

**COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL**  
**TALLER SOBRE EDAD Y CRECIMIENTO DE LOS ATUNES PATUDO Y**  
**ALETA AMARILLA EN EL OCÉANO PACÍFICO**

La Jolla, California (EE. UU.)  
23-25 de enero de 2019

## INFORME DEL TALLER

### ÍNDICE

1. Antecedentes .....	1
2. Puntos clave .....	2
3. Avances hacia los objetivos.....	3
4. Recomendaciones .....	4
Anexo 1. Agenda .....	5
Anexo 2. Participantes .....	8
Anexo 3. Resúmenes.....	9

### 1. ANTECEDENTES

Se ha demostrado que los modelos de edad y crecimiento, y sus estimaciones de la talla asintótica ( $L_{\infty}$ ), son altamente influyentes en la evaluación de la condición del atún patudo en los modelos de evaluación integrados. Aunque existen diferencias documentadas en las características del ciclo vital de las poblaciones de patudo del Océano Pacífico oriental (OPO) y el Océano Pacífico occidental y central (OPOC), la magnitud de las discrepancias en los datos estimados de talla por edad, modelos de crecimiento y estimaciones de  $L_{\infty}$  usadas en las evaluaciones recientes de la CIAT y la Comisión de Pesca del Pacífico Central y Occidental (WCPFC), junto con las diferencias significativas en la interpretación de la condición de la población de patudo a través del Océano Pacífico, es motivo de preocupación.

La CIAT recibió fondos para organizar un taller para evaluar diferencias en los métodos de estimación de edad y los modelos de crecimiento resultantes utilizados en las evaluaciones actuales del atún patudo por la CIAT y la WCPFC (proyecto E.2.b de la CIAT). Ya que las evaluaciones del atún aleta amarilla del OPO y del OPOC están también muy influenciadas por las estimaciones de crecimiento, también se incluyó la especie en el alcance del taller (ver agenda, Anexo 1).

El taller, celebrado en La Jolla (California, EE. UU.) del 23 al 25 de enero de 2019, fue presidido por Mark Maunder, jefe del Grupo de Evaluación de Poblaciones del personal de la CIAT. Además del personal de la CIAT presente, se invitó a un grupo de científicos externos que participan en estudios de edad y crecimiento de atunes en el OPOC (ver lista de participantes, Anexo 2). Varios participantes dieron charlas como antecedente para las discusiones (las presentaciones están disponibles [aquí](#); ver los resúmenes en el Anexo 3).

El taller abordó los siguientes objetivos:

1. Evaluar las metodologías utilizadas para contar los incrementos diarios y anuales en los otolitos de los atunes patudo y aleta amarilla del Pacífico oriental y occidental;
2. Comparar conteos de incrementos diarios y anuales a partir de pares de otolitos de ambas especies;
3. Comparar tasas de crecimiento a partir de datos de talla por edad basados en conteos de

- incrementos en otolitos con tasas derivadas de datos de marcado;
4. Evaluar los modelos de crecimiento utilizados en evaluaciones del patudo y aleta amarilla en el OPO y en el OPOC;
  5. Con base en los objetivos 1-4, desarrollar un plan de trabajo para resolver cualquier problema científico y técnico que pueda surgir de las evaluaciones y comparaciones consideradas en el taller.

El presente informe resume los puntos clave señalados por el personal de la CIAT durante las discusiones, junto con las recomendaciones del taller para su inclusión en un plan de trabajo.

## **2. PUNTOS CLAVE**

En el taller se identificaron varios problemas en relación con los estudios de edad y crecimiento, muchos de los cuales pueden abordarse mediante la recolección de más datos y la realización de más estudios de validación directa. Deberían recolectarse datos adicionales de determinación de edad para cubrir la distribución espacial de las poblaciones y para ver si las tasas de crecimiento han cambiado a lo largo del tiempo, ya que parece haber variación espacial y temporal en las tasas de crecimiento. También es necesario recolectar datos de peces más viejos para informar las estimaciones de talla asintótica. En general, esto requerirá que se recuperen marcas después de largos periodos en libertad, marcar individuos grandes, o validar la formación de incrementos en otolitos de individuos viejos. Se necesita un esfuerzo considerable para garantizar datos de recaptura fiables, incluyendo personal dedicado en puertos de descarga. Las correlaciones entre el peso de los otolitos y la talla de los peces podrían ser útiles para investigar la distribución espacial en el crecimiento. Los otolitos de peces con marcas archivadoras permitirán investigar si el crecimiento es afectado por condiciones espaciales o ambientales. Se debería considerar la creación de un banco de tejidos (otolitos, espinas, vértebras, tejidos, estómagos, gónadas, etc.) para el OPO a fin de proporcionar datos para análisis futuros.

Los estudios actuales de validación directa de las tasas diarias y anuales de deposición de incrementos en otolitos de los atunes patudo y aleta amarilla están limitados en espacio, tiempo y rango de edad, y deberían extenderse para una mejor cobertura. Sin embargo, antes de que se lleven a cabo estudios de validación extensos, los protocolos de determinación de edad deben perfeccionarse y describirse detalladamente. Varios aspectos de los protocolos pueden causar sesgos. En particular, el método de incrementos diarios que utiliza secciones frontales debe ser validado en el OPOC, y la determinación de la edad anual debe ser validada para ambas especies en todo el Pacífico. Con el fin de facilitar la validación, los futuros programas de marcado deberían considerar el marcado químico de los peces al momento de su liberación, con oxitetraciclina (OTC), por ejemplo.

También se deberían realizar investigaciones para comprender mejor la relación entre la formación de incrementos y la edad. Por ejemplo, comprender los mecanismos de formación de incrementos ayudaría a interpretar las lecturas de edad. Las fechas de eclosión y el periodo de formación de incrementos anuales son inciertos y deberían tenerse más en cuenta al desarrollar métodos de determinación de edad anual. Debería investigarse el ancho de los incrementos para proporcionar información sobre los patrones de crecimiento y para la estimación de parámetros. Se debería considerar el uso de incrementos diarios, que son más precisos, para determinar la edad de los atunes patudo y aleta amarilla de hasta 4 años, para los que se han validado incrementos diarios en el OPO. Los conteos de incrementos anuales, después de los estudios de validación, deberían ser considerados para la determinación directa de la edad de individuos más viejos de ambas especies en el Pacífico.

Es necesario desarrollar más los métodos para analizar los datos e incluirlos en los modelos de evaluación de poblaciones. Se deberían utilizar simultáneamente estimaciones de edad a partir de otolitos y datos de marcado de alta confianza en los modelos de crecimiento integrados. Las estimaciones de edad-talla

predichas en las evaluaciones de poblaciones deberían agruparse para que coincidan con la escala de edad apropiada en los datos observados (por ejemplo, agrupar las edades trimestrales en la evaluación en edades anuales para que se ajusten a los datos anuales de otolitos). La integración de la estimación del crecimiento en el modelo de evaluación de poblaciones se beneficiaría del desarrollo de la funcionalidad para incluir datos de marcado de incrementos de crecimiento. Sin embargo, todos los tipos de datos de crecimiento deberían ser analizados fuera del modelo, simultánea e independientemente, como una verificación de diagnóstico. Se deben tomar en cuenta los errores de medición en las mediciones de talla (o tiempo en libertad o lugar de recaptura) de los datos de marcado (por ejemplo, utilizar únicamente datos fiables (de alta confianza) o modelar explícitamente los errores de medición). El encogimiento de los peces debido a la muerte, congelación y descongelación, así como los errores de medición, deben considerarse adecuadamente en todos los datos (marcado, composición por talla, etc.). Se deberían tomar en consideración patrones de crecimiento complejos para abordar la deceleración del crecimiento en tallas pequeñas.

### **3. AVANCES HACIA LOS OBJETIVOS**

**Objetivo 1.** *Evaluar las metodologías utilizadas para contar los incrementos diarios y anuales en los otolitos de los atunes patudo y aleta amarilla del Pacífico oriental y occidental*

Una reunión técnica planeada para un pequeño grupo de expertos de la CIAT y la WCPFC para comparar metodologías de determinación de edad a partir de incrementos diarios y anuales en otolitos tuvo que posponerse debido al cierre del Gobierno Federal de Estados Unidos. Sin embargo, algunos aspectos se evaluaron con base en las presentaciones y discusiones. Este trabajo se continuará lo antes posible.

**Objetivo 2.** *Comparar conteos de incrementos diarios y anuales a partir de pares de otolitos de ambas especies*

Se presentaron evaluaciones de conteos de incrementos diarios y anuales en pares de otolitos de atunes patudo y aleta amarilla del OPO (Anexo 3). Ambas evaluaciones mostraron estimaciones más elevadas de edad para peces de más de 130 cm, para las edades decimales a partir de conteos de incrementos anuales en comparación con las estimaciones a partir de conteos de incrementos diarios. Se llevará a cabo más trabajo sobre ambas especies en la reunión técnica pospuesta.

