
BIOLOGIA RIPRODUTTIVA E FECONDITÀ DELLA SARDINA, *Sardina pilchardus*, SULLA COSTA SPAGNOLA DEL NORD ATLANTICO: METODOLOGIE E RISULTATI

di

Nélida Pérez Contreras

Instituto Español de Oceanografía
Centro Oceanográfico de Vigo
Aptdo. 1552 – 36280 Vigo, Spagna

Introduzione

La sardina, *Sardina pilchardus* Walbaum, è una tradizionale specie bersaglio di grande importanza economica per la pesca lungo le coste della penisola iberica. Sono stati utilizzati due metodi di valutazione per la stima della biomassa della sardina iberica in corrispondenza della coste del Nord Atlantico: VPA (dal 1976) e campagne «acustiche» o «echo-survey» (dal 1983).

Nell'ambito di un progetto SARP (UNESCO) sulla variabilità del reclutamento della sardina, fu introdotto un altro metodo di valutazione degli stock: il Metodo della Produzione Giornaliera di Uova (DEPM) (Lasker, R., ed., 1985).

Metodi

Per condurre con successo una campagna DEPM fu necessario raccogliere informazioni riguardanti: la stagione riproduttiva, l'intensità di riproduzione e la delimitazione delle zone di deposizione (Smith e Hewitt, 1985). La conoscenza dell'istologia degli ovari della sardina è essenziale per ottenere stime accurate dei parametri inerenti la riproduzione.

Descrizione della Campagna

Una campagna DEPM, eseguita simultaneamente ad una campagna «acustica», fu condotta dal 29 marzo al 6 maggio 1988. La campagna ebbe inizio nella zona meridionale della piattaforma della Galizia presso la frontiera Spa-

gna-Portogallo (41° 55' N) e finì nel transetto vicino alla frontiera Spagna-Francia (1° 58' W), (fig. 1). Questa campagna fu coordinata con un'altra di tipo DEPM lungo la costa Portoghese sulla stessa specie (Cunha *et al.*, 1988). Il rilevamento di differenze significative di peso e di rapporto sessi, differenze nella distribuzione delle uova e le divisioni acustiche pre-definite, ci indussero a post-stratificare l'area di lavoro in tre regioni. La Regione I corrisponde alla zona della Galizia, che si estende da sud (dalla frontiera Spagna-Portogallo) al nord includendo una sezione della costa occidentale Cantabrica. La Regione II include il resto della costa occidentale Cantabrica. La Regione III, la più piccola delle tre regioni, corrisponde alla zona orientale Cantabrica. La stima della biomassa dei riproduttori fu calcolata per tutte e tre le regioni così suddivise. È necessario a questo punto definire quattro problemi principali nel campionamento degli esemplari adulti:

- 1) difficoltà nell'effettuare operazioni di pesca sulle aree rocciose della piattaforma settentrionale della Galizia;
- 2) inaccessibilità delle aree nel caso di installazione di attrezzature da pesca di tipo fisso (area Cantabrica occidentale ed orientale);
- 3) le femmine «idratate» devono essere raccolte durante le ore di luce, quando è più probabile che le sardine sfuggano le reti;
- 4) l'impossibilità di raccogliere un numero sufficiente di campioni usando reti a circuizione.

Le sardine adulte furono campionate mediante una rete semi-pelagica, in 30 stazioni di campionamento su 44 cale, 7 delle quali contenevano femmine idratate. La strategia di campionamento consistette nel campionamento sistematico dei banchi di sardine usando l'ecoscandaglio in corrispondenza della linea di costa. Abbiamo preso nota del numero totale e del peso delle sardine catturate.

Il processamento dei pesci a bordo fu eseguito per campionamento «random». Per ogni pescata furono osservati 50 pesci, registrando sesso, grado di maturità, lunghezza standard e il rapporto dei sessi. Dopo ogni pescata, furono congelate 25 femmine e le loro gonadi furono fissate in formalina; inoltre furono congelati 10 maschi. Le gonadi di tutte le femmine idratate (il campione spagnolo consistette di 116 esemplari) furono conservate ed i corpi privi di gonadi furono congelati.

