



INSTITUTO NACIONAL  
DE LA PESCA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
NAYARIT

*MANUAL DE  
BIOLOGIA PESQUERA*

Elaine Espino Barr  
Álvaro González Vega  
Heriberto Santana Hernández  
Humberto González Vega

2008

---

## *CONTENIDO*

1. INTRODUCCION	3
Antecedentes de las pesquerías en el mundo.	
Definición de Ciencia Pesquera.	
2.- RECURSOS PESQUEROS	11
Definición e identificación.	
Ejemplos en México.	
3.- TEORÍA DEL MUESTREO	29
Ejemplos.	
4.- RELACIONES MORFOMETRICAS Y ESTRUCTURA DE LA POBLACION	49
Elementos de estadística básica.	
Estructura.	
Regresión lineal y correlación.	
Representación gráfica.	
5.- PARÁMETROS POBLACIONALES	56
5.1.- Reproducción y madurez gonádica.	
Teoría y métodos de evaluación.	
5.2.- Determinación de edad y crecimiento.	
Métodos directos: lectura e interpretación de partes duras.	
Métodos indirectos: distribución de frecuencia de tallas.	
Modelos de crecimiento.	
5.3.- Mortalidad.	
Descripción y definición.	
Estimaciones e interpretaciones.	
5.4.- Reclutamiento.	
Definición.	
Modelos de relación stock-recluta.	
5.5.- Análisis de contenido estomacal.	
Importancia y repercusión.	
Métodos de análisis.	
Hábitos alimentarios y su relación con las cadenas tróficas.	
5.6.- Manejo y aplicaciones del paquete de cómputo FISAT, Excel.	
6.- MODELOS ANALITICOS	95
7.- EL CLIMA Y LAS PESQUERIAS	108
8.- LITERATURA CITADA	117

## *PRESENTACIÓN*

La especie humana, desde la prehistoria, realizó tres actividades que son: la recolección, la caza y la pesca para obtener su alimento. De estas la pesca es la única que se sigue practicando y desde entonces ha extraído parte de su alimentación del medio acuático especialmente de los mares. Restos de comida que se han localizado, con una antigüedad de 10000 años, indican que el hombre Paleolítico reunía en sus aldeas, almejas, mejillones, peces y otros organismos marinos y tiraba sus restos formando montículos de desperdicios que marcaron su paso. También demuestra este consumo, los restos de conchas que se han encontrado en cuevas y albergues habitados por los pueblos primitivos llamados concheros, de gran importancia en la Arqueología.

Tanto los pueblos antiguos como los actuales, los más atrasados como los más desarrollados, han utilizado en mayor o menor proporción a los peces en su alimentación y se sabe que desde épocas muy antiguas los pueblos egipcios, hebreos, asirios y fenicios practicaron la pesca en el mediterráneo; pero fueron los romanos, en su época de esplendor, los que se dedicaron activamente a la pesca, así como al cultivo de ciertas especies comestibles para lo cual construyeron enormes estanques.

Los historiadores nos relatan que Lúculo hizo horadar una montaña, cerca de Nápoles, para que el agua de mar llegara a sus viveros y que Sergius Orato, que vivió 140 años A.de C, practicaba la ostricultura en los lagos Lucrino y Fusaro, en el antiguo Acheron, de aguas salobres, situados en los cráteres de volcanes extinguidos. En los banquetes de la antigua Roma, peces y moluscos muy diversos se servían en los platos más sabrosos: las morenas, los salmonetes, los dorados, el lenguado, las merluzas, las ostras y los mejillones gozaban de general estimación.

En América, muchos indios norteamericanos como los Siboneyes y diversas tribus de Tupés-Guaraníes eran pescadores. En México, en algunos Códices se representa a los antiguos mexicanos, con los aparejos de pesca que empleaban, lo que indica que también utilizaban a los organismos acuáticos en su alimentación, y la pesca ejerció una influencia decisiva en el desarrollo de sus comunidades, pues no solo les permitía obtener alimento, sino también impulsó las vías de comunicación, las actividades artesanales y artísticas e inclusive motivo inspiración ceremonial.

