

## **Proyecto “Evaluación biológica y pesquera de especies de interés deportivo y comercial en el Río Paraná. Argentina”**

### **Instituciones Integrantes del Proyecto**

#### **Gobierno Nacional**

**Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca  
Subsecretaría de Pesca y Acuicultura  
Dirección de Pesca Continental (DPC)**

#### **Provincia de Santa Fe**

**Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente  
Secretaría de Medio Ambiente  
Subsecretaría de Recursos Naturales  
Dirección General de Manejo Sustentable de los Recursos  
Pesqueros**

#### **Provincia de Entre Ríos**

**Ministerio de Producción  
Dirección General de Recursos Naturales  
Dirección de Gestión de Uso Sustentable de los Recursos Naturales**

#### **Provincia de Chaco**

**Subsecretaría de Recursos Naturales  
Dirección de Fauna y Áreas Naturales Protegidas  
Departamento de Fauna y Pesca**

#### **Provincia de Corrientes**

**Dirección de Recursos Naturales  
Subdirección de Fauna y Flora  
Departamento de Fauna Íctica y Silvestre**

**Este trabajo puede ser citado como sigue:**

**Lozano, I. 2015. Análisis virtual de poblaciones (VPA): primer acercamiento aplicado a las pesquerías del sábalo *Prochilodus lineatus*. Dirección de Pesca Continental, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, MAGyP. Bs. As. Informe Técnico nº 30: 1-17.**

**[http://www.minagri.gov.ar/site/pesca/pesca\\_continental/index.php](http://www.minagri.gov.ar/site/pesca/pesca_continental/index.php)**

## **Personal Participante:**

### **Dirección de Pesca Continental**

Lic. Mauricio Remes Lenicov (Director)  
Dr. Carlos Fuentes (Investigador. Coordinador General)  
Dr. Darío Colautti (Conicet-DPC. Investigador. Coordinador Técnico)  
Lic. Alberto Espinach Ros (Investigador)  
Lic. Leandro Balboni (Investigador)  
Lic. Danilo Demonte (Investigador)  
Dr. Alejandro Dománico (CIC. Investigador)  
Lic. Jorge Liotta (Investigador)  
Lic. Sabina Llamazares Vegh (Investigadora)  
Lic. Ismael Lozano (Investigador)  
Dra. Julia Mantinian (Investigadora)  
Lic. Gustavo Picotti (Investigador)  
Sra. Bibiana Giussi (Técnica)  
Sr. Hernán Améndola (Técnico Pescador)  
Sr. Antonio Delgado (Técnico pescador)  
Sr. Santiago Sebastiani (Técnico pescador)

### **Dirección General de Manejo Sustentable de los Recursos Pesqueros (Santa Fe)**

Lic. Daniel Del Barco (Director. Investigador)  
Agron. Juan Carlos Rozzatti (Profesional Técnico)  
Dr. Blas Fandiño (Profesional Técnico)  
Sr. Roberto Civetti (Técnico)  
Lic. M. C. Cordini

### **Dirección de Gestión de Uso Sustentable de los Recursos Naturales (Entre Ríos)**

Ing. Roque Fernández (Director)  
Ing. Antonio Velazco (Profesional Técnico)  
Téc. Eduardo Javier Comas (Técnico)  
Sr. Nicolás Fernández (Técnico)  
Sr. Gabriel Romero (Técnico)

### **Dirección de Fauna y Areas Naturales Protegidas (Chaco)**

Dr. Mario A. Cuevas (Director)  
Prof. Ana Susy Gutiérrez (Jefa Dpto.)  
Lic. Facundo Vargas (Investigador)  
Sr. Leonardo Behr (Técnico)  
Sr. Héctor Salinas (Técnico)  
Sr. Néstor Benavidez (Técnico)

### **Dirección de Recursos Naturales (Corrientes)**

Dr. Santiago Faisal (Director)  
Dr. Ovidio Ecclesia (Jefe Dpto.)

# **Análisis virtual de poblaciones (VPA): primer acercamiento aplicado a las pesquerías del sábalo**

## ***Prochilodus lineatus***

Autor: Ismael Lozano

### **Introducción**

Los modelos de evaluación pesquera son análisis demográficos diseñados para establecer los efectos de la pesquería en las poblaciones de peces y poder evaluar las consecuencias potenciales de políticas alternativas de administración del recurso (Methot y Wetzel, 2013). En pesquerías continentales neotropicales, la aplicación de estos enfoques ha sido escasa o nula. La necesidad de un manejo apropiado se vuelve evidente con el incremento de la pesca comercial, agravado por un escenario de limitada información técnica sobre la evaluación.