Stima dei Parametri

La stima della biomassa dei riproduttori si basa sulla equazione di Parker (1980) per la stima della biomassa, che fu modificata da Stauffer e Picquelle (1980) per l'«acciuga del Nord». I parametri relativi agli adulti in questa stima sono:

- W = peso medio delle femmine mature (grammi);
R = rapporto dei sessi (frazione di femmine mature per peso);
F = fecondità del lotto (numero medio di uova per femmina matura per singola emissione);
S = frazione di femmine mature che riproducono al giorno.

Risultati

Stima dei Parametri EPM

In tutte le Regioni la distribuzione geografica di banchi di pesci adulti osservati tramite il metodo di mappatura con l'ecoscandaglio delle catture di sardine adulte, collima con la distribuzione di uova ed è limitata alla zona costiera, eccetto per quelle zone dove si rileva grande abbondanza di uova in mare aperto, al largo dell'area Cantabrica occidentale.

Per ognuno dei parametri furono calcolati la media e la varianza, secondo la procedura di Stauffer e Picquelle (1985), calcolando le medie pesate dato che il numero di individui campionati non risultò uguale nelle singole pescate.

Peso Medio delle Femmine, W

Questo parametro fu calcolato come peso medio delle femmine mature per pescata (il numero totale fu di 563 femmine), usando un numero massimo di femmine come soglia di sottocampionamento, cioè 25 femmine mature per pescata. Tuttavia, questo numero non fu sempre raggiunto, sia a causa del numero esiguo di pesci catturati, sia a causa del fatto che una porzione della cattura consisteva di femmine immature.

Nella stima di questo parametro, il peso è inteso come il peso del corpo intero della *j*-esima femmina matura dell'*i*-esima pescata. Questo peso osservato dovette essere aggiustato per quelle femmine che erano in condizioni idratate, a causa del fenomeno di ritenzione idrica che avviene durante l'idratazione.

I seguenti dati riguardanti questo parametro illustrano il peso medio delle femmine mature per regione, con i loro rispettivi coefficienti di variazione, e mostrano un netto aumento di questo parametro nella direzione orientale, in conformità con la distribuzione differenziale degli adulti menzionata da Porteiro *et al.* (1986):

Peso medio delle femmine	Galizia I	Cant. Occ. II	Cant. Orient. III
W (gr)	64,93	79,34	86,31
c.v.	0,06	0,08	0,03

Fecondità del «lotto», F

Femmine idratate furono raccolte per tutta la durata della campagna ed il numero di uova per «lotto» o «batch» (F) costituisce il dato di base per questo parametro.

Per determinare l'esistenza di una eventuale distribuzione differenziale degli ovociti idratati negli ovari e tra i lati destro e sinistro dello stesso ovario, furono prelevati sotto-campioni di tessuto ovarico da ciascun ovario. L'analisi della varianza fu eseguita per indagare gli effetti della posizione dei campioni entro gli ovari. Non fu rilevata alcuna differenza significativa (Pérez *et al.*, in fase di stampa).

Furono confrontate le regressioni lineari fra fecondità del lotto e peso della femmina priva di ovari, dai dati spagnoli e portoghesi. Dato che fu rilevata poca differenza tra queste regressioni e dato che non fu trovata alcuna differenza significativa nei pesi di femmine senza ovari e le fecondità relative fra i due paesi (tabella 1) i dati furono combinati in modo da aumentare la dimensione del campione e da poter coprire tutta la distribuzione della lunghezza. In questo modo, fu analizzato un totale di 127 femmine con ovociti idratati, privi di follicoli post-ovulatori, ottenute dalla campagna DEPM eseguita dalla Spagna (89) e dal Portogallo (38).