Para aprovechar a los organismos acuáticos, desarrollaron instrumentos y sistemas para obtener mayores rendimientos y en las representaciones de los Códices, se indica que utilizaron tridentes y arpones, así como la construcción de represas para facilitar la captura con flechas y redes de aro. La explotación que hacían de estos recursos, era racional ya que los consideraban como sus iguales, dignos de respeto y admiración, actitud solo posible, gracias a los años de

observación detallada del mundo que los rodeaba y del cual se sentían parte. Lo anterior se ha demostrado fehacientemente, a través del análisis morfométrico de las conchas de almejas y ostiones, depositadas en los “concheros prehispánicos” que indican que explotaban individuos de una misma talla, que con los conocimientos actuales, se puede comprobar que estos organismos estaban más allá de su edad de primera madurez reproductiva.

Los relatos de los Cronistas Españoles indican, “que cuando resolvían el problema de su alimentación con organismos acuáticos, al incrementar su captura, los utilizaron para el intercambio en los mercados y así obtener otros productos que necesitaban. Estos relatos ponen de manifiesto, “la lujuriosa” diversidad de especies que eran comercializadas en el “Tianguis” de Tlatelolco. El pescado era un alimento común y de las costas llegaban diariamente a Tenochtitlan, correos de relevo que traían mariscos y pescados frescos para la mesa de Moctezuma.”

También los cronistas relatan que rendían culto a varios dioses, entre ellos a **Opochtli** el dios de la pesca, también conocido como dios zurdo, dios menor o **Tlaloque**; lo creían inventor de las redes y demás instrumentos y como tal, era especialmente venerado por los pescadores como su protector.

El conocimiento prehispánico sobre la naturaleza y el aprovechamiento racional de los recursos naturales, había alcanzado altos niveles de desarrollo, teniendo muy en cuenta que todo esto tendría que considerar la conservación de nuestra especie y así Nezahualcoyotl decía: “Amo el canto del Zenzontle, pájaro de cuatrocientas voces; Amo el color del jade y el enervante perfume de las flores: pero Amo mas a mi hermano el hombre.” La conquista modifico todo esto, siendo imposible estimar hasta dónde hubiera podido llegar, sino fuera interrumpido en forma brusca y violenta, este desenvolvimiento cultural.

La pesca en el mundo inicio su desarrollo hasta que se realizaron los primeros viajes a través de los océanos y los barcos fueron evolucionando, pasando del remo a la vela, de esta al vapor y después al motor de combustión interna, acelerándose desde ese momento todas las actividades marinas, entre ellas la pesca.

La necesidad casi crítica de la especie humana por adquirir una cantidad mayor de alimento, debido al incremento de su población, la obligo a desarrollar su capacidad para obtenerlo de los organismos que viven en el océano y a partir de 1945, se ha presentado un aumento en la actividad pesquera, llegando en la actualidad a una captura de 136 millones de toneladas, la cual colabora en la alimentación de la humanidad, que ha alcanzado los 6000 millones de habitantes, con el grave problema que nacen 20 millones de niños con insuficiencia nutricional y bajo peso, muriendo de estos 5 millones al año de hambre y desnutrición. Todo esto lo ocasiona el hecho que el comportamiento de la especie humana es económico y no biológico.

Como lo señalan los autores de este libro, “según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), las principales pesquerías del mundo se evalúan como sobre explotadas”. Esto contradice lo que la misma organización publicó en 1970, cuando consideraba un “Potencial Mundial de 370 millones de toneladas, 70 de recursos convencionales y 300 de recursos no convencionales y decía que la producción pesquera, que en ese momento era de 70 millones de toneladas, tenía que pasar en el año 2000 a 130 millones de toneladas”.