Los métodos de evaluación de stock pesqueros que están basados en datos de captura por edad constituyen una de las principales herramientas para la evaluación y el diagnóstico del estado de stocks sujetos a explotación (Peltonen et al., 1999). Estos métodos incluyen al análisis virtual de poblaciones (VPA) (Gulland, 1965, 1983). VPA calcula la abundancia del stock basado en capturas numéricas de cada grupo de edad a los largo de los años. Puede ser aplicado a stocks pesqueros altamente explotados. La información proveniente del VPA acerca de tendencias en el stock o variabilidad de las clases anuales, permite a los administradores una mejor capacidad al momento de modelar el estado previsto de los stocks en el futuro (Sparre y Venema, 1998) y establecer regulaciones adecuadas. Este enfoque es de especial importancia en especies con un reclutamiento inconsistente o episódico (Scarnecchia et al., 2014).

El “sábalo”, *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836), es un pez caraciforme iliófago endémico de las cuencas de los ríos Paraná y Paraguay. De acuerdo con Sverlij et al. (1993), *P. lineatus* representa alrededor del 40%, 86% y 95% del total de capturas comerciales en los ríos Paraná, Río de la Plata y Uruguay respectivamente. Bonetto (1975, 1994) reportó que esta especie representa más del 60% de la ictiomasa total de la baja cuenca del río Paraná. Desde el punto de vista reproductivo, esta especie posee reclutamientos episódicos, evidenciados por la presencia de cohortes predominantes en las capturas (Espinach Ros et al, 2008).

El objetivo del presente trabajo es brindar un primer acercamiento a la evaluación de stocks pesqueros de *Prochilodus lineatus* en el bajo río Paraná mediante la aplicación de un modelo de VPA.

## **Materiales y métodos**

### **Datos de captura**

Los datos de captura de *P. lineatus* fueron obtenidos a partir de las campañas de muestreo del proyecto “Evaluación biológica y pesquera de especies de interés deportivo y comercial en el Río Paraná. Argentina” provenientes de cinco localidades diferentes en el río Paraná (Fig.1). Se analizaron los datos comprendidos entre los años 2010 al 2014, con un total de doce campañas, a razón de dos o tres por año, con un promedio de nueve noches de pesca cada una, distribuidas en las distintas estaciones del año. Los peces fueron capturados utilizando dos baterías de redes agalleras caladas durante el atardecer y viradas la mañana siguiente (12 hs. Aproximadamente). Cada batería de redes consistía en mallas de 12.5 metros de largo de 30, 40, 50, 60, 70, 80 mm de distancia entre nudos estirados; mallas de 25 metros de 90, 105, 120, 140, 160,

180 mm de distancia entre nudos estirados y trasmallos de 25 metros de 105, 120, 140, 160 y 180 mm de distancia entre nudos estirados. Cada pez fue contabilizado, medido, pesado y los otolitos *lapilli* fueron extraídos para la posterior estimación de la edad. En el presente trabajo se asume que este espectro de mallas captura con la misma eficiencia ejemplares del primer año de vida como los de edad máxima.