**Objetivo 3.** *Comparar tasas de crecimiento a partir de datos de talla por edad basados en conteos de incrementos en otolitos con tasas derivadas de datos de marcado para los atunes patudo y aleta amarilla del OPO y del OPOC*

Se encontraron y discutieron algunas discrepancias en las tasas de crecimiento estimadas a partir de conteos de incrementos diarios o conteos de zonas anuales de otolitos del atún patudo, y datos de marcado, del OPO y del OPOC, respectivamente. La separación de las liberaciones de marcas en el OPO en 95°O y 140°O (también diferentes periodos de liberación) mostró diferentes tasas de crecimiento a pesar del desplazamiento predominante hacia el este de los peces marcados en 140°O. Los datos de 95°O fueron similares a los datos de incrementos diarios en otolitos. Los datos de marcado del atún patudo del OPO sugieren crecimiento en dos etapas, pero los datos diarios de otolitos no lo sugieren. Los datos de marcado del OPOC incluían peces más grandes que los observados en el conjunto de datos de otolitos y el modelo de crecimiento integrado que usó los datos de otolitos y de marcado produjo una  $L_{\infty}$  estimada más alta que los análisis de datos de otolitos por sí solos. Las comparaciones de las tasas de crecimiento del atún aleta amarilla a partir de datos de talla por edad basados en conteos de incrementos en otolitos con tasas derivadas de datos de marcado en el OPO y el OPOC están basadas en datos limitados, pero mostraron algunas discrepancias.

**Objetivo 4.** *Evaluar los modelos de crecimiento utilizados en evaluaciones de patudo y aleta amarilla en el OPO y el OPOC*

Los modelos de crecimiento ignoran la variación espacial. Hay algunas inconsistencias en los datos de composición por talla usados en los modelos de evaluación y crecimiento. Los resultados de las evaluaciones y las recomendaciones de ordenación son sensibles a  $L_{\infty}$ . Las diferencias en la  $L_{\infty}$  usada en las evaluaciones del patudo en el OPO y el OPOC son representativas de la composición por talla de estas poblaciones, ya que los peces del OPO alcanzan tallas mayores. Aún hay incertidumbre en las estimaciones de  $L_{\infty}$ , y es necesario recolectar más datos.

**Objetivo 5.** *Con base en lo anterior, desarrollar un plan de trabajo para resolver cualquier problema científico y técnico que pueda surgir de las evaluaciones y comparaciones consideradas en el taller.*

Ver las recomendaciones que figuran a continuación.

#### **4. RECOMENDACIONES**

- a. Celebrar, lo antes posible, un taller técnico para comparar metodologías e intercambiar otolitos adicionales del OPO y del OPOC.
- b. Incluir los siguientes elementos en el plan de trabajo:
  - i. Mejorar y documentar los protocolos de determinación diaria y anual de la edad.
  - ii. Realizar análisis espaciales basados en el peso de los otolitos, utilizando todos los otolitos disponibles.
  - iii. Extender la validación de los conteos diarios y anuales en otolitos al Pacífico entero, incorporando algunas marcas de oxitetraciclina (OTC) en los programas de marcado.
  - iv. Ampliar la distribución espacial/temporal/por talla/sexo de los datos de incrementos diarios en otolitos del OPO.
  - v. Desarrollar evaluaciones en el Pacífico entero que puedan adaptar la variación espacial en las tasas de crecimiento y reflejar hipótesis de la estructura y desplazamiento de las poblaciones.

## Anexo 1. Agenda

# COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL TALLER SOBRE EDAD Y CRECIMIENTO DE LOS ATUNES PATUDO Y ALETA AMARILLA EN EL OCÉANO PACÍFICO

La Jolla, California (EE. UU.)  
23-25 de enero de 2019

## AGENDA

### Miércoles, 23 de enero

1. 0900: Presentaciones, notificaciones, antecedentes, objetivos, productos  
*(Mark Maunder, Presidente)*
2. **Patudo: Investigaciones de las tasas diarias y anuales de deposición de incrementos en otolitos y su utilidad para la estimación de edad y crecimiento**  
0930: Investigaciones de las tasas diarias y anuales de deposición de incrementos en otolitos y su utilidad para la estimación de edad y crecimiento de los peces  
*(Chris Francis)*  
1000: Tasas diarias de deposición: experimentos de marcado con oxitetraciclina  
*(Daniel Fuller)*  
1100: Tasas anuales y diarias de deposición: experimentos de marcado con estroncio  
*(Jessica Farley)*  
1130: Discusión
3. **Patudo: Estimación de edad basada en conteos de incrementos en otolitos**  
1300: OPO *(Dan Fuller)*  
1330: OPOC *(Jessica Farley)*  
1400: Retos en el 'arte' de determinar edad: un breve historial de 20 años de trabajo en estudios de estimación de edad, enfocando las dificultades en estudios recientes de patudo del OPO y OPOC usando conteos anuales de incrementos en otolitos  
*(Kyne Krusic-Golub)*  
1430: Discusión
4. **Patudo: Evaluaciones de conteos de incrementos diarios y anuales en otolitos**  
1530: OPO *(Kurt Schaefer)*  
1600: OPOC *(Jessica Farley)*  
1615: Plan de trabajo para un ejercicio colaborativo WCPFC-IATTC de determinación de edad  
*(Jessica Farley)*  
1630: Discusión

### Jueves, 24 de enero

5. **Patudo: Comparaciones de tasas de crecimiento derivadas de datos de marcado y de**

**conteos de incrementos en otolitos**

- 0900: OPO (Haikun Xu)  
0930: OPOC (Matthew Vincent)  
1000: Discusión

**6. Patudo: Modelos de crecimiento utilizados actualmente en las evaluaciones de poblaciones de la CIAT y la WCPFC y consideraciones a futuro**

- 1100: OPO (Mark Maunder)  
1130: OPOC (John Hampton)  
1300: Estimación del crecimiento de los peces para las evaluaciones de poblaciones usando datos de edad-talla y de marcado e incrementos (Chris Francis)  
1330: Incorporación de múltiples conjuntos de datos en modelos de crecimiento integrados para el patudo en el Pacífico y evaluación de variación espaciotemporal (Paige Eveson)

**7. Patudo: Datos de composición por talla incluidos en las evaluaciones regionales de las poblaciones y sensibilidad de los resultados al valor estimado de  $L_{\infty}$  obtenido de los modelos de crecimiento**

- 1430: OPO (Haikun Xu)  
1500: OPOC (Matthew Vincent)

**8. Patudo: Resolución de discrepancias de edad y crecimiento en el OPO y el OPOC**

- 1530: Sinopsis por el Presidente, discusión  
1630: Conclusiones y recomendaciones

**Viernes, 25 de enero**

**9. Aleta amarilla: Investigaciones de las tasas diarias y anuales de deposición de incrementos en otolitos y su utilidad para la estimación de edad y crecimiento**

- 0900: Tasas diarias de deposición: experimentos de marcado con oxitetraciclina (Jeanne Wexler)  
0930: Discusión

**10. Aleta amarilla: Edad y crecimiento basados en conteos de incrementos en otolitos**

- 1030: OPO (Dan Fuller)  
1100: Estimación preliminar de la edad por talla del aleta amarilla del OPOC basada en conteos de incrementos anuales en otolitos (Jessica Farley)  
1130: Dificultades para determinar la edad de aleta amarilla del OPO y del OPOC usando conteos de incrementos anuales en otolitos (Kyne Krusic-Golub)

**11. Aleta amarilla: Evaluaciones de conteos de incrementos diarios y anuales en otolitos**

- 1300: OPO (Kurt Schaefer)  
1330: OPOC (Jessica Farley)

**12. Aleta amarilla: Estimaciones de tasas de crecimiento derivadas de datos de marcado**

- 1400: OPO (Carolina Minte-Vera)  
1430: OPOC (Graham Pilling)

**13. Aleta amarilla: Modelos de crecimiento utilizados actualmente en las evaluaciones de poblaciones de la CIAT y la WCPFC y consideraciones a futuro**

1530: OPO

*(Carolina Minte-Vera)*

1600: OPOC

*(Graham Pilling)*

1630: Discusión y recomendaciones

**HORARIO:**

0900: Comienzo

1030-1100: Pausa (viernes: 1000-1030)

1200-1300: Almuerzo

1400-1430 Pausa (viernes: 1500-1530)

1700: Cierre

Las presentaciones durarán 20 minutos, más 10 minutos para preguntas/comentarios.