Al establecerse en 1976 el régimen de 200 millas náuticas de “Zona Económica Exclusiva”, la FAO cambió su política y empezó a llamar la atención sobre la disminución de la captura de las principales pesquerías y como lo presentan los autores, “un panorama de las pesquerías de los Estados Unidos, mostró que de 230 especies comerciales, el 28% están sobre explotadas, el 23% se encuentran en su nivel máximo de utilización y el 13% están subutilizadas”. Es necesario que cada país haga una evaluación de sus recursos pesqueros, para saber en que nivel se encuentran, ya que actitudes como las de la FAO y los Países poderosos, pueden ser para impedir el crecimiento y el desarrollo pesquero de los países menos desarrollados.

La FAO a partir de 1991, propuso el Código de Pesca Responsable, requisito para la sustentabilidad y en el cual se “Establecen principios y normas internacionales, para la aplicación de prácticas responsables, con miras a asegurar la conservación, la gestión y el aprovechamiento eficaces de los recursos acuáticos vivos, con el debido respeto de los ecosistemas y de la biodiversidad”. Este código fue desarrollado por varios técnicos en pesca, entre ellos la Dra. Margarita Lizárraga Saucedo, gran investigadora mexicana y por esto a su muerte la FAO, creó la medalla “Margarita Lizárraga”, para distinguir cada dos años a un país, una institución o una persona que se destaque en pesca responsable.

A partir de la segunda mitad del siglo pasado, también se incrementó la investigación pesquera que se realiza con el fin de conocer de que manera cambian los recursos pesqueros, en su distribución y composición debido a variaciones del ambiente, puesto que los efectos de estos cambios se manifiestan notablemente en las capturas; es muy importante contar con la información periódica sobre ellos, y si es posible, llegar a predecirlos para así aprovechar racionalmente los recursos.

La investigación pesquera debe considerar a la pesca como un sistema total, en el cual intervienen: los organismos acuáticos, como recurso natural que se explota; las características biológicas de estos recursos; las propiedades fisicoquímicas y geológicas del medio ambiente donde se desarrollan. También se toman en cuenta las técnicas para la captura, la elaboración y el almacenamiento de los productos; la venta de los mismos; así como los procesos económicos y sociales que se generen con motivo del aprovechamiento integral

del recurso; además de la política que tenga el país para normar los procedimientos de las instituciones que dirijan la actividad pesquera.

En este manual, los autores, investigadores y técnicos con gran experiencia en el campo de la pesca, que han hecho aportaciones relevantes, nos presentan: las pesquerías del mundo; el estudio de estas a través de la Ciencia Pesquera; identifican los recursos pesqueros de México; nos ofrecen ejemplos de la teoría del muestreo; describen las características biológicas de los recursos en cuanto a las relaciones morfométricas y la estructura de la población. así como los parámetros poblacionales de reproducción y madurez gonádica, edad y crecimiento, mortalidad, reclutamiento y contenido estomacal; los modelos analíticos; y la relación del clima con las pesquerías.

La solidez y autoridad de la obra, la avala la actividad que por años han realizado los autores en el campo de investigación, la administración y desarrollo de las pesquerías mexicanas, así como la formación de recursos humanos es esta actividad. Estamos seguros que este libro será de gran utilidad para los administradores de la industria pesquera y también para los maestros y estudiantes de Oceanología, Biología, Ingeniería, Tecnología, Sociología y Economía Pesqueras.

JUAN LUIS CIFUENTES LEMUS

# 1. INTRODUCCION

## Antecedentes de las pesquerías en el mundo.

Hasta el siglo XIX las poblaciones pesqueras de todo el mundo existían totalmente fuera de peligro del hombre debido a la barrera geográfica del agua y las dificultades de extraer la presa. Con los avances de la tecnología esto ha cambiado y algunas especies del mar (en su mayoría mamíferos marinos) han sido extinguidas por el abuso del hombre. Aunque la pesca ha existido por siglos, hasta la segunda mitad del siglo XX ha experimentado cambios sustanciales en cuanto a volúmenes de captura. Hoy en día se extraen entre 65 y 95 millones de toneladas anualmente, que equivale al 6% de la proteína animal que el hombre aprovecha directa o indirectamente (Robinson, 1984). De 1999 a 2000 la captura mundial aumentó debido al aumento en la presión por pesca; las poblaciones plenamente explotadas se mantienen relativamente estables, pero las sobreexplotadas o agotadas van en aumento (FAO, 2002).