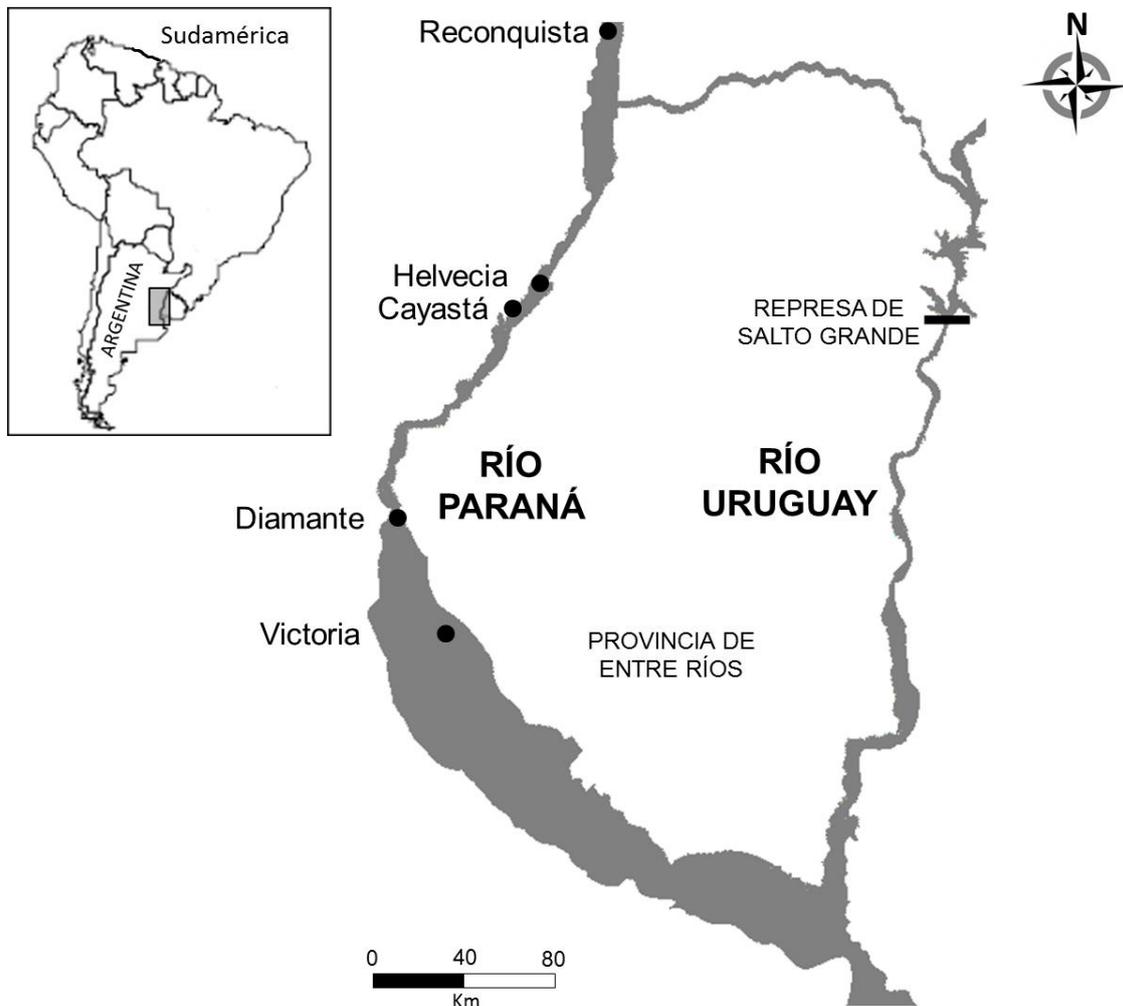


Figura 1- Localidades de muestreo de sábalo en el río Paraná (Puntos negros).

### Modelo de Poblaciones Virtuales (VPA)-Ingreso de datos

Se ha utilizado la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) como estimador de abundancia relativa de la población. Se define la CPUE como el número de peces

capturados en una noche con la batería de redes utilizada. La CPUE anual promedio fue calculada para cada edad estimada (Tabla 1).

Para este trabajo solo se ha considerado a la cohorte 2009-2010 por ser la cohorte mayoritaria en las capturas comerciales y de la que se cuenta con información más confiable dentro del período en que el proyecto fue llevado a cabo.

**Tabla 1- Valores de CPUE promedio anual para cada edad obtenida de las campañas de muestreo.**

Año	Edad (años)				
	1	2	3	4	5
2010	80.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	0.0	40.9	0.0	0.0	0.0
2012	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0
2013	0.0	0.0	0.0	29.2	0.0
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	30.2

Los datos de CPUE fueron considerados como datos de captura por edad en el modelo de VPA.

El segundo input de datos para el VPA es la mortalidad natural (M). Este parámetro fue estimado siguiendo a Sparre y Venema (1998) y Cadima (2003) con la siguiente fórmula:

$$M \approx \frac{3}{t_{max}} \quad (1)$$

Donde  $t_{max}$  es la mayor edad observada en el stock o la mayor edad registrada en la literatura para la especie de interés. El  $t_{max}$  para *P. lineatus* a partir de la información

disponible en la literatura es de 26 años (Espinach Ros et al., 2008). Por lo tanto, el valor de M utilizado en este trabajo fue  $\approx 0.12$ .