**LUGAR:**

Embassy Suites Hotel, La Jolla

4550 La Jolla Village Drive

San Diego, CA 92122

USA

## Anexo 2. Participantes

Nombre		Afiliación		Correo electrónico
Eveson	Paige	CSIRO	Australia	Paige.Eveson@csiro.au
Farley	Jessica	CSIRO	Australia	Jessica.Farley@csiro.au
Fitchett	Mark	WP Council	EE. UU.	mark.fitchett@wpcouncil.org
Francis	Chris	Consultor	Nueva Zelanda	francischris@protonmail.com
Hampton	John	SPC		JohnH@spc.int
Krusic-Golub	Kyne	CSIRO	Australia	kyne.krusicgolub@fishageingservices.com
Lee	Huihua	NMFS	EE. UU.	huihua.lee@noaa.gov
Matsumoto	Takayuki	FSFRL	Japón	takahiro_fujiwara550@maff.go.jp
Owens	Matt	Tri-Marine	EE. UU.	mowens@trimarinegroup.com
Pilling	Graham	SPC		grahamp@spc.int
Piner	Kevin	NMFS	EE. UU.	kevin.piner@noaa.gov
Quiroz	Juan Carlos	TunaCons	Ecuador	juan.quirozespinoza@utas.edu.au
Satoh	Keisuke	FSFRL	Japón	kstu21@fra.affrc.go.jp
Teo	Steve	NMFS	EE. UU.	steve.teo@noaa.gov
Uozumi	Yuji	FSFRL	Japón	uozumi@japantuna.or.jp
Vincent	Matt	SPC		matthewv@spc.int
Personal de la CIAT				
Maunder	Mark		Presidente	mmaunder@iattc.org
Aires-da-Silva	Alex			alexdasilva@iattc.org
Fuller	Dan			dfuller@iattc.org
Fuller	Leanne			lfuller@iattc.org
Griffiths	Shane			sgriffiths@iattc.org
Hall	Martin			mhall@iattc.org
Lennert-Cody	Cleridy			clennert@iattc.org
Lopez	Jon			jlopez@iattc.org
Minte-Vera	Carolina			cminte@iattc.org
Schaefer	Kurt			kschaefer@iattc.org
Wexler	Jeanne			jwexler@iattc.org
Xu	Haikun			hkxu@iattc.org

### Anexo 3. Resúmenes

#### INVESTIGACIONES DE LAS TASAS DIARIAS Y ANUALES DE DEPOSICIÓN DE INCREMENTOS EN OTOLITOS Y SU UTILIDAD PARA LA ESTIMACIÓN DE EDAD Y CRECIMIENTO

Chris Francis

La charla abordará las siguientes cuestiones:

1. En vez de elegir entre anillos anuales y diarios, deberíamos preguntarnos cuál es el mejor protocolo de determinación de edad para nuestra especie.
2. En un modelo de crecimiento de evaluación de poblaciones de atunes, la descripción de la variación de talla por edad es al menos tan importante como la curva de talla promedio por edad.
3. Necesitamos pensar con más claridad sobre lo que significa validar un protocolo de determinación de edad.

#### EXPERIMENTOS DE MARCADO-RECAPTURA Y MARCADO CON OXITETRACICLINA PARA INVESTIGAR LAS TASAS DIARIAS DE DEPOSICIÓN DE INCREMENTOS EN OTOLITOS DE ATÚN PATUDO

Daniel W. Fuller y Kurt M. Schaefer

Se evaluaron las tasas diarias de incrementos en secciones frontales (primordio-punta posrostral) de otolitos sagitales de atunes patudos utilizando peces marcados con oxitetraciclina (OTC) y recapturados de dos experimentos realizados por la CIAT. El primer experimento se llevó a cabo al suroeste de las islas de Hawái durante 1995 y 1996, donde 1,043 patudos (36-105 cm) fueron capturados, inyectados con OTC, marcados y liberados. Un total de 46 pares de otolitos fueron recuperados de un total de 101 devoluciones de marcas (9.7%). El segundo experimento se realizó en aguas ecuatoriales del Pacífico oriental durante 2000 y 2002 a 2004, donde 1,094 patudos (46-139 cm) fueron capturados, inyectados con OTC, marcados y liberados. Un total de 81 pares de otolitos fueron recuperados de un total de 424 devoluciones de marcas (38.8%).

Se seleccionó un subconjunto de 70 otolitos de los 127 pares para obtener una muestra amplia tanto de talla furcal (38-135 cm) como de días en libertad (15-551 días). Los otolitos se montaron en bloques de resina epoxi y se seccionaron con una sierra IsoMet de baja velocidad con hojas de diamante. Las secciones fueron montadas en portaobjetos con pegamento termoplástico Crystalbond y pulidas para obtener una sección delgada y sin rayaduras (~10 micras). Los otolitos fueron observados con un aumento de 900x bajo luz ultravioleta para inducir la fluorescencia de la marca de OTC. Los incrementos, desde la marca de OTC hasta la punta posrostral, fueron contados cinco veces cada uno por dos lectores independientes que no tenían conocimiento de los días en libertad.

Una prueba de t de muestras emparejadas no indicó ninguna diferencia significativa entre los conteos de los dos lectores ( $t = -0.13$ ,  $DF = 69$ ,  $P > 0.05$ ). La relación entre el número promedio de incrementos desde la marca de OTC hasta la punta posrostral y los días en libertad es:  $I = 0.9998D - 1.0353$  ( $r^2 = 0.999$ ,  $n = 70$ ), donde I es el número de incrementos contados y D son los días en libertad. La pendiente no es significativamente diferente de 1 ( $t = 0.06$ ,  $DF = 69$ ,  $P > 0.05$ ), lo que indica que el atún patudo (38-135 cm) deposita incrementos diarios en los otolitos sagitales a lo largo del primordio al eje posrostral.

## **TASAS ANUALES Y DIARIAS DE DEPOSICIÓN DE INCREMENTOS DEL PATUDO: EXPERIMENTOS DE MARCADO CON ESTRONCIO**

**Jessica Farley**

Esta presentación describe el trabajo realizado por CSIRO y SPC para desarrollar técnicas para validar las estimaciones de edad anual y diaria del atún patudo mediante un experimento de marcado-recaptura con cloruro de estroncio. Se llevaron a cabo tres programas de marcado en el Mar del Coral en la década de 1990 y a principios de la década de 2000. Como parte del programa, atunes patudos (y aletas amarillas) fueron capturados, inyectados con una solución de cloruro de estroncio (250 mg g<sup>-1</sup> de peso corporal) y liberados. En total se recapturaron 34 patudos después de haber estado en libertad por 207 días a 6.6 años, y se obtuvieron los otolitos. Los peces eran de 72-125 cm TF al momento de liberación y 85-157 cm al momento de recaptura. De los otolitos recolectados, se seccionaron 11 (de manera transversal) y se examinaron utilizando un microscopio electrónico de barrida (MEB) para encontrar la marca de estroncio. El número de incrementos “anuales” visibles en los otolitos después de la marca fue igual al rango esperado, o estuvo dentro del mismo, dado el tiempo en libertad, para todos los peces. Este experimento de validación mostró que del segundo al noveno incremento en los otolitos fueron depositados anualmente. El número de incrementos “diarios” contados en los otolitos después de la marca subestimó los días en libertad por 7.7% a 29.4% (18.6% promedio), al ser observados con el MEB. Esta subestimación podría explicarse hasta cierto punto por una interrupción del crecimiento después del marcado. Sin embargo, la alta subestimación de la edad y la baja confianza asignada a los conteos de otolitos de los peces más grandes analizados indican que usar patudos marcados con estroncio para validar las estimaciones de edad diaria tiene valor limitado para peces grandes. Sin embargo, la determinación de la edad diaria se usó para confirmar la ubicación de las dos primeras zonas anuales.

## **ESTIMACIÓN DE LA EDAD POR TALLA DEL ATÚN PATUDO DEL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL BASADA EN CONTEOS DE INCREMENTOS DIARIOS EN OTOLITOS**

**Daniel W. Fuller y Kurt M. Schaefer**

Experimentos de marcado y de marcado con oxitetraciclina (OTC) realizados en el Océano Pacífico oriental (OPO) y central demostraron que el atún patudo de 38 a 135 cm deposita incrementos diarios desde el primordio hasta el eje posrostral de sus otolitos sagitales. Si se supone que el atún patudo deposita incrementos a la misma tasa diaria cuando mide menos de 38 cm y más de 135 cm, las estimaciones de edad a partir de conteos de incrementos diarios proporcionarán estimaciones exactas de edad por talla hasta 150 cm aproximadamente. El objetivo de este estudio fue usar conteos de incrementos diarios validados a lo largo del primordio – eje posrostral para estimar la edad por talla de atunes patudos capturados en el OPO.

Se recolectaron otolitos sagitales de 378 patudos entre 2000 y 2004, en todo el ámbito de la pesquería de superficie entre 5°29'N y 16°05' S y 84°23' O y 142°27' O. Los otolitos seleccionados se montaron en bloques de resina epoxi y se seccionaron en el primordio – eje posrostral, y se montaron en portaobjetos con pegamento termoplástico Crystalbond. Las secciones montadas se pulieron a mano para obtener secciones delgadas (5-15 micras), claras y sin rayaduras. Una imagen digital compuesta de la ruta de conteo fue creada usando una cámara digital Diagnostic Instruments SPOT RT y el software Image Pro Plus, que produjeron un aumento final de 1425x. Los conteos se hicieron desde el primordio hasta la punta

posrostral usando Image Pro Plus. Se marcaron los incrementos a lo largo del transecto de la ruta de conteo y se midieron los anchos de los incrementos.

En total, se analizaron 254 otolitos sagitales de atunes patudos para proporcionar estimaciones directas de sus edades en días. Los conteos de incrementos diarios para el atún patudo (30.4 a 149.1 cm) oscilaron entre 139 a 1453 d (0.4 a 3.98 años). El ancho promedio de los últimos 50 incrementos de los 20 patudos más viejos en este estudio fue de  $2.51\mu$  (rango  $1.59\mu$  a  $3.74\mu$ ), que es bastante superior al límite de la resolución óptica de  $\sim 0.3\mu$ . Esto sugiere que podría ser posible, usando los métodos empleados en este estudio, derivar estimaciones de edad para patudos de más de 150 cm (4 años), mas sería necesario más trabajo de validación. Un MAG se ajustó a los datos de edad por talla para hembras y machos y los resultados indicaron que no existen diferencias significativas en la edad por talla entre los dos sexos.

