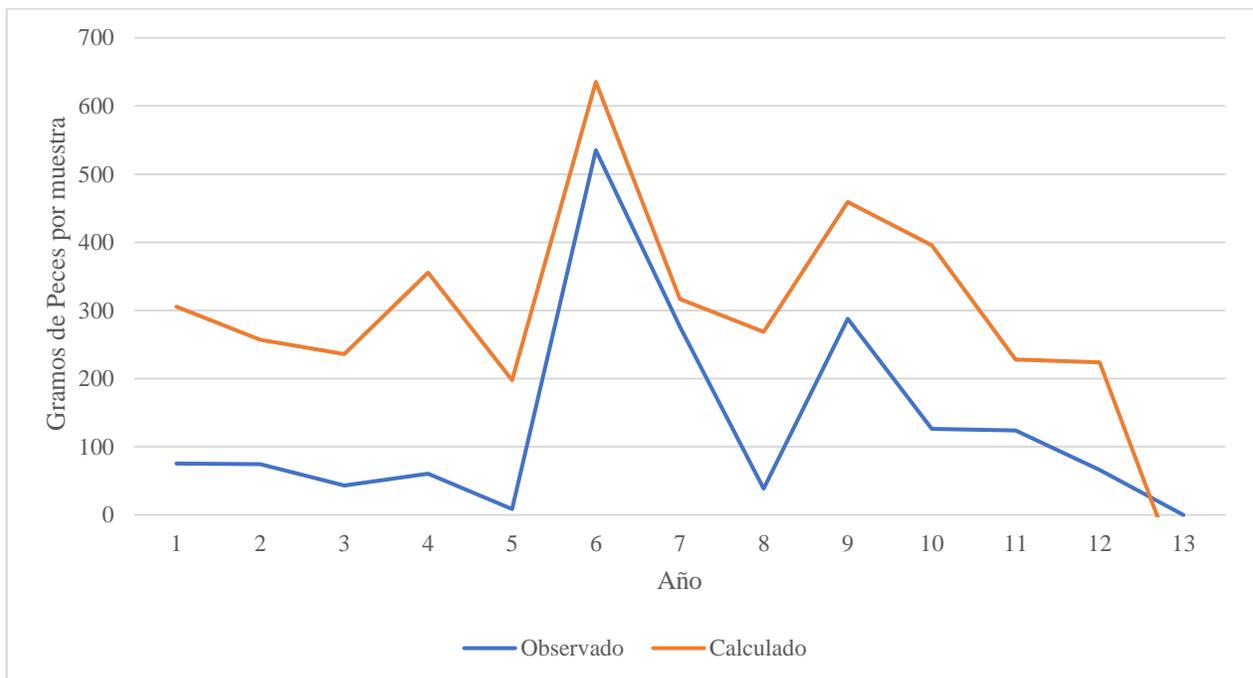


Figura D.10: Biomasa Paraná calculada con ecuación N5 vs observada

- Abundancia Ivinheima:

Tabla D.11: elección de ecuación N11 Ivinheima Abundancia, 13 años de datos

Faltando dato de año		Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
1	2000	67.3343	2.2759	0.7265	15.6094	7.3335
2	2002	84.7410	2.5531	0.8024	15.8853	5.3278
3	2003	67.1696	2.2731	0.7266	15.6161	7.3978
4	2005	76.9336	2.4327	0.7734	19.7749	6.2432
5	2006	77.1928	2.4368	0.7315	15.9807	7.2488
6	2007	285.4902	4.6862	0.6970	9.4330	1.5260
7	2008	67.4882	2.2785	0.7314	15.9775	7.2466
8	2009	67.9102	2.2856	0.7478	17.3109	6.9063
9	2010	68.7962	2.3004	0.7598	18.3989	6.5738
10	2011	74.4734	2.3935	0.8840	28.9346	3.1416
11	2012	64.5975	2.2291	0.7318	11.0052	7.1991
12	2016	93.7476	2.6854	0.8202	51.1687	4.5688
13	2018	67.6561	2.2813	0.7318	16.0053	7.2171