El tercer input de datos fue la “estimación inicial” acerca de la abundancia de los sobrevivientes de mayor edad. Este dato fue obtenido calculando la tasa de decrecimiento en la abundancia de una cohorte a través de los años (asumiendo que todas las clases anuales poseen la misma mortalidad a lo largo del tiempo). La fórmula utilizada fue:

$$\text{Ln} \left[ \frac{\left( \sum_{a=k}^{a=\infty-1} C_t \right)}{\left( \sum_{a=k+1}^{a=\infty} C_{t+1} \right)} \right] = Z_t \quad (2)$$

Donde  $Z_t$  es la tasa de mortalidad de la clase anual y  $C_t$  las capturas de una dada clase anual. El valor de Z se obtuvo gráficamente a través de una regresión lineal de los logaritmos naturales de la captura vs la edad.

Con todos los input de datos para el VPA estimados, la abundancia (N) fue obtenida con la ecuación de proceso:

$$N_{a,t} = N_{a+1,t+1} e^M + C_t e^{M/2} \quad (3)$$

Donde  $N_{a,t}$  es la abundancia para la edad “a” en el año “t”,  $C_t$  es el valor de captura en el año “t” y M la mortalidad natural.

Y la abundancia de los ejemplares de mayor edad fue calculada con:

$$N_{t,a} = \frac{C_{t,a} Z_{t,a}}{F_{t,a} (1 - e^{-Z_{t,a}})} \quad (4)$$

Donde  $C_{t,a}$  son las capturas en el año “t” para la edad “a”,  $Z_{t,a}$  la mortalidad total en el año “t” para la edad “a” y  $F_{t,a}$  es la mortalidad por pesca en el año “t” para la edad “a”.

La matriz de Mortalidad por pesca (F) fue construida a partir de la matriz de N con la siguiente fórmula:

$$F_{t,a} = Ln \left( \frac{N_{t,a}}{N_{t+1,a+1}} \right) - M \quad (5)$$

Donde  $F_{t,a}$  es la mortalidad por pesca de la edad “a” en el año “t”.

## Resultados

### Estimación inicial de los parámetros

La estimación de Z para la cohorte predominante fue obtenida gráficamente (Fig. 2) y fue de  $Z \approx 0.2284$ . El primer año no fue eliminado del pool de datos de la regresión debido a que la metodología de muestreo puede capturar eficientemente los peces más jóvenes.

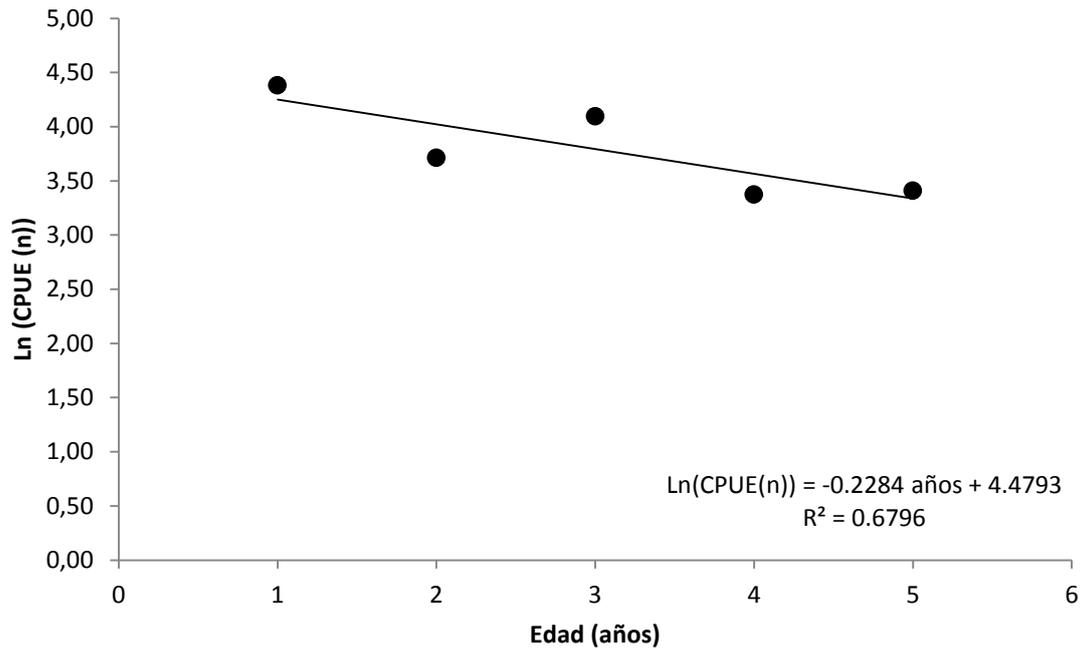


Figura 2- Regresión lineal de los Ln de la CPUE vs la edad de los ejemplares. En el extremo inferior derecho del gráfico se presentan los resultados de la ecuación de ajuste.