### **ESTIMACIÓN DE LA EDAD POR TALLA DEL ATÚN PATUDO DEL OPOC BASADA EN CONTEOS DE INCREMENTOS ANUALES EN OTOLITOS**

**Jessica Farley**

Esta presentación describió el trabajo realizado por CSIRO y SPC sobre la edad y crecimiento del patudo en el OPOC. Se seleccionaron otolitos de peces capturados entre  $120^{\circ}\text{O}$ - $150^{\circ}\text{E}$  y  $10^{\circ}\text{N}$ - $40^{\circ}\text{S}$ . Los otolitos fueron preparados y leídos por el laboratorio Fish Ageing Services mediante protocolos validados de determinación de edad anual basados en conteos de zonas opacas en secciones transversales. La talla de los peces osciló entre 28 y 192 cm TF y los conteos de zonas oscilaron entre 0 y 14 ( $n=1186$ ). Se estimó una edad decimal para cada pez con un algoritmo que usó los conteos de zonas, una fecha de nacimiento nominal, la fecha de captura y el grado de terminación del incremento marginal (clasificación de borde) del otolito. Después de analizar varias opciones, se seleccionó el 1 de julio como fecha de nacimiento. Con base en el análisis de tipo de borde y el incremento marginal, se determinó que las zonas opacas se completan entre abril y septiembre, y se usó el 1 de julio como el punto para ajustar los conteos de zonas opacas para asignar individuos en su clase de edad correcta. Las edades anuales oscilaron entre 0.25 y 14.6 años. También se obtuvieron estimaciones de edad diaria para 70 peces a partir de conteos de microincrementos en otolitos seccionados longitudinalmente. Sin embargo, fue difícil interpretar las secciones de otolitos después de 300 zonas y sólo se incluyeron edades diarias de peces de  $< 1$  de edad en el análisis final de crecimiento. Las estimaciones de edad anual y diaria se combinaron con estimaciones históricas de edad diaria (edad  $< 1$  año) para obtener parámetros de crecimiento de von Bertalanffy para la población de patudo en el OPOC. La estimación de  $L_{\infty}$  resultante fue de 156.9 cm TF, que es considerablemente más baja que la usada en evaluaciones de poblaciones anteriores.

### **RETOS EN EL 'ARTE' DE DETERMINAR EDAD: UN BREVE HISTORIAL DE 20 AÑOS DE TRABAJO EN ESTUDIOS DE ESTIMACIÓN DE EDAD, ENFOCANDO LAS DIFICULTADES EN ESTUDIOS RECIENTES DE PATUDO DEL OPO Y DEL OPOC USANDO CONTEOS ANUALES DE INCREMENTOS EN OTOLITOS**

**Kyne Krusic-Golub**

Aunque el crecimiento rápido inicial de las especies de atún es único, muchos de los retos que se encuentran en la determinación de edad de las especies de esta familia no se limitan sólo al atún. Durante los últimos más de 20 años que he trabajado en este campo de investigación, he tenido la oportunidad de

examinar otolitos de >250 especies diferentes para determinar edades anuales y más de 60 especies para determinar edades diarias. Durante este tiempo, he hecho muchas observaciones relacionadas con el campo de la estimación de la edad. Esta presentación expone varias observaciones clave que se espera sean relevantes para este taller, con la esperanza de que puedan proporcionar antecedentes sobre puntos clave de discusión que puedan surgir. La segunda parte de la presentación se centra en las dificultades encontradas con la determinación de la edad del patudo y proporciona contexto de cómo los esfuerzos para validar y verificar el método de determinación de edad para esta especie en el OPOC han ayudado a resolver algunas de estas dificultades.

## **EVALUACIONES DE CONTEOS DE INCREMENTOS DIARIOS Y ANUALES EN OTOLITOS DE ATÚN PATUDO CAPTURADO EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL**

**Kurt Schaefer, Daniel Fuller, y Keisuke Satoh**

Los objetivos de esta investigación son evaluar las diferencias aparentes en las estimaciones de edades derivadas de conteos de incrementos diarios y anuales en pares de otolitos de atún patudo (BET), incluyendo muestras de pares de otolitos del Océano Pacífico oriental (OPO), para ayudar a esclarecer la base de las discrepancias en los modelos de crecimiento del patudo para el OPO y el Océano Pacífico occidental y central (OPOC).

Se realizó una comparación directa entre los conteos de incrementos anuales y diarios usando los mismos 70 pares de otolitos de BET de 80-150 cm TF, recolectados en el OPO ecuatorial, principalmente entre 2N a 6S y 95O a 130O, durante diciembre de 2000 a diciembre de 2001. Las comparaciones de los conteos de incrementos diarios se hicieron con los conteos de zonas anuales y con los conteos anuales ajustados a edades decimales. Se llevó a cabo otra comparación de las edades decimales de 133 BET (112-207 cm) capturados en el OPO sur, principalmente entre 6S-16S y 86O-119O, durante julio de 2012 a enero de 2016, con los conteos de incrementos diarios en otolitos para los mismos 70 BET mencionados anteriormente (80-150 cm TF). Las edades decimales de los BET de más de 150 cm TF fueron comparadas con el modelo de crecimiento integrado para BET del OPO, incluyendo datos de marcado de alta confianza para peces de 150-201 cm.

Las comparaciones de estimaciones de edad decimal diaria y anual de los 70 pares de otolitos de BET muestran una aparente sobreestimación sistemática de las edades de los peces de 130-150 cm, para las edades decimales comparadas con las estimaciones derivadas de conteos de incrementos diarios.

Para BET de 120-150 cm, las estimaciones de edad decimal del OPO sur son en promedio 1.3 años (rango: -0.3 – 3.6 años) mayores en comparación con la edad por talla estimada para el BET del OPO ecuatorial basada en el modelo de crecimiento integrado. Para BET de 150-200 cm del OPO sur, los conteos de incrementos anuales ajustados en promedio sobreestiman la edad por talla por 2.4 años (rango: -2.6 – 12.5 años) en comparación con la edad por talla estimada por el modelo de crecimiento integrado del BET del OPO ecuatorial.

Parece haber problemas de base en la distinción objetiva de los incrementos anuales con base en las evaluaciones comparativas de los 70 pares de otolitos de BET de 80-150 cm del OPO ecuatorial. Aparentemente, no hay incrementos anuales perceptibles en los otolitos de BET de menos de 2 años de edad y aproximadamente 110 cm. También parece que los incrementos anuales en BET más grandes son difíciles de distinguir, lo que incrementa la inexactitud de la estimación de la edad de BET usando incrementos anuales.

## **EVALUACIÓN DE CONTEOS DE INCREMENTOS DIARIOS Y ANUALES EN PARES DE OTOLITOS DE PATUDO DEL OPOC**

**Jessica Farley**

Esta presentación se centró en los resultados de un estudio que comparó las estimaciones de edad diaria y anual de pares de otolitos de 35 atunes patudos del OPOC. El trabajo fue parte de un estudio más amplio de cuatro especies de atún realizado por Williams et al. (2013) (doi:10.1093/icesjms/fst093). La talla de los peces estudiados osciló entre ~50-175 cm de talla furcal. Los conteos de zonas opacas (edad anual) se obtuvieron a partir de secciones transversales de un otolito y los conteos de microincrementos (edad diaria) se obtuvieron a partir de secciones transversales y frontales de los otolitos hermanos en cada par. La edad anual fue generalmente mayor que la edad diaria (tanto en las secciones transversales como en las frontales) en los peces de más de dos años. No se pudo obtener la edad diaria de un pez de 14 años (175 cm) debido a la poca legibilidad del otolito. Se señaló que es necesario seguir trabajando para comparar métodos de determinación de edad.

## **PLAN DE TRABAJO PARA UN EJERCICIO INTERLABORATORIOS DE DETERMINACIÓN DE EDAD Y REUNIÓN TÉCNICA: COMPARACIÓN DE ENFOQUES DE DETERMINACIÓN DE EDAD ENTRE LA WCPFC Y LA CIAT**

**Jessica Farley**

Esta presentación describió el trabajo emprendido por CSIRO, Fish Ageing Services (FAS) y la CIAT para evaluar y mejorar la consistencia en los métodos de determinación de edad con otolitos para el BET y el YFT. El Taller de Preevaluación de la SPC de 2018 señaló que existen diferencias en las estimaciones de talla por edad a partir de conteos diarios en todo el Pacífico y recomendó que se organice un taller interlaboratorios sobre determinación de edad para comparar técnicas y estimaciones de edad, a fin de estandarizar los enfoques. El plan de trabajo es que los laboratorios (1) lean otolitos marcados con estroncio u oxitetraciclina (OTC) del OPOC para validar edades diarias/anuales, (2) comparen directamente las estimaciones de edades diarias y anuales de otolitos hermanos, y (3) comparen directamente estimaciones de edades diarias de los mismos otolitos. Se seleccionaron otolitos para el análisis y un otolito o secciones de otolitos se enviaron a la CIAT para su preparación y/o lectura. Los otolitos hermanos fueron preparados por CSIRO o FAS. Se localizaron las marcas de estroncio/OTC en los otolitos y se capturaron imágenes. Las imágenes fueron enviadas a la CIAT para ayudar a encontrar las marcas en otolitos hermanos. No se pudo realizar el trabajo de determinación de edad en la CIAT debido al cierre del Gobierno Federal de Estados Unidos. El taller interlaboratorios planeado para antes del taller actual de la CIAT sobre edad y crecimiento también fue pospuesto. Está previsto que la preparación/lectura de otolitos y el taller interlaboratorios de determinación de edad concluyan a finales de junio de 2019.