En términos de ciencia pesquera y de ecología, continuamente hay indicios de que muchos *stocks* marinos alrededor del mundo, tanto dentro como fuera de la Zona Económica Exclusiva (ZEE), países desarrollados y subdesarrollados tienen deficientes o nulas medidas de regulación en especies pelágicas y demersales (Cunningham y Whitmarsh, 1981; Cousteau, 1995). Lo anterior se refleja en los registros pesqueros – los cuales han venido declinando en la última década– y en el deterioro de la diversidad.

Según las estadísticas de pesca de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), las principales pesquerías del mundo se evaluaban como sobreexplotadas en 1992 (Grainger y Garcia, 1996), pero en los volúmenes totales no se aprecia su disminución, pues nuevos recursos han empezado a aprovecharse en los últimos años. Un panorama del estado actual de las pesquerías en los Estados Unidos de América mostró que de 230 recursos o especies comerciales distintos, 28% están sobreexplotados, 23% se encuentran

en su nivel máximo de utilización y 13% están subutilizados. De los anteriores, solamente el 34% de las especies capturadas están suficientemente estudiadas y sólo una especie de salmón se encuentra en vías de recuperación (NOAA, 1991).

Las actividades del hombre afectan a las poblaciones marinas y costeras no solamente por la pesca, sino en otros aspectos, dañando, en ocasiones de manera irreversible al ecosistema en cuestión y afectando también el equilibrio y diversidad de las especies en el entorno. Tales son los casos por contaminación urbana, industrial, portuaria, cambios en el ecosistema por desarrollos que modifican el paisaje y con ello el hábitat de la comunidad y por consiguiente la biodiversidad (De Fontaubert *et al.*, 1996).

En diferentes foros internacionales existe esta preocupación y en términos generales hay grandes rubros que abarcan las acciones que todos los países deberían incluir en sus planes de desarrollo (Caddy y Mahon, 1995), a saber:

- Reducir y controlar la degradación de los ecosistemas marinos para que se mantenga y mejore la vida que soportan y su capacidad productiva.
- Desarrollar e incrementar el potencial de los recursos marinos vivos para cubrir las necesidades nutricionales de la humanidad y las metas de desarrollo socioeconómico.
- Promover el manejo integral y desarrollo sostenible del área costera y el medio marino.

Se estima que existen 20,000 especies de peces en el mundo en una amplia gama de hábitats (Pitcher y Hart, 1982), pero las que se aprovechan por el hombre son apenas una pequeña fracción, de la que solamente 200 componen la gran proporción de las capturas de las pesquerías del mundo (Grainger y Garcia, 1996).

La investigación alrededor de las actividades pesqueras también está en aumento: se recaba información y se incrementan las bases de datos (Ricker,

1977), lo cual expresa de manera optimista que la ciencia pesquera está aportando herramientas de trabajo y medidas de protección para frenar el daño ocasionado y está presentando alternativas para el uso racional de estos recursos. La ciencia pesquera se ha convertido en pocas décadas en una importante fuente de información para la regulación y reglamentación de las pesquerías del mundo..., pero queda mucho por hacer.