La estimación inicial acerca de la abundancia (N) de los sobrevivientes de mayor edad fue llevada a cabo con la estimación de F de los peces de mayor edad. El valor de Z de 0.2284 con un valor de M de 0.12 resulta en un valor de F de 0.1084 para los peces de 5 años de edad.

Con la primera estimación de F, la abundancia de los peces de mayor edad fue calculado de la ecuación (4) resultando en una abundancia de 312.

### Aplicación del VPA

Los valores de mortalidad para cada edad oscilaron entre 0.14 y 0.08 (Fig.3). Los peces más jóvenes mostraron valores de F similares a los de mayor edad, confirmando el primer supuesto de la curva de captura.

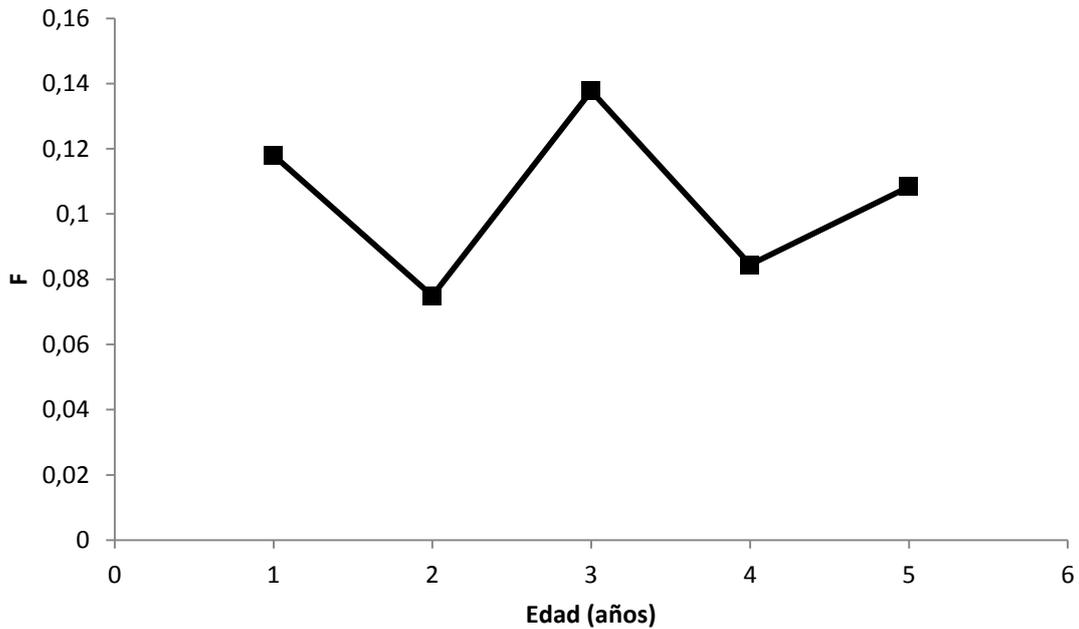


Figura 3- Mortalidad por pesca para cada edad.

La estimación de la abundancia a lo largo de los años para la cohorte mayoritaria se muestra en la figura 4. La caída abundancia estimada con la CPUE desde 2010 es visible y clara.