TABELLA 1 - Peso medio e fecondità relativa (n. di uova per grammo di femmina) della sardina; deviazioni standard tra parentesi; No. è il numero di campioni

Paese	Peso medio (g)	Fecondità relativa
Portogallo	23,04 (7,5)	No. = 38 373,8 (88,921)
Spagna	66,90 (17,9)	No. = 89 429,8 (119,385)
Totale	54,00 (25,3)	No. = 127 412,8 (113,26)

La fecondità del lotto fu stimata effettuando una regressione fra la fecondità del lotto (F) e il peso privo di ovari di quelle femmine che avevano ovociti

idratati (W^*) e prive di follicoli post-ovulatori, come mostrato tramite analisi istologica, che stava ad indicare che l'emissione non aveva ancora avuto inizio.

Furono scelti quattro modelli in cui inserire i dati (tabella 2). L'applicazione di un modello di regressione lineare alle serie di dati raccolti sulla fecondità delle sardine, mostrò che la varianza del «lotto» non era distribuita omogeneamente, e che essa aumentava con il peso delle femmine (Pèrez *et al.*, in fase di stampa).

TABELLA 2 – Modelli usati per esprimere il rapporto tra la fecondità relativa delle femmine (Y) ed il peso delle femmine senza ovari (X).

Modello	a (e.s.)	b (e.s.)	R ²
$Y = a+bX$	-2495,2 (1469,63)	473,6 (24,70)	0,75
$Y = a+bX$ (pesata)	-1308,0 (464,8)	445,3 (16,67)	0,85
$Y = a \cdot X^b$	5,51 (0,177)	1,12 (0,456)	0,83
$Y = e^{(a+bX)}$	8,48 (0,070)	0,025 (0,0012)	0,78

Per esprimere il rapporto tra la fecondità del lotto delle femmine ed il peso delle femmine nei termini di un modello lineare, fu utilizzata la regressione pesata dei minimi quadrati. La regressione non pesata fu divisa in sezioni più piccole, nelle quali la varianza risultò distribuita omogeneamente e dove la varianza totale fu calcolata in base al numero di femmine in quella sezione. L'inverso della varianza totale come fattore di peso per la stima del nuovo modello di regressione (Draper e Smith, 1981; in Hunter *et al.*, 1985).

In base a questa procedura, fu possibile ottenere una varianza minima ed una stima non distorta dei coefficienti di regressione (Hunter *et al.*, 1985).

Il modello lineare pesato ha presentato un errore quadratico medio piccolo ed il R² più alto. Per questi motivi, fu scelto come modello finale.

La regressione lineare risultante fu:

$$F = -1308,0 + 445,31 W^*$$

La fecondità relativa media (numero di ovociti idratati per grammo di femmina) fu 412,8 (deviazione standard = 113,26). Se paragoniamo questi dati sulla

fecondità relativa con i valori per i vari pesci Clupeiformi, elencati in Alheit, 1988, vediamo che la sardina produce più uova per grammo di peso corporeo per lotto fra tutti i Clupeidi.

Fu calcolata la fecondità del lotto media ed in questo caso la varianza fu stimata col metodo descritto da Draper e Smith (1966, in Picquelle e Stauffer, 1985).

I risultati dell'analisi di questi parametri furono:

Fecondità del lotto	Galizia I	Cant. Occ. II	Cant. Orient. III
F	27274,8	33801,8	33901,7
c.v.	0,06	0,09	0,03

Dato che il valore di fecondità del lotto è più alto per femmine di maggiori dimensioni ci si aspetta di osservare una fecondità del lotto più alta nelle regioni orientali II e III.

Frazione di Riproduttori, S

Questo parametro rappresenta la frazione di femmine mature che riproducono al giorno.

Dato che non esiste un sistema convalidato per classificare i follicoli post-ovulatori delle sardine per età, queste furono assegnate ai follicoli tenendo conto dei seguenti aspetti:

- le loro caratteristiche istologiche;
- l'ora nella quale furono raccolti i campioni;
- l'ora di massima intensità di deposizione.

L'analisi istologica della struttura dell'età dei follicoli post-ovulatori nei campioni mostrò che il processo di degenerazione dei follicoli post-ovulatori nella sardina è molto lento e quindi che i follicoli possono essere differenziati fino a 60 ore di età. Questo ci permise di determinare 4 fasce di età. In questo modo, i follicoli post-ovulatori da 0 a 6 ore sono stati classificati come Giorno-0, quelli da 18 a 30 ore come Giorno-1, quelli da 42 a 54 come Giorno-2 e quelli oltre 66 ore come Giorno-3 (Pèrez *et al.*, in fase di stampa).