### La Ciencia Pesquera

Se define como el conjunto de métodos y prácticas de pensar, a través de las cuales se adquieren conocimientos relacionados con las estructuras dinámicas e interacciones que existen entre el hábitat, las poblaciones de animales acuáticos y el hombre (Ehrhardt, 1981). La ciencia pesquera combina los estudios relacionados con el recurso y su medio, con los efectos que se derivan de las actividades humanas sobre estos recursos (Cifuentes-Lemus, 1992). Kesteven (1967) la define como la expresión aplicada de varias ciencias orientada a resolver la problemática de las pesquerías. La finalidad de esta ciencia consiste en:

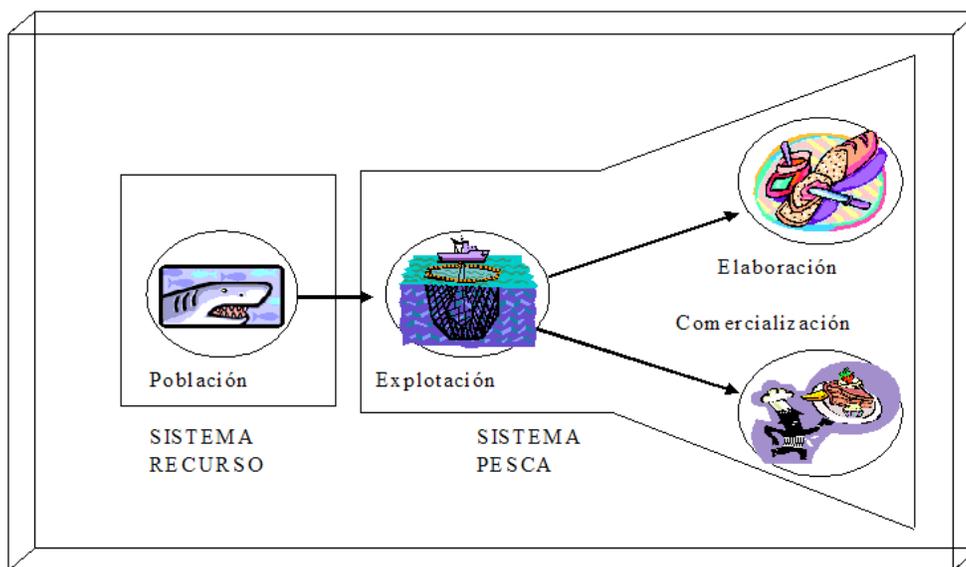
- 1°. Estudiar las especies pesqueras haciendo una prospección, exploración y evaluación de los recursos en términos de espacio y tiempo, determinando los volúmenes que pueden ser capturados sin el riesgo de vulnerar las poblaciones;
- 2°. Estudiar los medios y procedimientos de captura, tales como los barcos apropiados, el tipo de artes y aparejos necesarios y métodos de detección, entre otros;
- 3°. Estudiar los procedimientos de conservación y transporte, como pueden ser el uso de frigoríficos adecuados, conservadores, enlatados, entre otros, además de los estudios sobre mercadeo.

Por lo anterior, la ciencia pesquera se puede relacionar con dos sistemas:

- a) El sistema recurso y la consecuencia de la extracción del mismo;
- b) El sistema pesca, el cual engloba una gran actividad humana.

Los sistemas que forman una pesquería van desde la captura o una recolección, si se trata de una especie cultivada, pasando por el desembarque, la elaboración, el almacenaje y el transporte, hasta llegar al mercadeo del producto (véase la Figura 1).

Figura 1.  
Esquema de los actores en la ciencia pesquera



En otro sentido, la ciencia pesquera puede agruparse en tres sectores:

1. Sector primario, también llamado de explotación, se interesa directamente de la obtención del recurso.
2. Sector secundario o de la elaboración y transformación, se encarga de la industrialización del producto.
3. Sector terciario o de manejo, almacenado y venta, traslada el producto desde un punto de oferta hasta uno de demanda y lo guarda hasta que el producto sea adquirido por el consumidor.

Dentro del sector primario o de explotación se pueden incluir a tres sistemas unitarios: la unidad de pesquería, la unidad de pesca y la unidad de *stock*.