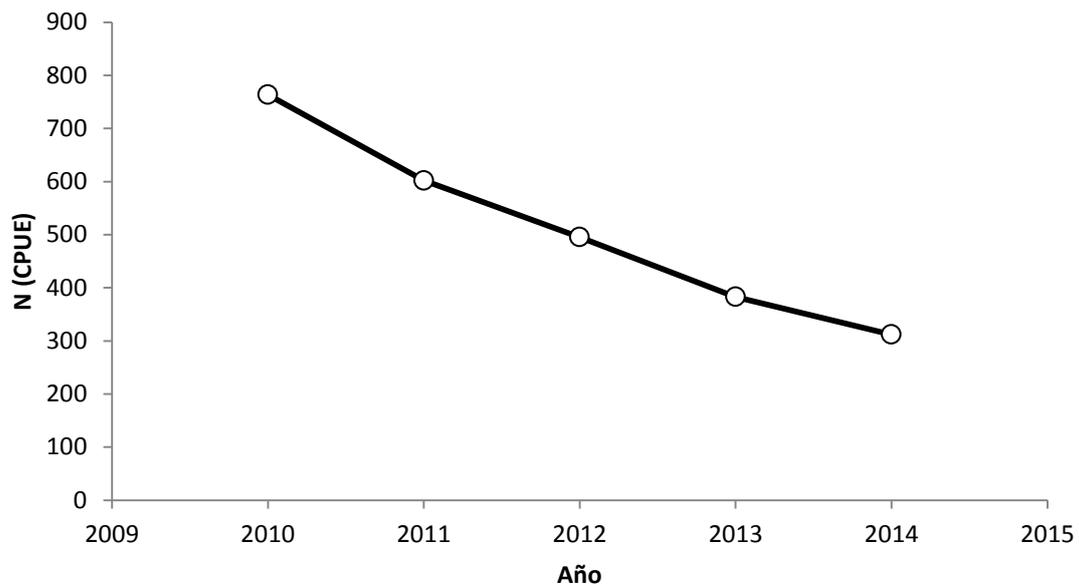


Figura 4- Abundancia de la cohorte 2010 a lo largo de los años.

La variación en la mortalidad por pesca a lo largo de los años se muestra en la figura 5. La distribución de los valores se muestra igual que en el caso de  $F$  vs edad, debido que este análisis fue llevado a cabo con la cohorte predominante en las capturas.

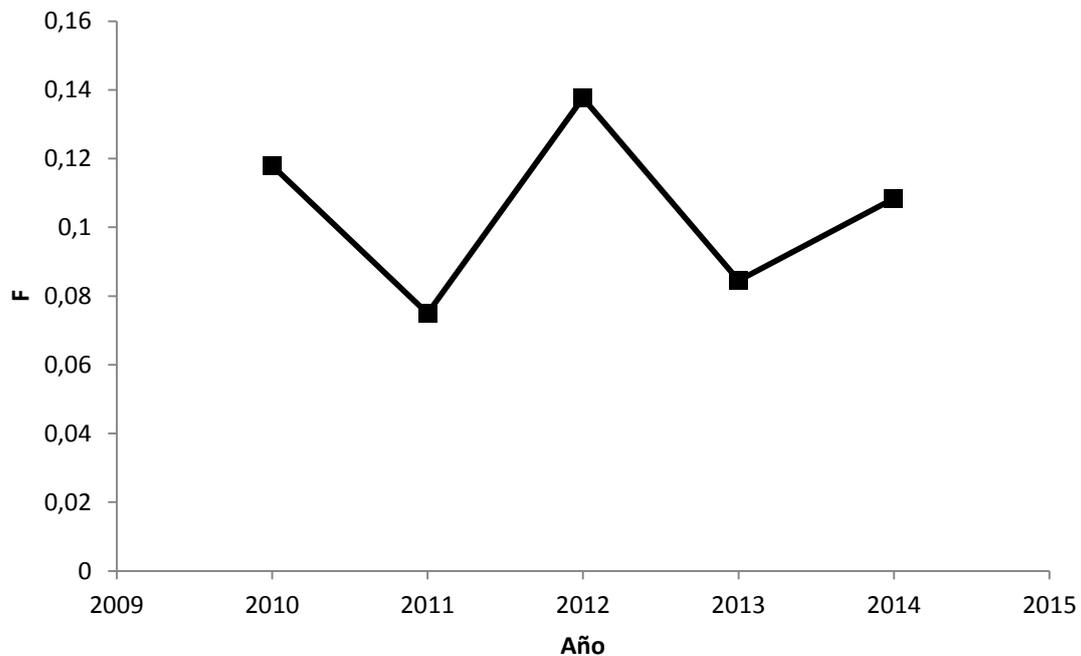


Figure 5- Mortalidad por pesca de *P. lineatus* a lo largo de los años analizados.

## Discusión

### Estado del stock

La pesquería se enfoca casi en su totalidad en una sola cohorte. La misma presenta un valor de mortalidad por pesca igual al de mortalidad natural estimada. La abundancia actual de esta cohorte, en términos de la CPUE, es menos que la mitad de la abundancia en el primer año. La mortalidad por pesca no estaría mostrando una disminución relacionada con la disminución de la abundancia.