**COMPARACIONES DE TASAS DE CRECIMIENTO BASADAS EN TALLA DE MODELOS AJUSTADOS POR SEPARADO A DATOS DE MARCADO DE ALTA CONFIANZA Y DATOS DE TALLA POR EDAD BASADOS EN CONTEOS DE INCREMENTOS DIARIOS EN OTOLITOS DE PATUDO DEL OPO**

**Haikun Xu**

La evaluación actual de la población de atún patudo en el Océano Pacífico oriental usa el modelo de crecimiento de Richard, cuyos parámetros son estimados fuera del modelo de evaluación. Específicamente, la estimación se realiza mediante un enfoque integrado que utiliza tanto datos de otolitos de talla por edad como datos de marcado de incremento de talla. En esta presentación comparamos la curva de crecimiento estimada basada en datos de otolitos y de marcado por separado para entender su discrepancia. Los datos de otolitos sugieren una talla asintótica mayor y una tasa de crecimiento menor, mientras que los datos de marcado sugieren una talla asintótica menor y una tasa de crecimiento mayor. El evidente patrón residual en el ajuste a los datos de marcado indica que el modelo de crecimiento de Richard no es todavía lo suficientemente flexible para describir el crecimiento del patudo y que se necesita una mejor curva de crecimiento (por ejemplo, el modelo de cese de crecimiento) en evaluaciones futuras. Además, encontramos que los patrones residuales de los peces marcados en 950 y 1400 son notablemente diferentes. Por lo tanto, podría haber un gradiente longitudinal en la tasa de crecimiento del atún patudo en el Océano Pacífico oriental.

**COMPARACIÓN DE TASAS DE CRECIMIENTO BASADAS EN TALLA DE MODELOS AJUSTADOS POR SEPARADO A DATOS DE MARCADO DE ALTA CONFIANZA Y DATOS DE TALLA POR EDAD BASADOS EN CONTEOS DE INCREMENTOS DIARIOS (EDAD DECIMAL) EN OTOLITOS DE PATUDO DEL OPOC**

**Matthew Vincent**

Se determinaron las edades de otolitos recolectados al oeste de 150°E y se convirtieron a edades decimales; aquéllos con buena legibilidad fueron retenidos, quedando 984 otolitos. De esos otolitos, se determinó la edad de 926 mediante conteos de anillos por FAS, 30 mediante conteos de incrementos diarios por FAS, y 28 mediante conteos de incrementos diarios por la SPC. Una curva de crecimiento de von Bertalanffy se ajustó a los datos de otolitos utilizando métodos bayesianos con antecedentes no informativos. El modelo de von Bertalanffy ajustado solamente a los datos de otolitos arrojó una estimación para  $L_{\infty} = 156.85$ ,  $k = 0.30$ , y  $t_0 = -0.69$ . Los datos de otolitos se filtraron para eliminar los otolitos a los que se les había determinado la edad por conteos de anillos y que tenían menos de 1 año de edad para probar el impacto de la fecha de nacimiento supuesta en el ajuste del modelo. El modelo ajustado a estos datos filtrados fue similar a las estimaciones de los parámetros del conjunto de datos completo. Se usó un modelo de von Bertalanffy que integró datos de marcado y datos de otolitos para estimar parámetros de crecimiento del patudo en el OPOC. Un conjunto de datos de 612 recuperaciones de marcas de alta calidad, medidas por científicos, observadores o muestreadores en puerto, fue incorporado con el conjunto completo de datos de otolitos en un modelo LEP de von Bertalanffy. El modelo supuso un parámetro de efecto aleatorio para la edad de liberación de cada muestra de marca y para la  $L_{\infty}$  para cada otolito y muestra de marca. El modelo arrojó estimaciones de  $L_{\infty} = 161.37$ ,  $k = 0.30$  y  $t_0 = -0.61$ . Los residuales de los datos de marcado tendieron a mostrar que las tallas de recaptura fueron generalmente mayores que la talla predicha por el modelo. La talla observada de las recuperaciones de marcas fue también generalmente mayor que la observada en los datos de otolitos. La estimación de  $L_{\infty}$  fue sensible a la integración de datos de marcado, pero los parámetros  $t_0$  y  $k$  no lo fueron.

## **CRECIMIENTO EN LAS EVALUACIONES DEL OPO**

**Mark Maunder**

Los resultados de las evaluaciones de poblaciones y el asesoramiento de ordenación son sensibles a las estimaciones de crecimiento usadas en las evaluaciones del patudo y aleta amarilla, particularmente la talla asintótica. La curva de crecimiento del atún patudo se estimó usando tanto datos de otolitos de talla por edad como datos de marcado de incremento de crecimiento. Se desarrolló una nueva curva de crecimiento, el modelo de cese de crecimiento, que proporciona mejores estimaciones de la talla asintótica. Sin embargo, esta curva de crecimiento no está disponible actualmente en Stock Synthesis, que se usa para las evaluaciones de la CIAT. Se han desarrollado métodos de ponderación de datos para producir un resultado para el patudo similar al modelo de cese de crecimiento usando la curva de crecimiento de Richards, que sí está disponible en Stock Synthesis. Las modas en los datos de composición por talla para el atún patudo de lances cerqueros sobre objetos flotantes muestran tasas de crecimiento similares a aquéllas estimadas por los datos de otolitos de edad-talla. Se analizaron los datos de composición por talla del patudo de la flota palangrera de 1950 (cuando la población estaba poco explotada) para estimar la talla asintótica. Las estimaciones de la talla asintótica fueron inferiores a las utilizadas en la evaluación, pero fueron sensibles al valor supuesto de la variación de la talla por edad. La estimación de máxima probabilidad del parámetro de varianza se consideró inverosímilmente baja. Finalmente, también es importante señalar que la información de crecimiento de los datos de edad-talla estará sesgada por la disponibilidad o selectividad basada en edad o talla, y esto debería considerarse en cualquier estudio o análisis de crecimiento.

## **MODELOS DE CRECIMIENTO UTILIZADOS EN EVALUACIONES RECIENTES DEL ATÚN PATUDO EN EL OPOC Y CONSIDERACIONES A FUTURO**

**John Hampton**

Las evaluaciones recientes del atún patudo en el OPOC han utilizado el software de evaluaciones integradas MULTIFAN-CL, que parametriza el crecimiento como una función de crecimiento de von Bertalanffy con los parámetros L1 (la talla promedio de la clase de edad más joven en el modelo), L2 (la talla promedio de la clase de edad más vieja en el modelo) y K (el coeficiente de crecimiento de Brody). Se pueden estimar, o especificar, dos parámetros adicionales para definir la manera en que la desviación estándar de la talla por edad cambia por clase de edad. En evaluaciones recientes de patudo, el crecimiento se ha estimado con ajustes tanto a los datos de frecuencia de talla como a los de frecuencia de peso que han sido recolectados a lo largo de la historia de la pesquería. En la evaluación más reciente (2017, actualizada en 2018), un gran conjunto de datos de edad por talla basada en otolitos estuvo disponible. Se han utilizado métodos alternativos que fijan el crecimiento en valores de parámetros derivados de análisis externos de los datos de otolitos (el método utilizado para la evaluación de 2017/18), y también integran los datos de otolitos en la evaluación como datos condicionales de edad por talla con una distribución multinominal supuesta. Para este último, los datos se han agregado en clases de edad trimestral usando las estimaciones de edad decimal obtenidas a partir del conteo de anillos en otolitos con una fecha de nacimiento supuesta. Sin embargo, nos hemos dado cuenta de que la fecha de nacimiento común supuesta introduce un artefacto en los datos de edad trimestral, por medio del cual observaciones sólo ocurren cada cuarta clase de edad trimestral. Por lo tanto, un mejor enfoque sería usar los datos en formato de edad anual y configurar MULTIFAN-CL para producir predicciones en este

formato.

Las estimaciones de crecimiento basadas en el análisis independiente de datos de otolitos son bastante diferentes de las estimaciones usadas previamente en las evaluaciones de patudo. Las nuevas estimaciones predicen una  $L_{\infty}$  considerablemente menor y peces generalmente más pequeños en una edad determinada que la curva de crecimiento utilizada en evaluaciones previas. Esto ha impactado las estimaciones de la condición de la población, haciéndolas considerablemente más optimistas que antes.

Las investigaciones futuras sobre crecimiento y su uso en evaluaciones integradas basadas en MULTIFAN-CL se enfocarán en lo siguiente:

- Uso de datos condicionales de edad por talla en modelos de evaluación, con los datos y predicciones equivalentes del modelo configurados en forma de clase de edad anual;
- Inclusión de datos de marcado de incremento de talla en el modelo de evaluación;
- Modelar la variabilidad espacial en el crecimiento utilizando un enfoque de “morfos de crecimiento” (equivalente al crecimiento que se determina genéticamente dependiendo de la región de origen), y a más largo plazo, usando un enfoque de modelado basado en la talla que incorpore matrices de transición de crecimiento estimado específicas por región (equivalentes al crecimiento que se determina ambientalmente de acuerdo con la región que los peces ocupan en cualquier momento).