Attraverso l'osservazione nei campioni della distribuzione di frequenza delle femmine con follicoli post-ovulatori di Giorno-0 e delle femmine idratate, fu possibile stabilire che la massima intensità di deposizione si aveva alle ore 19:00 GMT (intervallo dalle ore 14 alle ore 21 GMT, fig. 2).

Usando le tecniche di Leong (1971), fu possibile indurre la riproduzione di sardine in laboratorio, permettendo così di caratterizzare la degenerazione istologica dei follicoli post-ovulatori in base al tempo. Fu utilizzata una tecnica

di riproduzione artificiale (Olmedo *et al.*, 1990) per indurre la deposizione in modo da permetterci di convalidare i criteri di invecchiamento dei follicoli post-ovulatori della sardina applicati ad età note.

Ciò ci diede la possibilità di calcolare la frazione di riproduttori equivalente alla proporzione media di femmine mature presenti nell'*i*-esima pescata aventi follicoli post-ovulatori di Giorno-1 e Giorno-2 (Pèrez *et al.*, 1989).

Fu trovato che nella Regione I c'era stato un sovracampionamento di follicoli di meno di 6 ore (Giorno-0) di età (fig. 3). Questo causava una distorsione nel calcolo della frazione di riproduttori. Per questo motivo, il numero totale di femmine mature è stato corretto in base alla seguente espressione:

$$m_i = \frac{\text{Giorno-1} + \text{Giorno-2} + \text{Giorno-3}}{3} + \text{Giorno-1} + \text{Giorno-2} +$$

$$+ \text{Giorno-3} + \text{femmine mature}$$

nella quale ogni termine rappresenta il numero di femmine con follicoli post-ovulatori di una certa età.

La tabella seguente mostra i valori di frazione di riproduttori per le differenti età dei follicoli post-ovulatori per le differenti regioni ed i loro corrispettivi coefficienti di variazione. Come ci aspettavamo, il coefficiente di variazione della frazione di riproduttori aumenta quando si usano i follicoli post-ovulatori del Giorno-1 o Giorno-2 invece del loro valore medio.

Età del follicolo	Galizia (I)	Cant. Occid. (II)	Cant. Orient. (III)
Giorno-0	0,64	0,15	0,10
c.v.	0,58	0,68	0,47
Giorno-1	0,04	0,09	0,23
c.v.	0,55	0,24	0,20
Giorno-2	0,11	0,17	0,19
c.v.	0,24	0,22	0,20
Giorno-3	0,05	0,23	0,13
c.v.	0,60	0,14	0,23
Giorno-1 + Giorno-2	0,08	0,13	0,21
c.v.	0,20	0,11	0,13

I valori della frazione di riproduttori per follicoli post-ovulatori di Giorno-1 + Giorno-2 e per regioni mostrano inoltre una tendenza di aumento verso oriente; ciò indica una frequenza di deposizione più alta nelle femmine più vecchie.

Rapporti Sessi, R

Questo parametro fu calcolato come frazione in peso delle femmine mature della popolazione. I maschi maturi ed immaturi furono inclusi nell'analisi. Il numero massimo di campioni per pescata fu di 50, dal quale solo i pesi dei primi 10 maschi e delle prime 25 femmine furono misurati.

Il peso totale per ogni sesso si ottiene da Picquelle & Stauffer (1985).

I risultati delle stime di questo parametro furono i seguenti:

Rapporto di sessi	Galizia I	Cant. Occ. II	Cant. Orient. III
R	0,35	0,65	0,66
c.v.	0,12	0,10	0,08

La Regione I mostra bassi valori di rapporto sessi, mentre le Regioni II e III mostrano stime di oltre il 50%. Se il rapporto sessi fosse calcolato per tutta la zona investigata, questo risulterebbe essere del 55%.