El valor calculado empíricamente de  $Z$  fue  $\approx 0.23$ . Este valor es bajo comparado con los reportados en otras especies del mismo género explotadas comercialmente en pesquerías neotropicales. Estimaciones previas de la mortalidad total para *Prochilodus nigricans* en el Amazonas central fueron de  $Z = 1.51$  (Ruffino e Issac, 1995) y  $Z = 0.838$  para esta misma especie en el Noreste de Ecuador (Silva y Stewart, 2006);  $Z = 1.51$  para *P. magdalenae* en Colombia (Valderrama et al., 1993) y  $Z = 1.47$  para *P. platensis* en Bolivia (Payne y Harvey, 1989). Una comparación preliminar de los valores de mortalidad obtenidos en el presente trabajo con la literatura disponible, sugerirían que la actual explotación de *P. lineatus* en el bajo Paraná no estaría comprometiendo la integridad y la abundancia de la población.

### **Incertezas**

Las grandes diferencias observadas en los valores de  $Z$  de *P. lineatus* con las otras especies de prochilodóntidos en Sudamérica pueden ser consecuencia de las metodologías de estimación de edad. En la mayor parte de los estudios previos, fueron las escamas las estructuras etarias utilizadas para estimar la edad y las edades máximas reportadas no excedían los 10 años. Estas diferencias podrían afectar directamente a la estimación de mortalidad natural y por lo tanto al valor de  $Z$ .

### **Recomendaciones para el manejo**

- **Es necesario no incrementar la mortalidad por pesca en esta parte de la cuenca.**

Aún si los valores de  $Z$  se mantienen bajos, casi la totalidad del stock (o stocks) consiste en una sola cohorte. No existe información previa confiable acerca de la explotación o

mortalidad por pesca de los años previos al Proyecto. El estado del o los stocks pesqueros debe ser monitoreado cuidadosamente.

- **Es importante monitorear la presencia de juveniles.**

La presencia de juveniles que podrían ingresar al stock en caso de ocurrir un reclutamiento en años favorables es de vital importancia. Esta información permitiría pronosticar incrementos en el tamaño del stock en años posteriores.

- **Debe dedicarse un especial esfuerzo en mejorar la precisión de las estimaciones de mortalidad natural (M) y de edad de los ejemplares.**

Una validación formal y posterior determinación de la edad permitirá identificar con certeza a los ejemplares de mayor edad en las capturas, con el fin de asignarlos a cohortes exitosas pasadas. La prevalencia y el impacto de las determinaciones inadecuadas de edad en la precisión de los estudios de dinámica poblacional no deben ser subestimados (Lai y Gunderson, 1987; Rivard y Foy, 1987; Tyler et al., 1989; Bradford, 1991; Richards et al., 1992; Morison et al., 1998). Existen numerosos casos en donde los errores en la determinación de la edad han contribuido seriamente a la sobreexplotación de poblaciones o especies (Campana, 2001). Sin embargo, el problema a menudo más frecuente es la subestimación (más que la sobreestimación) que resulta en estimaciones de crecimiento y mortalidad demasiado optimistas (Campana, 2001). Este no parecería ser el caso del sábalo del bajo Paraná, donde se han registrado edades máximas mayores (más del doble en algunos casos) a las reportadas en otras especies del mismo género, pudiendo atribuirse potencialmente a un error de sobreestimación y por lo tanto a un error menos grave.

El fin de estas mejoras es optimizar los ajustes del modelo VPA y su capacidad predictiva en el futuro.

## Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló en el marco del proyecto “Evaluación biológica y pesquera de especies de interés deportivo y comercial en el Río Paraná. Argentina”. Se agradece al Doctor Steven Cadrin por sus sugerencias y comentarios en cuanto a la elección del VPA como modelo de aplicación para el sábalo.

## Referencias

Bonetto, A.A. (1975). Hydrologic regime of Paraná River and its influence on Ecosystems. In: Coupling of Land and Water System, Ecological studies vol.10 (ed. by A.D. Hasler), pp. 175-197. Springer-Verlag, NewYork , NY, USA.

Bonetto, A.A. (1994). Austral Rivers of South America. In: Limnology Now: A Paradigm of Planetary Problems (ed. By R. Margalef), pp. 425-472. Elsevier Science, Amsterdam, the Netherlands.