## **ESTIMACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LOS PECES PARA LAS EVALUACIONES DE POBLACIONES USANDO DATOS DE EDAD-TALLA Y DE MARCADO E INCREMENTOS**

**Chris Francis**

En esta charla ilustraré los problemas que pueden surgir en la estimación del crecimiento a partir de datos de edad-talla y de marcado considerando algunas de las dificultades que encontré usando el método AMSFc (Francis et al. 2016, Fish. Res. 180: 77-86) con datos para el atún patudo del OPO. Los diagnósticos de bondad de ajuste son importantes, y los factores que los afectan incluyen el encogimiento de los peces (causado por la congelación y descongelación); la inhibición del crecimiento inducida por el marcado; el sesgo de determinación de edad; y el conflicto entre los conjuntos de datos.

## **INCORPORACIÓN DE MÚLTIPLES CONJUNTOS DE DATOS EN MODELOS DE CRECIMIENTO**

**Paige Eveson**

Los modelos de crecimiento que integran más de una fuente de datos son aconsejables porque diferentes fuentes de datos a menudo contienen información sobre diferentes porciones del ciclo vital y diferentes aspectos del crecimiento. Dos fuentes comunes de información de crecimiento son: (i) datos directos de edad y talla, en donde la edad es determinada a partir de otolitos, y (ii) datos de talla de liberación y recaptura y de tiempo en libertad provenientes de experimentos de marcado-recaptura. Aquí presentamos un breve resumen de un método de máxima probabilidad que desarrollamos para ajustar modelos de crecimiento a múltiples conjuntos de datos; similar a otros métodos contemporáneos para modelar el crecimiento usando datos de marcado-recaptura, el componente de marcado-recaptura del modelo maneja la edad desconocida al momento de liberación como un efecto aleatorio (con respecto a un valor fijo de  $t_0$ , donde  $t_0$  es la edad teórica en la que un pez tiene talla 0). Una ventaja de integrar

múltiples fuentes de datos es que puede ayudar a revelar sesgos e inconsistencias en los conjuntos de datos; sin embargo, se debe tener cuidado cuando se utilizan datos de marcado-recaptura. Se utilizaron simulaciones para mostrar que, si hay sesgos en las estimaciones directas de edad, es posible que no se pueda detectar cuando están integradas con los datos de marcado-recaptura debido al hecho de que el componente de marcado-recaptura del modelo no contiene información sobre  $t_0$ , y también puede estimar las edades de liberación (relativas) para ser más compatible con los datos directos de edad. La capacidad del modelo de detectar sesgos/incompatibilidad en los conjuntos de datos de otolitos y de marcado-recaptura dependerá de: (i) la naturaleza del sesgo (por ejemplo, no es posible detectar si las estimaciones directas de edad están sesgadas positiva o negativamente por una cantidad determinada ya que la estimación de  $t_0$  estará sesgada pero el ajuste a los datos de marcado-recaptura no se verán afectados), y (ii) el tamaño de la muestra y los rangos de edad/talla de los conjuntos de datos (por ejemplo, si los rangos de edad/talla de los dos conjuntos de datos no se traslapan mucho, los sesgos serán más difíciles de detectar).

### **INVESTIGACIÓN DE VARIACIÓN ESPACIAL EN EL CRECIMIENTO DEL PATUDO EN EL PACÍFICO BASADA EN DATOS ANUALES DE DETERMINACIÓN DE EDAD**

**Paige Eveson**

Se han observado diferencias en la talla por edad del atún patudo entre el Océano Pacífico oriental y el occidental. Esto podría deberse a diferencias o sesgos en las estimaciones de edad a partir de otolitos, o a diferencias espaciales reales en el crecimiento. Investigamos este tema usando todos los datos anuales de determinación de edad que tenemos para el patudo del Pacífico de otolitos leídos usando el mismo lector y la misma técnica. Un modelo aditivo generalizado (MAG) se ajustó a los datos de talla con edad y (lat,lon) como términos suavizados unidimensionales y bidimensionales, respectivamente. Los resultados sugieren que existen diferencias espaciales significativas en la talla por edad del patudo del Pacífico, y que los peces en el Pacífico oriental tienen una talla promedio mayor para una edad determinada. Sin embargo, los tamaños de las muestras y los rangos de edad/talla por regiones limitados dificultan la realización de una evaluación completa. En un intento por superar el hecho de tener datos limitados, volvimos a ajustar el MAG utilizando el peso de los otolitos en lugar de la edad. La correlación entre el peso del otolito y la edad es fuerte para el patudo ( $r=0.94$ ), y tenemos datos de peso de otolitos de un número razonable de muestras sin estimaciones de edad, particularmente en el Pacífico oriental. Los resultados mostraron un patrón espacial similar, con peces en el Pacífico Oriental con una longitud promedio mayor para un peso de otolito dado; sin embargo, las diferencias no fueron tan grandes.

### **DATOS DE COMPOSICIÓN POR TALLA INCLUIDOS EN LA EVALUACIÓN DEL PATUDO DEL OPO DE LA CIAT Y SENSIBILIDAD DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN AL VALOR ESTIMADO DE L INFINITA**

**Haikun Xu**

La evaluación de la población de atún patudo en el Océano Pacífico oriental se realiza ajustando un modelo de evaluación integrado estructurado por edad a una variedad de conjuntos de datos, incluyendo las composiciones por talla de todas las pesquerías. Debido a un aparente cambio de régimen en el reclutamiento estimado, que se creía que indicaba una especificación errónea del modelo, se reduce la ponderación de todas las composiciones por talla en la evaluación actual por un factor de 20. La

evaluación actual usa un modelo de crecimiento de Richard que se estima fuera del modelo de evaluación. Realizamos un análisis para evaluar la sensibilidad de los resultados del modelo a L2 (talla promedio de patudo de 10 años). La evaluación actual utiliza una L2 de 196 cm y nuestro resultado muestra que tanto los atributos de la población como las cantidades de ordenación son muy sensibles a la L2. Una L2 más baja corresponde a reclutamiento y biomasa reproductora más elevados, así como a una tasa de mortalidad por pesca y una tasa de reducción menores en el año terminal. Este resultado recalca aún más la importancia de especificar con exactitud L2 en la evaluación de la población de atún patudo en el Océano Pacífico oriental.

**DATOS DE COMPOSICIÓN POR TALLA INCLUIDOS EN LA EVALUACIÓN DEL PATUDO DEL OPOC DE LA WCPFC Y SENSIBILIDAD DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN AL VALOR ESTIMADO DE  $L_{\infty}$**   
**Matthew Vincent**

El crecimiento de los peces en MFCL está modelado por una curva de crecimiento de von Bertalanffy que está modelada entre dos edades específicas y permite la estimación de desviaciones de la curva para un número específico de clases de edad. Aproximadamente 0.5% de los datos de composición por talla del patudo usados en la evaluación fueron superiores a 151 cm y menos del 0.01% fueron mayores a 184. Sólo la pesquería de línea de mano de Filipinas y la pesquería de palangre en la región 4 tenían una proporción significativa de las muestras superiores a 151 o 184 cm. En el caso de la pesquería de línea de mano de Filipinas, la mayor proporción de muestras de composición por talla en un año mayores a 151 cm fue del 29%, mientras que menos del 1% fueron superiores a 184 cm. En el caso de la pesquería de palangre en la región 4, la mayor proporción de las muestras de composición por talla mayores a 151 cm fue del 26% en un año, mientras que el 1% de las muestras fueron superiores a 184 cm. El cambio del valor supuesto de  $L_{\infty}$  en la evaluación influyó en las ojivas de madurez y mortalidad natural que se introdujeron en el modelo. El modelo que usó el crecimiento antiguo con  $L_{\infty} = 184$  cm estimó una selectividad en forma de domo para todas las pesquerías de palangre, mientras que el modelo que supuso el modelo de crecimiento actualizado más pequeño estimó curvas de selectividad asintótica para estas pesquerías. El modelo con el crecimiento antiguo estimó que la población estaba alrededor de un 25% más reducida que el antiguo modelo de crecimiento. El análisis preliminar de un modelo condicional de edad por talla sugirió que los valores iniciales de los parámetros de crecimiento podrían influir en gran medida en la estimación final del modelo y en el valor objetivo de la función.

**EXPERIMENTOS DE MARCADO-RECAPTURA Y MARCADO CON OXITETRACICLINA (OTC) PARA INVESTIGAR LAS TASAS DIARIAS DE DEPOSICIÓN DE INCREMENTOS EN OTOLITOS DE ATÚN ALETA AMARILLA**

**Jeanne Wexler, Alex Wild, y Terry Foreman**

Los primeros experimentos exhaustivos de marcado, recaptura y marcado con OTC de otolitos de atún aleta amarilla fueron realizados por Alex Wild y Terry Foreman en 1976 y 1980-1981 en el Océano Pacífico oriental (OPO). Estos experimentos fueron diseñados para examinar la formación y periodicidad de incrementos en otolitos marcados con OTC con el fin de determinar la edad del aleta amarilla con exactitud para los análisis de crecimiento utilizados en las evaluaciones de poblaciones de la CIAT. Los resultados de este trabajo (Wild y Foreman, 1980; Wild et al., 1995) y los análisis de determinación de

edad y crecimiento (Wild, 1986) han sido descritos a detalle.