### 1. Unidad de pesquería

Esta unidad integra al conjunto de embarcaciones de un tipo específico con un régimen común de pesca para la especie en cuestión, por lo que agrupa a embarcaciones, hombres y artes para la explotación de un recurso determinado en un área más o menos delimitada; por ejemplo, la pesquería del camarón del Pacífico, la pesquería de atún, la pesquería de langosta en Quintana Roo, etc.

### 2. Unidad de pesca

Está formada por el conjunto de equipo y potencial humano que pueden operar de manera autónoma en la industria pesquera; así por ejemplo un barco camaronero es una unidad pesquera formada por las artes de pesca, los hombres y el mismo barco. El ejemplo más sencillo es un pescador con su arte o su aparejo (trampas, nasas, atarraya); y el más complejo, un barco nodriza con todas sus embarcaciones, o el barco atunero: pangón, helicóptero y red de cerco.

### 3. Unidad de existencias o stock

Está formada por una población o un número de ellas que ocupan un área particular y viven independientemente de otras poblaciones de esa y otras especies. De tal manera que los procesos de migración (inmigración y emigración) carecen de importancia si se comparan con la tasa de reproducción y mortalidad del *stock*. De esta manera las poblaciones se evalúan considerando la mortalidad, el crecimiento y el reclutamiento; parámetros que ayudan a entender la dinámica de las poblaciones. Ejemplo: una población de sardinas, especies en un arrecife, especies demersales.

La unidad de *stock* o “estoque”: se refiere a la existencia de un recurso, en este caso puede referirse al banco o conjunto de elementos o individuos que ocupan un lugar en un momento determinado y que puede estar disponible para la pesca. La finalidad de la evaluación de *stocks* es asesorar sobre la explotación óptima de recursos acuáticos vivos: como ejemplo, peces y camarones.

Los recursos vivos son limitados pero renovables, y su evaluación puede definirse como la búsqueda del nivel de explotación que permita obtener, a largo plazo, el rendimiento máximo en peso de una pesquería.

La parte importante de esta unidad, desde un punto de vista pesquero, es la que estudia la *biología pesquera* directamente la unidad de existencia. Su objetivo es aportar conocimientos sobre los siguientes aspectos:

- a) Accesibilidad: va de acuerdo con la presencia del recurso; es por lo tanto el hecho de estar presente físicamente;
- b) Vulnerabilidad: el hecho de que el recurso pueda ser capturado; esto va de acuerdo con el comportamiento del pez y del arte de pesca. También se puede definir o utilizar ésta como una tasa de capturabilidad;
- c) Disponibilidad: si el recurso es accesible y vulnerable, entonces está disponible. La disponibilidad por lo tanto, está relacionada con la biomasa o abundancia del recurso y se determina en términos de reproducción y reclutamiento, disposición de alimento, crecimiento y mortalidad.

$$\text{Stock} = \text{disponible} \left\{ \begin{array}{l} \text{accesible} \\ \text{vulnerable} \end{array} \right.$$

Con redes de arrastre, la capturabilidad es la probabilidad de que un individuo sea capturado al aplicar una determinada unidad de esfuerzo. Su medida puede ser la tasa de capturabilidad ( $q$ ):

$$q = r \left( \frac{a}{A} \right) s$$

donde :

$q$  = tasa de capturabilidad (vulnerabilidad);

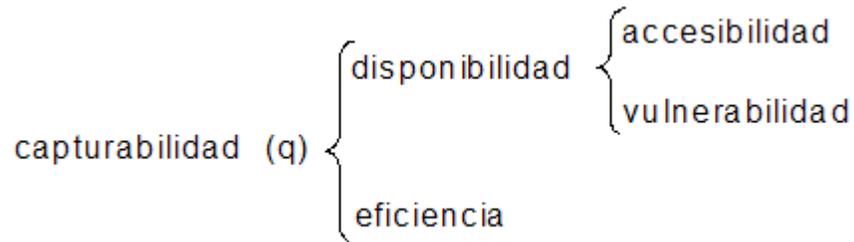
$r$  = tasa de presencia (accesibilidad);

$a$  = área de influencia de la red;

$A$  = área total.