Bradford, M. J. (1991). Effects of ageing errors on recruitment time series estimated from sequential population analysis. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 48, 555–558.

Cadima, E. L. (2003). Fish stock assessment manual. FAO Fish. Tech. Pap. 393, 161 p. FAO, Rome.

Campana, S. E. (2001). Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59(2): 197-242.

Espinach Ros, A., Dománico, A., Demonte, L., Campana, M., Trogolo, A., Cordiviola, Rodrigues, E. K., Christiansen, E. (2008). Segundo informe del Proyecto Proyecto Evaluación del Recurso Sábalo (*Prochilodus lineatus*) en el Paraná. Informe de los resultados de la segunda etapa - 2006-2007.

Gulland, J.A. (1965). Estimation of mortality rates. Annex to the Northeast Arctic Working Group Report. ICES, CM 1965. Doc. no. 3.

Gulland, J.A. (1983). Fish stock assessment. A Manual of Basic Methods. Wiley, Chichester, 223 pp.

Lai, H. L., Gunderson, D. R. (1987). Effects of ageing errors on estimates of growth, mortality and yield per recruit for walleye pollock (*Theragra chalcogramma*). *Fisheries Research* 5, 287–302.

Methot Jr, R. D, Wetzel, C. R. (2013). Stock synthesis: A biological and statistical framework for fish stock assessment and fishery management. *Fisheries Research* 142(0): 86-99.

Morison, A. K., Coutin, P. C., Robertson, S. G. (1998). Age determination of black bream, *Acanthopagrus butcheri* (Sparidae), from the Gippsland Lakes of south-eastern Australia indicates slow growth and episodic recruitment. *Marine and Freshwater Research* 49, 491–498.

Payne, A. I., Harvey, M. J. (1989). An assessment of the *Prochilodus platensis* Holmberg population in the Pilcomayo River fishery, Bolivia using scale-based and computer-assisted methods. *Aquaculture Research* 20(3): 233-248.

Peltonen, H., Ruuhijärvi, J., Malinen, T., Horppila, J. (1999). Estimation of roach (*Rutilus rutilus* (L.)) and smelt (*Osmerus eperlanus* (L.)) stocks with virtual population analysis, hydroacoustics and gillnet CPUE. *Fisheries Research* 44(1): 25-36.

Richards, L. J., Schnute, J. T., Kronlund, A. R., Beamish, R. J. (1992). Statistical models for the analysis of ageing error. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49, 1801–1815.

Rivard, D., Foy, M. G. (1987). An analysis of errors in catch projections for Canadian Atlantic fish stocks. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 44, 967–981.

Ruffino, M.L., Issac, V.J. (1995). Life cycle and biological parameters of several Brazilian Amazon fish. *NAGA, the ICLARM Oct*:41–45.

Scarnecchia, D. L., Lim, Y., Ryckman, L. F., Backes, K. M., Miller, S. E., Gangl, R. S., y Schmitz, B. J. (2014). Virtual Population Analysis, Episodic Recruitment, and Harvest Management of Paddlefish with Applications to Other Acipenseriform Fishes. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 22(1), 16-35.

Sparre, P., Venema S. C. (1998). Introduction to tropical fish stock assessment, Part 1: manual. *FAO Fish. Tech. Pap.* 306/1, rev. 2, 407 p. FAO, Rome.

Silva, E., Stewart, D. (2006). Age structure, growth and survival rates of the commercial fish *Prochilodus nigricans* (bocachico) in North-eastern Ecuador. *Environmental Biology of Fishes* 77(1): 63-77.

Sverlij, S. B., Espinach Ros, A.E., Orti, G. (1993). Sinopsis de los datos biológicos y pesqueros del sábalo *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847), Food & Agriculture Org.

Tyler, A. V., Beamish, R. J., McFarlane, G. A. (1989). Implications of age determination errors to yield estimates. In Effects of Ocean Variability on Recruitment and an Evaluation of Parameters used in Stock Assessment Models (Beamish, R. J. y McFarlane, G. A., eds), pp. 27–35. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 108.

Valderrama, M., Petrere, M., Zarate-Villareal, M., Vera-Uribe, G. (1993). Parámetros poblacionales (mortalidad, rendimiento máximo sostenible) y estado de explotación del bocachico *Prochilodus magdalenae* (Steindachner, 1878; Prochilodontidae) del bajo río Magdalena (Colombia). Boletín Científico INPA, Colombia 1:43–60.