Esta presentación sirve como un repaso de los experimentos de marcado-recaptura y marcado de otolitos y cómo estos resultados pueden ser aplicables a los estudios actuales de validación, determinación de edad y crecimiento de atunes.

Un total de 10,909 aletas amarillas fueron marcados y liberados de cruceros de cebo vivo fletados y el 32% de estos peces fueron inyectados con OTC. Las tasas de devolución de marcado-recaptura indicaron que las inyecciones de OTC no afectaron la supervivencia de los aletas amarillas marcados de manera consistente, y las tasas de devolución fueron generalmente bastante elevadas tanto para los grupos de tratamiento como los de control, especialmente para el experimento de 1976.

Los números de aletas amarillas usados para el estudio de validación fueron seleccionados con base en la devolución tanto del pez como de la marca, una fecha conocida y fiable de recaptura, y un rango representativo del tiempo transcurrido desde el marcado y la inyección. Se midieron las tallas de recaptura y se extrajeron los pares de otolitos sagitales, sin tejidos, y se secaron antes de guardarlos. Las marcas de OTC se ubicaron con un microscopio epifluorescente compuesto usando luz ultravioleta; se contaron los incrementos, usualmente después del grabado con ácido, en la superficie distal con aumentos de 450-1200x. Los exámenes y análisis preliminares de los otolitos sagitales indicaron que las regiones posrostrales y rostrales proporcionaban las rutas de conteo de incrementos más resolubles y fiables, y que el número de incrementos contados de las marcas de OTC no difería significativamente entre estas dos regiones ni entre el otolito izquierdo y derecho de un par. Sin embargo, los conteos en el borde ventral produjeron significativamente menos incrementos y subestimaron consistentemente los días en libertad de aletas amarillas marcados.

Los resultados de estos experimentos indicaron que los incrementos fueron depositados a razón de uno por día para el atún aleta amarilla de 40-148 cm TF en el OPO. También se discute la validación de los incrementos diarios en los otolitos del atún aleta amarilla en otros océanos. Las tasas de crecimiento se estimaron para los peces inyectados con OTC con base en una curva de crecimiento que relaciona la longitud del otolito con la talla del pez, y a partir de mediciones de los otolitos hacia y desde la marca de OTC, a fin de obtener cambios en la TF a lo largo del tiempo.

Referencias:

- Wild, A. and T.J. Foreman. 1980. The relationship between otolith increments and time for yellowfin and skipjack tuna marked with tetracycline. IATTC Bull. 17(7): 509-560.
- Wild, A. 1986. Growth of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean based on otolith increments. IATTC Bull. 18(6): 423-482.
- Wild, A., J.B. Wexler, and T.J. Foreman. 1995. Extended studies of increment deposition rates in otoliths of yellowfin and skipjack tunas. Bull. Mar. Sci. 57(2): 555-562.

## **ESTIMACIÓN DE LA EDAD POR TALLA DEL ATÚN ALETA AMARILLA DEL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL BASADA EN CONTEOS DE INCREMENTOS DIARIOS EN OTOLITOS**

**Daniel W. Fuller y Kurt M. Schaefer**

Los experimentos de marcado-recaptura en los que se usó oxitetraciclina para evaluar las tasas de deposición de incrementos para el atún aleta amarilla realizados por Wild y Foreman (1980) indicaron que la relación entre el conteo de incrementos y el tiempo desde la marca fluorescente hasta la punta posrostral es de 1 incremento por día. Las estimaciones actuales de la talla por edad del atún aleta amarilla

se derivan de una muestra de 196 peces, de 30-170 cm TF, recolectada entre 1977 y 1979 de buques cerqueros al norte de la línea ecuatorial y al este de 137°O. Con el fin de reevaluar la edad por talla y explorar la posibilidad de variabilidad espaciotemporal en el crecimiento y maduración del atún aleta amarilla en el Océano Pacífico oriental (OPO), la Comisión Interamericana del Atún Tropical inició un programa de muestreo estratificado espacialmente en 2009. El programa utilizó observadores a bordo de buques cerqueros para recolectar otolitos sagitales y ovarios de aletas amarillas hembras. Se ordenó a los observadores muestrear atún aleta amarilla, solamente cuando las temperaturas de la superficie del mar estuvieran por encima de 25°C, hasta 5 peces por lance en doce estratos de 10 cm de largo entre 40 y 160 cm de talla furcal. Entre 2009 y 2016, se recolectaron 1,004 otolitos y 2,461 ovarios de cuatro áreas distintas en el OPO. Estas cuatro áreas se definieron como: (1) un área septentrional al norte de 20°N, (2) un área central en alta mar 5°N - 15°N y al oeste de 105°O, (3) un área costera central 5°N - 15°N y al este de 100°O, y (4) un área meridional al sur de 5°S.

Los otolitos sagitales fueron pesados y medidos, fotografiados y colocados en un molde de plástico de 15mm x 15mm y encapsulados en resina epoxi. Una vez curado, el bloque de epoxi fue removido del molde y el otolito incrustado fue examinado a través del epoxi bajo un microscopio estereoscópico. El primordio y las puntas posrostrales se marcaron en la superficie del bloque de epoxi para asegurar una alineación adecuada para el seccionamiento. El bloque de resina epoxi se posicionó en una sierra de baja velocidad con hojas de diamante y se alineó para obtener una sección que contuviera tanto el primordio como la punta posrostral. Las secciones se montaron en diapositivas utilizando pegamento Crystalbond y se pulieron hasta un grosor de aproximadamente 5-15  $\mu$ . Las secciones pulidas se grabaron durante ~90 segundos con una solución de ácido etilendiaminotetraacético al 5% para mejorar el contraste y la visibilidad de los incrementos individuales. Los incrementos diarios fueron contados en esas secciones de otolitos usando un microscopio compuesto con un aumento de 1000x.

Hasta la fecha, se han realizado conteos de incrementos diarios de 234 otolitos, 128 de la región central en alta mar y 106 de la región costera central. Se utilizó un modelo aditivo generalizado (MAG) para investigar si existen diferencias de edad por talla entre esas dos áreas y la de las 196 muestras recolectadas entre 1977 y 1979.

## **TASAS DIARIAS Y ANUALES DE DEPOSICIÓN DE INCREMENTOS DEL ATÚN ALETA AMARILLA: EXPERIMENTOS DE MARCADO CON ESTRONCIO**

**Jessica Farley**

Esta presentación proporcionó información sobre tres estudios de validación de edad para YFT en el OPOC. En dos estudios se analizaron otolitos enteros de peces de edad conocida mantenidos en condiciones de cautividad en Hawái, y en un estudio se analizaron otolitos marcados con oxitetraciclina de peces marcados en las Islas Salomón. Se validaron estimaciones de edades diarias de 16 YFT pequeños (< 50 cm TF) usando otolitos examinados bajo luz transmitida, y de un YFT mediano usando un microscopio de luz de barrida (90 cm TF). La edad diaria no fue validada en el YFT de 90 cm usando microscopio de luz transmitida. Se obtuvieron diferentes curvas de crecimiento a partir de los tres estudios y no está claro si las diferencias son el resultado de la variación espacial/temporal en el crecimiento o de las diferencias en los métodos de preparación y lectura utilizados por los laboratorios.

## **ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA EDAD POR TALLA DEL ALETA AMARILLA DEL OPOC BASADA EN CONTEOS DE INCREMENTOS ANUALES EN OTOLITOS**

**Jessica Farley**

Esta presentación describió el trabajo preliminar realizado por CSIRO y SPC para estimar la edad y crecimiento del atún aleta amarilla en el OPOC usando otolitos y espinas de aletas. Los principales objetivos del proyecto son desarrollar protocolos de determinación de edad para el atún aleta amarilla y leer 1,500 otolitos para la estimación de la edad anual. Se seleccionaron 40 otolitos y espinas para el trabajo de prueba de peces de tallas comprendidas entre 30 y 172 cm TF. Los conteos de zonas opacas oscilaron entre 0 y 13. Una comparación de los conteos de zonas de otolitos y espinas mostró que las espinas son útiles para verificar la ubicación de los primeros tres incrementos en los otolitos, pero las espinas no son adecuadas para la estimación de la edad anual más allá de los tres años, ya que se pierden las zonas tempranas debido a la resorción y vascularización. Se observaron microincrementos claros (se supone que son diarios) en otolitos cercanos al primordio, pero hubo una interrupción en los incrementos ~150-180 que sugiere que los conteos de microincrementos no son útiles para determinar la edad de aletas amarillas grandes/viejos en el OPOC. Es necesario seguir trabajando para validar los protocolos de determinación de edad anual, incluyendo la examinación de otolitos marcados con cloruro de estroncio y OTC y el análisis de incrementos marginales.

## **DETERMINACIÓN DE LA EDAD ANUAL DEL ATÚN ALETA AMARILLA: SITUACIÓN ACTUAL**

**Kyne Krusic-Golub**

La determinación de la edad del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) a partir de conteos anuales en otolitos seccionados se encuentra aún en su etapa inicial. Los resultados preliminares de Lang et al (2017) y Shin et al (2014) sugieren que el crecimiento del atún aleta amarilla podría ser mucho más lento de lo que se supone actualmente. Además, los resultados preliminares de la lectura de un conjunto de otolitos recolectados de aletas amarillas grandes capturados en la Isla Ascensión sugieren que esta especie podría tener una longevidad de más de 20 años. Esta presentación detalla la determinación de la edad completada hasta ahora en un conjunto de 40 otolitos recolectados en el Pacífico occidental y central y otro conjunto de 68 otolitos recolectados en el Pacífico oriental.