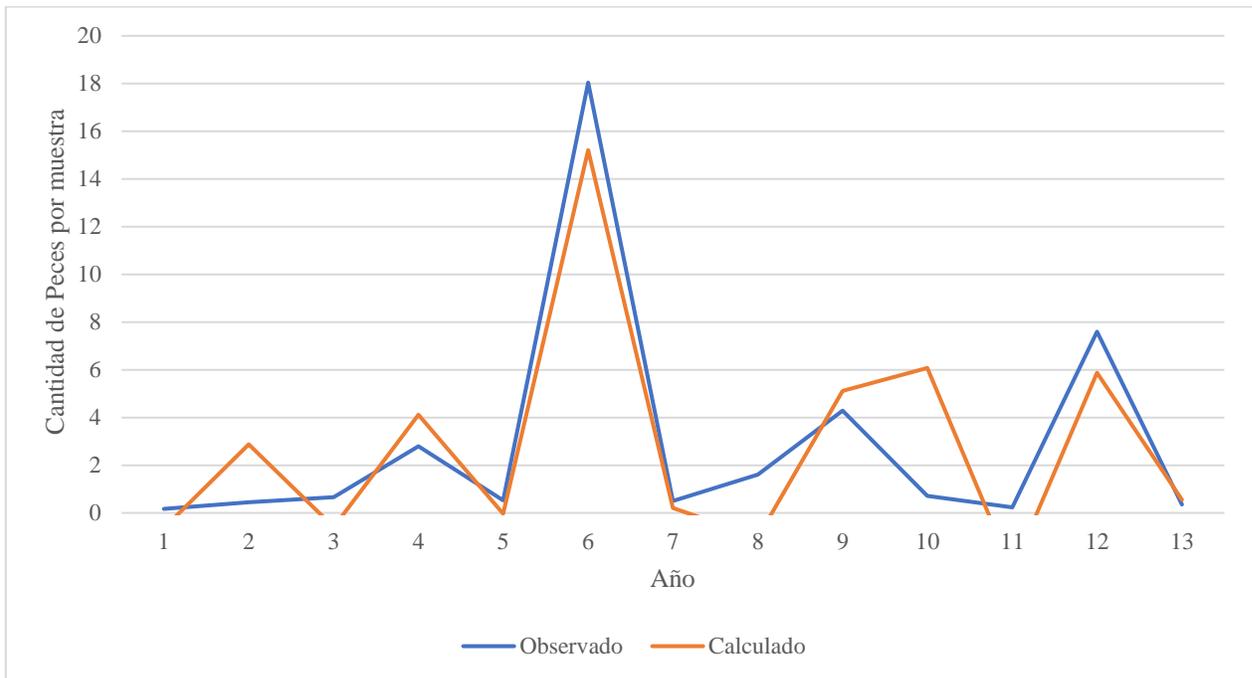


Figura D.11: Abundancia Ivinheima calculada con ecuación N11 vs observada

- Biomasa Ivinheima:

Tabla D.12: elección de ecuación N1 Ivinheima Biomasa, 1 años de datos

Faltando dato de año		Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
1	2000	846073.0987	255.1128	0.7089	14.3939	93334.2541
2	2002	1002925.1670	277.7554	0.7995	22.9355	63897.1282
3	2003	846233.8739	255.1370	0.7069	14.2650	92840.9379
4	2005	982483.8898	274.9103	0.7833	14.2533	71445.9927
5	2006	852934.0909	256.1451	0.7364	16.3649	87562.6879
6	2007	3117437.4179	489.6967	0.6128	9.7037	40009.3825
7	2008	850784.3624	255.8221	0.7220	15.2815	90764.0405
8	2009	848981.6369	255.5509	0.7220	15.2858	91194.2627
9	2010	1219346.4568	306.2611	0.7416	16.7812	83680.3559
10	2011	896642.1729	262.6261	0.7902	14.8145	69528.6811
11	2012	847434.1409	255.3179	0.7129	14.6541	92639.2769
12	2016	2189041.5083	410.3508	0.8195	25.9664	52186.4586
13	2018	1016261.5305	279.5961	0.7202	15.1544	93347.7484