$s$  = tasa de retención (disponibilidad).

La capturabilidad ( $q$ ) puede estar afectada por la disponibilidad, que tiene como componentes a la vulnerabilidad y la accesibilidad, también se afecta por la eficiencia del arte de pesca:



En resumen, la ciencia pesquera integra disciplinas como la tecnología de la captura, ecología del ambiente, climatología, ciencias sociales, etc., en búsqueda del uso racional del recurso.

La *Biología Pesquera* abarca el estudio de las especies acuáticas que se utilizan como un recurso para el hombre. Se abarcan disciplinas muy diversas, como la taxonomía, para identificar y clasificar animales y plantas acuáticas, mediciones de características dinámicas de las poblaciones, estudio del ciclo vital, análisis estadístico y algunas disciplinas de laboratorio, como el análisis de partes duras (huesos y escamas) e histología (cortes de tejido gonadal).

Con el desarrollo de las actividades y estudios enlistados se evalúa una población y se obtienen datos para responder a las interrogantes poblacionales: ¿cuánto, cuándo, dónde y cómo? El “cuánto” es considerado para determinar la biomasa disponible; el “cuándo” y el “dónde” se refieren a la distribución de la población, tanto en el espacio como en el tiempo; el “cómo” se relaciona con aspectos conductuales que consideren la vulnerabilidad de las especies.

Como parte de la biología pesquera, *la dinámica de poblaciones* estudia la población de una especie como una unidad viviente o sistema funcional (Ehrhardt, 1981). Se analiza el cambio en el número de individuos de una población y de los factores que tienen influencia, como las tasas de pérdida (mortalidad) y ganancia o reemplazo (natalidad, crecimiento). Su objetivo es entender el estado actual de las

poblaciones acuáticas y explicar los cambios naturales o del hombre, y esto permite hacer previsiones que describan a la población mediante la elaboración de modelos. Cuanto más exactos sean los datos, mejor será el modelo y más precisas las predicciones.

Una gama de métodos de dinámica de poblaciones permite la evaluación de los recursos pesqueros que son aprovechados por el hombre, a través de la determinación de los niveles de abundancia, ya sea en número de individuos como en biomasa.

La Tecnología Pesquera como parte de la Ciencia Pesquera inició su desarrollo a partir de los años cincuentas, avanzando ampliamente en el campo de la tecnología de captura y de manera más lenta en la tecnología del proceso.

El presente documento pretende revisar conceptos de la ciencia pesquera y conocer los modelos utilizados en la evaluación de poblaciones marinas y la dinámica de las pesquerías. Se presentan prácticas basadas en información de algunas especies de la captura comercial.

## 2. RECURSOS PESQUEROS

Los recursos vivos son limitados pero renovables y su evaluación puede definirse como la búsqueda del nivel de explotación que permita obtener, a largo plazo, el rendimiento máximo ya sea en peso del producto o en ganancia.

A continuación se incluyen algunas definiciones importantes que deben manejarse para el correcto entendimiento de estos temas.

### Sustentabilidad.

Término que cuando se aplica a los recursos acuáticos se define como “manejo y conservación de los recursos naturales y la orientación del cambio institucional y tecnológico de tal forma que se asegure la satisfacción continua de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras” (Caddy y Mahon, 1995).

### Unidad de esfuerzo pesquero.

Unidad normalizada de pesca que opera durante una unidad de tiempo determinada.

### Esfuerzo pesquero.

Cantidad de unidades de esfuerzo pesquero que se dedican a la captura de un recurso en un área o tiempo dado.

### Esfuerzo nominal (*f*).

Se define como el número de embarcaciones por día, número de anzuelos por lance, metros de red de enmalle por lance.

### Rendimiento óptimo.

La captura que puede tomarse de las existencias de un recurso dado, sin riesgo a interferir con la reproducción y el reclutamiento. El rendimiento máximo

sostenible puede estar referido a la captura máxima en peso, en ganancia o en esfuerzo (Kesteven, 1967).