## **EVALUACIONES DE CONTEOS DE INCREMENTOS DIARIOS Y ANUALES EN OTOLITOS DE ATÚN ALETA AMARILLA CAPTURADO EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL**

**Kurt Schaefer y Daniel Fuller**

Se realizó una comparación directa entre los conteos de incrementos diarios y los conteos de incrementos anuales en otolitos, tanto no ajustados como ajustados a edades decimales, para pares de otolitos de 67 atunes aleta amarilla (YFT) (80-157 cm) capturados en el Océano Pacífico oriental tropical (OPOT), principalmente entre 6°N-16°N y 92°O-140°O, durante enero de 2009 a noviembre de 2012.

Las comparaciones de las estimaciones de edad diaria y anual de los 67 pares de otolitos de YFT muestran una tendencia aparente a subestimar las edades de los peces de 80-105 cm, a partir de conteos de

incrementos anuales no ajustados en comparación con las estimaciones a partir de conteos de incrementos diarios. Sin embargo, hay algunas muestras en las que los incrementos anuales sobreestiman la edad. Para el YFT > 110 cm, las estimaciones de edad anual están sobrestimando sistemáticamente la edad por talla.

Aplicar el algoritmo que incluye la fecha de nacimiento supuesta y el tipo de borde del otolito para proporcionar una estimación de edad decimal reduce la cantidad de sobreestimación de los conteos anuales de YFT de menos de 110 cm. Las edades decimales ajustadas de los conteos de incrementos anuales para YFT >110 cm sobreestiman sistemáticamente la edad por talla. Para el YFT > 120 cm, las estimaciones de edad anual ajustadas son en promedio 1.9 años (rango: 0.8-4.7 años) mayores en comparación con la edad por talla estimada a partir de los conteos de incrementos diarios.

Parece haber problemas fundamentales en la distinción objetiva de los incrementos anuales con base en las evaluaciones comparativas de los 67 pares de otolitos de YFT de 80-157 cm del OPO. Aparentemente, no hay incrementos anuales perceptibles en los otolitos de YFT de menos de 2 años de edad y aproximadamente 110 cm. También parece que los incrementos anuales en YFT de más de 110 cm aproximadamente son difíciles de distinguir, lo que incrementa la inexactitud de la estimación de edad usando incrementos anuales.

#### **EVALUACIÓN DE CONTEOS DE INCREMENTOS DIARIOS Y ANUALES DE PARES DE OTOLITOS DE ALETA AMARILLA DEL OPOC**

**Jessica Farley**

Se hizo una presentación muy breve en la que se describió una comparación de estimaciones de edad diaria y anual de pares de otolitos de 30 aletas amarillas del OPOC. Este trabajo también fue parte de un estudio más amplio de cuatro especies de atún realizado por Williams et al. (2013) (doi:10.1093/icesjms/fst093). La talla de los peces estudiados osciló entre ~50-140 cm de talla furcal. Tal como se encontró para el patudo, la edad anual fue generalmente mayor que la edad diaria para los peces de más de dos años. Una vez más, es necesario seguir trabajando para seguir comparando los métodos de determinación de edad.

#### **ALETA AMARILLA: ESTIMACIONES DE TASAS DE CRECIMIENTO DERIVADAS DE DATOS DE MARCADO EN EL OPO**

**Carolina Minte-Vera**

Se usaron los datos de marcado para el atún aleta amarilla con información de alta confianza sobre la talla al momento de recaptura para estimar un modelo de crecimiento, en combinación con los datos de otolitos de talla por edad de Wild (1986). El modelo ajustado a los datos de marcado y los datos de otolitos apoyó una talla asintótica menor y una tasa de crecimiento mayor que el modelo ajustado únicamente a los datos de otolitos. Los dos conjuntos de datos no parecen compatibles entre sí. Las diferencias en el crecimiento estimado pueden deberse a (1) cambios en las tasas de crecimiento a lo largo del tiempo (los datos de marcado son de 2000 en adelante, los datos de otolitos son de finales de la década de 1970), (2) el efecto del encogimiento de los peces causado por la muerte, la congelación y la descongelación, (3) diferentes lugares de muestreo de los datos de otolitos y de marcado.

## **ESTIMACIONES DE TASAS DE CRECIMIENTO DEL ALETA AMARILLA DEL OPOC DERIVADAS DE DATOS DE MARCADO**

**Graham Pilling**

El modelo de crecimiento para el aleta amarilla en el OPOC se estima en evaluaciones MULTIFAN-CL recientes. Por lo tanto, no se han usado datos de marcado rutinariamente para estimar el crecimiento del aleta amarilla del OPOC fuera del modelo. Se presentaron dos estudios que habían usado datos de marcado para informar el crecimiento del aleta amarilla del OPOC. El primero fue el de Lehodey y Leroy (1999), quienes investigaron el patrón de crecimiento del aleta amarilla juvenil, en particular usando datos de marcado para el periodo 1989-1992. De los 1,187 incrementos de marcado disponibles de su conjunto de datos filtrados, se identificó una clara reducción en la tasa de crecimiento (cm/mes) en peces cuya talla media durante su tiempo en libertad fue de entre 30 y 70 cm. El crecimiento estimado basado en conteos de anillos diarios también indicó una reducción en las tasas de crecimiento a edades más tempranas. El segundo estudio fue el de Hampton (2000), que estimó el crecimiento a partir de datos de marcado como parte de un análisis para estimar la mortalidad natural del aleta amarilla y otras especies de atún. El crecimiento se redujo con el aumento del tiempo en libertad, como se esperaba. Las estimaciones de los parámetros de Von Bertalanffy fueron de unos 166 cm para  $L_{\infty}$  y 0.25 para K. Se señaló el extenso conjunto de datos de marcado que existe actualmente para el atún aleta amarilla del OPOC y se destacó el potencial de incluir estos datos en la estimación del crecimiento de esta población tras la identificación de un conjunto de datos de "alta confianza" adecuado.

## **ALETA AMARILLA: MODELOS DE CRECIMIENTO UTILIZADOS ACTUALMENTE EN LAS EVALUACIONES DE POBLACIONES DE LA CIAT Y CONSIDERACIONES A FUTURO EN EL OPO**

**Carolina Minte-Vera**

El modelo de crecimiento utilizado actualmente en la evaluación del atún aleta amarilla en el OPO es un modelo de Richards. Maunder y Aires-da-Silva (2009) estimaron los parámetros dentro del modelo de evaluación de poblaciones, que también incluía los datos de talla por edad de los incrementos diarios en otolitos de Wild (1986). Se supone que los machos y las hembras crecen de manera similar. El modelo actual de caso base supone que la talla promedio de un pez de 7.25 años es de 182.8 cm (L2). Se supone que el coeficiente de variación a esa edad es de 10%, lo que significa que el 95% de los peces de 7.25 años deberían tener una talla entre 147.1 y 218.5 cm. Los resultados de la evaluación son sensibles al supuesto de L2; se obtiene una percepción más optimista de la condición de la población cuando L2 es 170 cm, y más pesimista cuando L2 es 190 cm. Los modelos con L2 más pequeña se ajustan mejor a los datos de la evaluación.

## **MODELO DE CRECIMIENTO UTILIZADO EN LAS EVALUACIONES RECIENTES DE POBLACIONES DE ALETA AMARILLA EN EL OPOC POR LA WCPFC Y CONSIDERACIONES A FUTURO**

**Graham Pilling**

Se describió el enfoque usado para estimar el crecimiento del aleta amarilla en la evaluación de la

población del OPOC en 2017 con MULTIFAN-CL. Se supuso que las tallas por edad se distribuían normalmente por clase de edad, con promedios que seguían la curva de crecimiento de von-Bertalanffy, y se supuso que las desviaciones estándares de talla para cada clase de edad eran una función log-lineal de la talla promedio por edad. Las distribuciones de probabilidad de peso por edad fueron una función determinística de las tallas por edad y una relación peso-talla especificada. Se supuso que todos los procesos eran invariables a nivel regional (y temporal). Dada nuestra comprensión de patrones de crecimiento alternativos en el aleta amarilla juvenil, se permitió que las tallas promedio de las primeras ocho clases de edad trimestrales fueran parámetros independientes, y que las tallas promedio restantes siguieran una curva de crecimiento de von Bertalanffy. Las desviaciones de la curva a esas edades más tempranas atrajeron una pequeña penalización para evitar el sobreajuste de los datos de talla. En la evaluación de 2017, se estimó el crecimiento no von Bertalanffy del aleta amarilla juvenil en el rango de talla de 25-75 cm, con un crecimiento más lento de lo previsto por la función de von Bertalanffy. El modelo de caso diagnóstico estimó una L2 de 153 cm, 0.4 cm más pequeña que la estimada en la evaluación de 2014. Aunque se consideró razonable la estimación de crecimiento, se recomendó realizar estudios adicionales sobre el crecimiento del atún aleta amarilla, y esto forma parte de la reunión actual. Se describieron nuevos desarrollos de MULTIFAN-CL para asegurar patrones de madurez y de mortalidad natural con edad internamente consistente con los patrones de crecimiento estimados.