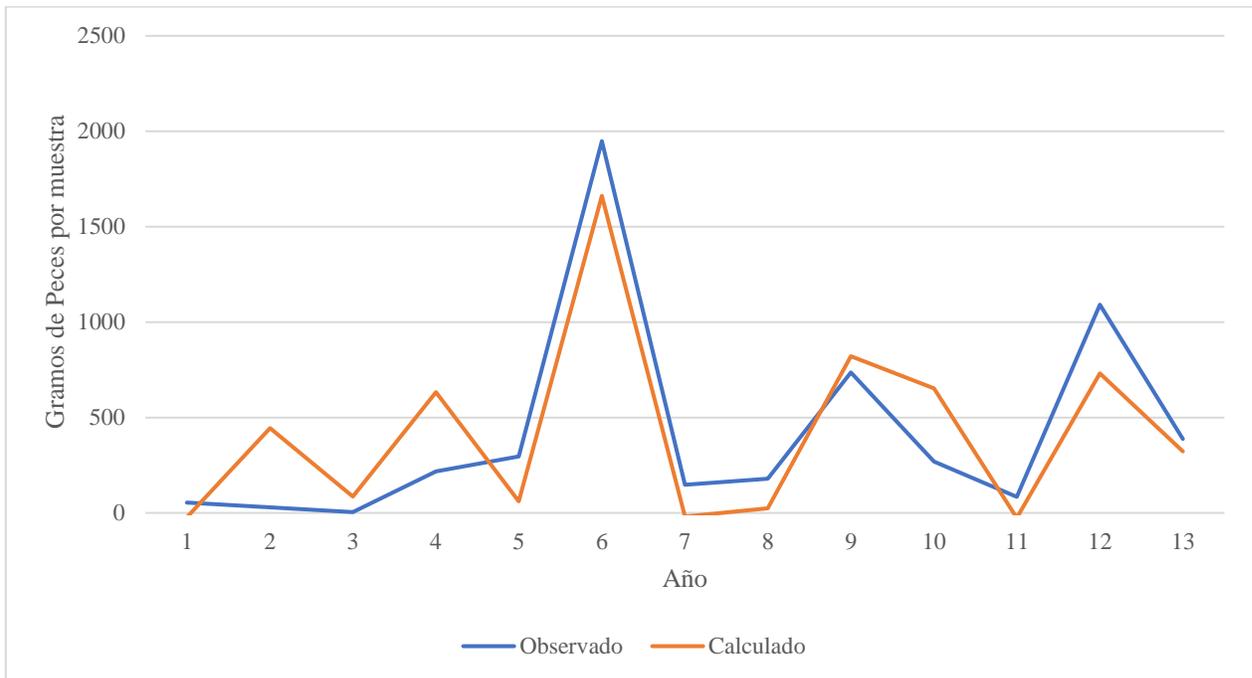


Figura D.12: Biomasa Ivinheima calculada con ecuación N1 vs observada

- Abundancia Baia:

Tabla D.13: elección de ecuación N3 Abundancia Baia, 13 años de datos

Faltando dato de año	Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE	
1	2000	7.3144	0.7501	0.6978	9.4661	0.8421
2	2002	8.5594	0.8114	0.7121	10.0703	0.7996
3	2003	7.2119	0.7448	0.6717	8.5034	0.9009
4	2005	10.1160	0.8821	0.8032	23.4464	0.5424
5	2006	7.2119	0.7448	0.6724	8.5243	0.9010
6	2007	25.9120	1.4118	0.4728	4.2879	0.1653
7	2008	8.2543	0.7968	0.6819	12.7883	0.8804
8	2009	7.2575	0.7472	0.6888	9.1144	0.8648
9	2010	9.8722	0.8714	0.6919	25.6981	0.8567
10	2011	10.1934	0.8855	0.8520	22.1016	0.4065
11	2012	7.2566	0.7471	0.6795	8.7754	0.8773
12	2016	9.7298	0.8651	0.7361	31.6752	0.7150
13	2018	8.3551	0.8017	0.6858	13.0071	0.8426