Discussione

Una delle differenziazioni più chiare dei parametri relativi agli adulti fu osservata nel peso medio delle femmine mature. Un aumento verso oriente di questo parametro risulta molto chiaro, ed è stato riportato da Porteiro *et al.* (1986) che le classi di età più avanzata di sardina (oltre i 5 anni di età) risiedono principalmente nel settore orientale della costa Cantabrica. La diversa composizione delle età dei pesci adulti influisce su altri parametri, come per esempio la fecondità del lotto ed il rapporto sessi.

Nel caso del rapporto dei sessi, nelle Regioni II e III i dati ottenuti furono leggermente più alti del 50%. Questo fatto è legato alla diversa composizione per età della popolazione; in questa gamma di età (oltre i 5 anni), la proporzione del numero di femmine è maggiore che per pesci più giovani, del 60% circa (Pèrez *et al.*, 1985).

Il basso valore di frazione di riproduttori ottenuto in Galizia (0,08) rispetto alle altre regioni, è in conformità con il peso della sardina adulta e la distribuzione di uova lungo la Penisola Iberica.

Ciononostante vi è un alto numero di sardine in condizioni prossime alla riproduzione in questa regione (0,64 è il valore di frazione di riproduttori calcolato per follicoli di età Giorno-0). Questo fatto risulta difficile da spiegare e causerebbe un errore nel campionamento. La stessa cosa è capitata nel caso del rapporto dei sessi. La differenza tra regioni è molto pronunciata. Nella Regione I

questo valore è di 0,35, in contrasto con le altre due regioni stabilite, ove vi è una chiara predominanza di femmine nella popolazione. È possibile che le differenti ore di pesca per regioni e/o il diverso comportamento tra sessi della sardina potrebbero in definitiva alterare il numero di femmine nelle diverse aree. Tuttavia non esiste alcuna netta relazione tra la frazione di femmine riproduttive e le ore di pesca nella Regione I (fig. 3).

Una possibile spiegazione di questi due fenomeni nella Regione I potrebbe essere che in una parte di questa regione la difficoltà di pesca su zone rocciose è stata maggiore che in altre aree e che le sardine al di fuori di queste aree sarebbero più vulnerabili all'attrezzo di campionamento. La maggior parte di queste sardine sarebbero in fase di deposizione ed il rapporto sessi in quel momento sarebbe quindi diverso. Oltre tutto ciò spiegherebbe il basso valore di frazione di riproduttori nella Regione I calcolato dai follicoli post-ovulatori di età 1 e 2, in rapporto all'abbondanza di femmine idratate e di femmine con follicoli post-ovulatori di Giorno-0.

Per comprendere la diversa proporzione dei sessi la frazione di riproduttori ottenuti da Giorno-0 e da Giorno-1+2 fu messo in grafico separatamente per pescate con più e meno di 50% di femmine (fig. 4). L'analisi della varianza mostra una differenza significativa tra la frazione di riproduttori nei campioni con meno del 50% di femmine e nei campioni con più del 50% di femmine riproduttrici, ma non nel caso di femmine con follicoli post-ovulatori di Giorno-1 + + Giorno-2. Quindi la proporzione maggiore di maschi nei campioni è in relazione alla condizione di riproduzione delle femmine ed è questa la ragione per cui nella Regione I, nella quale la maggioranza dei campioni di sardine erano in fase di riproduzione, la proporzione di femmine risultò così bassa. Questa differenza di proporzione dei sessi in rapporto alla condizione di riproduzione fu anche riportato da Alheit (1984) per *Engraulis ringens*. Se questa differenza nel rapporto sessi costituisce un errore di campionamento, e quindi se il vero rapporto sessi delle sardine è del 50%, la biomassa risulterebbe sovrastimata del 30%.

Sulle coste iberiche dell'Atlantico, la frazione di sardine femmine mature con follicoli post-ovulatori di meno di 48 ore di età risultò essere 0,14 (deviazione standard = 0,0122) il che starebbe ad indicare che l'intervallo medio tra ogni emissione è di circa 7 giorni, con una escursione da 5 a 13 giorni, nelle diverse regioni.