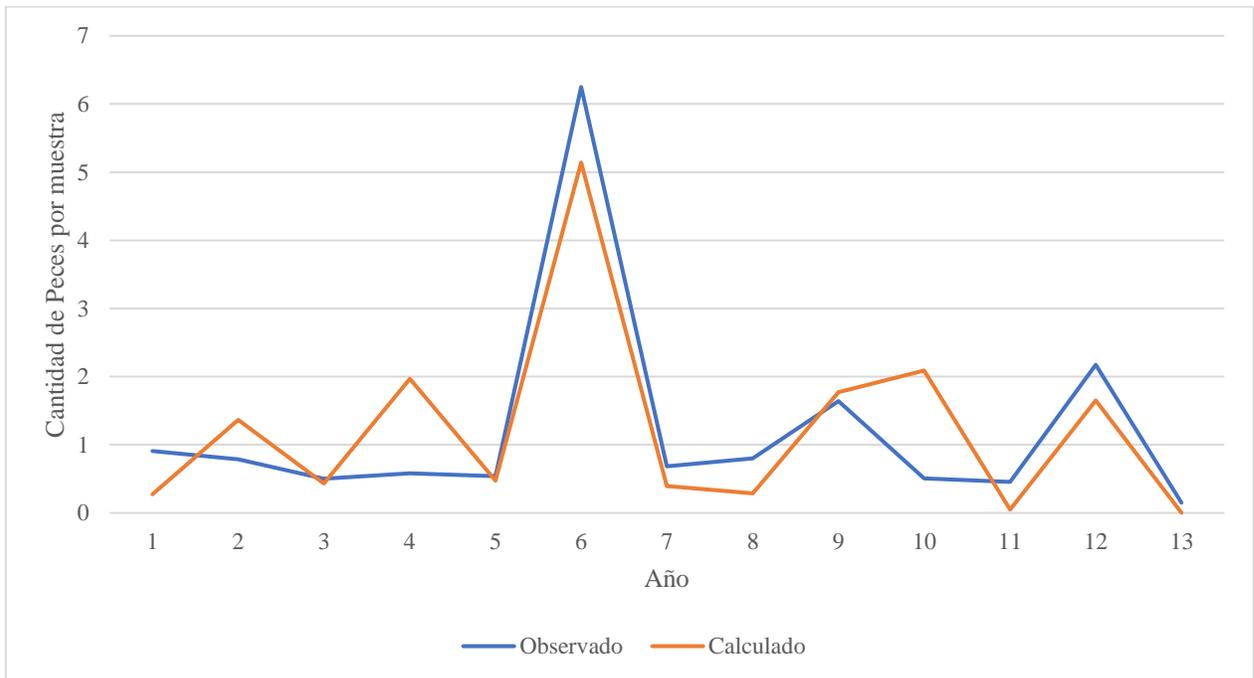


Figura D.13: Abundancia Baia calculada con ecuación N3 vs observada

- Biomasa Baia:

Tabla D.14: elección de ecuación N8 Biomasa Baia, 13 años de datos

Faltando dato de año		Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
1	2000	456485.7915	187.3881	0.5367	5.2481	51767.0869
2	2002	496877.6395	195.5028	0.5850	6.1686	40005.4873
3	2003	455794.3394	187.2461	0.5553	5.5786	49189.5874
4	2005	706733.0325	233.1611	0.4793	4.3747	56391.8858
5	2006	449483.4169	185.9453	0.5886	6.2449	45937.4667
6	2007	797828.7830	247.7326	0.6194	6.9666	16833.0676
7	2008	450316.5025	186.1175	0.4946	4.5888	55455.6881
8	2009	449061.0140	185.8579	0.4842	4.4425	56010.6004
9	2010	859018.3050	257.0571	0.5673	5.8076	48383.0288
10	2011	492249.1537	194.5901	0.6958	9.3880	32620.8068
11	2012	461537.9115	188.4222	0.4647	4.1828	56436.1543
12	2016	576334.5884	210.5551	0.6428	7.5982	39938.9984
13	2018	1205242.5334	304.4848	0.4448	5.4057	52755.2115

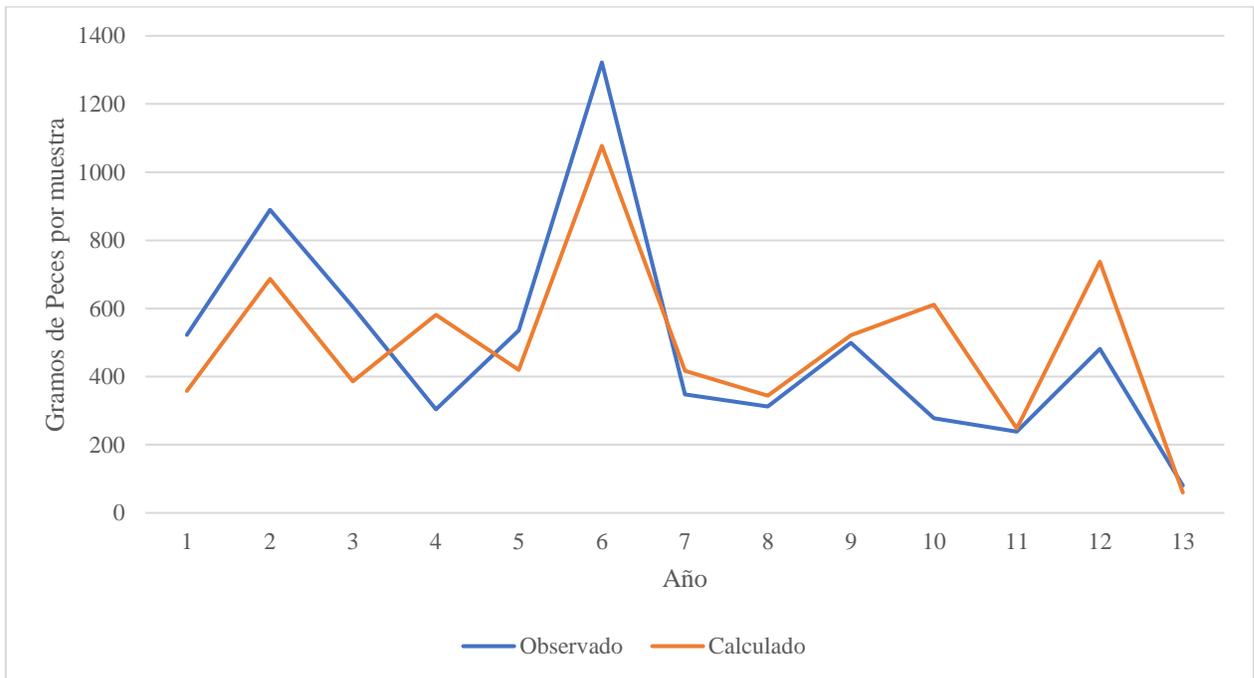


Figura D.14: Biomasa Baia calculada con ecuación N8 vs observada

- Abundancia Total:

Tabla D.15: elección de ecuación N5 Abundancia Total, 13 años de datos

Faltando dato de año		Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
1	2000	27.0648	1.4429	0.6237	10.1166	2.9974
2	2002	33.5552	1.6066	0.6976	9.4568	2.4066
3	2003	29.6295	1.5097	0.7198	15.1257	2.2505
4	2005	31.2640	1.5508	0.7036	14.0539	2.4170
5	2006	27.0499	1.4425	0.6228	10.0794	3.0055
6	2007	91.3377	2.6507	0.2753	3.0897	1.0510
7	2008	27.1357	1.4448	0.6330	10.4872	2.9578
8	2009	27.1130	1.4442	0.6338	10.5183	2.9610
9	2010	31.6372	1.5600	0.6575	22.1185	2.7874
10	2011	32.1951	1.5737	0.7522	34.3866	1.9826
11	2012	27.0517	1.4425	0.6203	9.9861	3.0045
12	2016	31.3403	1.5527	0.7034	27.0930	2.3421
13	2018	27.4465	1.4530	0.6406	10.8044	2.8315

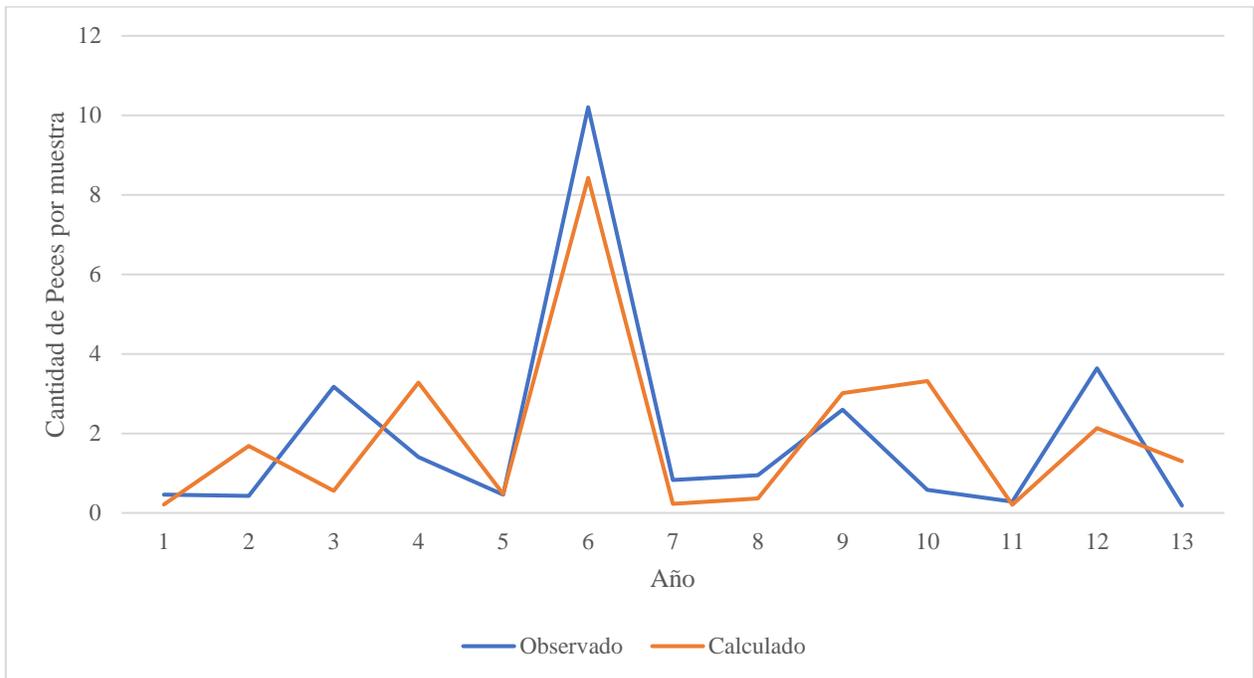


Figura D.15: Abundancia Total calculada con ecuación N5 vs observada

- Biomasa Total:

Tabla D.16: elección de ecuación N3 Biomasa Total, 13 años de datos

Faltando dato de año		Suma error al cuadrado	Error unitario	R ² ajustado	F	MSE
1	2000	242615.9827	136.6117	0.7103	9.9896	29547.4789
2	2002	242840.2249	136.6749	0.7099	9.9725	29843.9836
3	2003	241299.0237	136.5401	0.6968	9.4267	30159.3198
4	2005	367579.4585	168.1527	0.8068	23.9661	19377.0607
5	2006	244440.4967	137.1245	0.7293	10.8794	27928.5660
6	2007	1074237.8896	287.4608	0.6120	6.7847	7202.3184
7	2008	288809.1342	149.0506	0.7110	14.5317	29606.8584
8	2009	241742.5152	136.3656	0.7037	9.7101	29827.7524
9	2010	243878.4884	136.9667	0.7029	9.6755	29748.9704
10	2011	330629.2930	159.4773	0.9074	36.9366	9455.2002
11	2012	246814.9431	137.7888	0.7115	10.0426	28631.2095
12	2016	372969.8772	169.3812	0.7342	31.3824	26372.2996
13	2018	748967.9571	240.0269	0.7287	10.8473	27172.6250

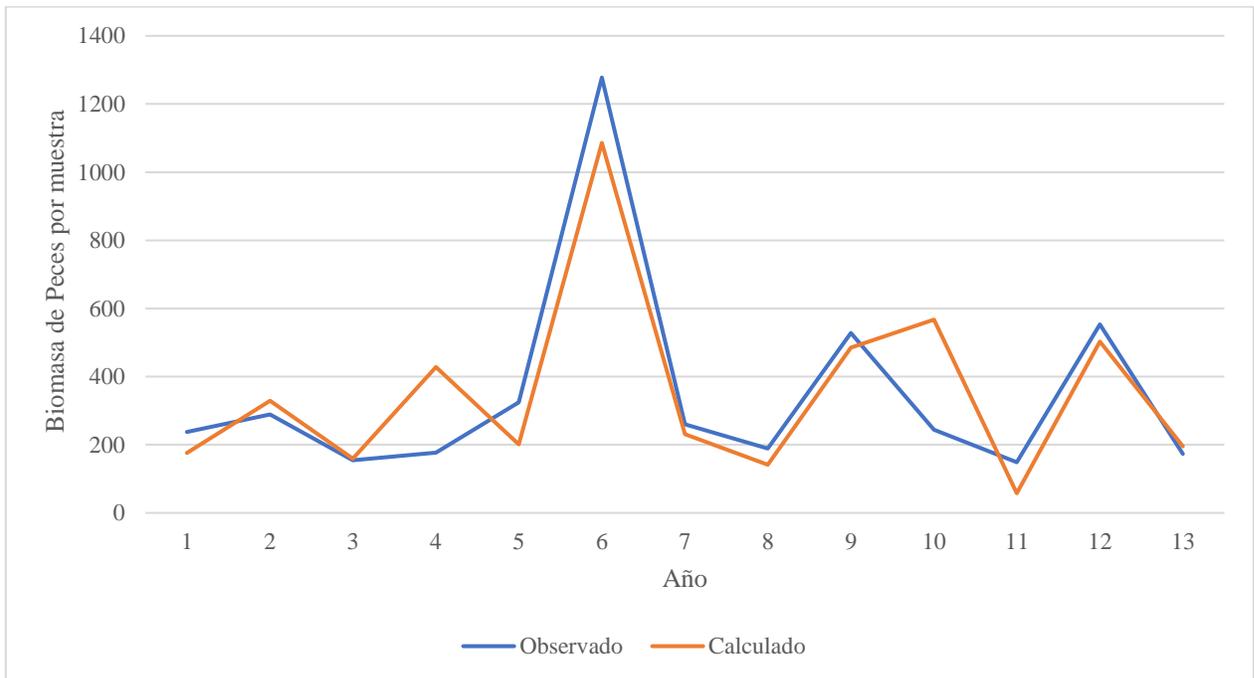


Figura D.16: Biomasa Total calculada con ecuación N3 vs observada