#### Densidad.

Número de peces por unidad de área. Si los peces se distribuyen homogéneamente,  $D = C/X$ , donde: C es la captura obtenida en número o peso y X el área de influencia del arte de pesca. Cabe hacer el comentario que la mayoría de los organismos se agrupan por especie, tallas o sexos.

#### Métodos de pesca.

Es el conjunto de técnicas que, basado en algún principio de captura, aprovecha las características biológicas y ecológicas de las especies y el comportamiento físico de las artes de pesca.

#### Sistema de pesca.

También se le conoce como Unidad de pesca. Es el conjunto de equipo y mano de obra que puede realizar la pesca de manera autónoma. Ejemplo: un barco camaronero, las artes de pesca que lleva y los hombres que los hacen funcionar por desarrollar la actividad.

#### Arte de pesca.

Instrumento, equipo o estructura con que se realiza la captura o extracción de especies.

#### Captura.

Cantidad de organismos en número o peso que se obtiene como consecuencia de la actividad de pesca, también conocida como *mortandad por pesca*. Si se suma a la cantidad de organismos en número o peso que mueren por causas diferentes a la pesca (*mortandad natural*) se obtiene la *mortandad total*. (Nota: debe diferenciarse de la *tasa de mortalidad*.)

### Captura por unidad de esfuerzo.

Expresa el número de organismos capturados, entre una unidad de esfuerzo pesquero, aplicado en un área y tiempo determinado. Supone que el número de peces capturados es proporcional a su abundancia total y se traduce como la abundancia relativa del recurso en cuestión.

### Eficiencia de captura.

Se define como la proporción de los peces que tienen contacto con el equipo, los cuales se retienen en la captura. La eficiencia se puede aplicar en el sentido de las tallas de los peces de una misma especie o a la proporción de especies que se capturan como consecuencia del uso de un determinado equipo de pesca.

### Coefficiente de capturabilidad ( $q$ ).

Medida de la capacidad de un arte de pesca para capturar peces. Mientras más eficiente sea el arte, más alto será el coeficiente de capturabilidad.

### Esfuerzo efectivo ( $F_e$ ).

Se representa mediante la ecuación  $F_e=qf$  en donde  $q$  es el coeficiente de capturabilidad, es decir, la cantidad de mortalidad por pesca inducida sobre la población, por una unidad de esfuerzo nominal ( $f$ ).

### Selectividad.

Es la intensidad con la cual operan los procesos de selección; es decir el grado con el cual un proceso es selectivo. Se puede referir a la amplitud y fineza de la distinción hecha entre aquellos organismos que son tomados y aquellos que escapan del sistema de pesca. Se incluye una medida de la confianza propuesta en los procesos selectivos al no tomar otros individuos.

El método de cálculo de la curva de selectividad se obtiene mediante el ajuste a la ecuación logística (Ricker, 1975; Gulland, 1983):

$$S(L_t) = \frac{1}{1 + e^{S_1 - S_2(L)}}$$

donde:

S= selectividad;

$L_t$  = longitud del organismo (o clase de talla);

$S_1$  y  $S_2$  son las constantes de la ecuación lineal que relaciona el tamaño de la malla de la red y de los organismos capturados (Sparre y Venema, 1995).

El resultado se presenta como una probabilidad de que el organismo escape de la red a través de la malla por su talla. En términos prácticos  $L_{50}$  es la talla en que la probabilidad de escape es la misma que la de enmalle.

#### Especie objetivo.

Es la especie para la cual las autoridades del ramo pesquero han extendido un permiso, autorización o concesión, considerando que tiene potencial como recurso susceptible de ser aprovechado, sin exceder el esfuerzo pesquero que puede ser sostenible.

#### Pesca (captura) dirigida.

Se aplica cuando de manera premeditada un pescador ha decidido capturar a determinada especie o grupo de especies, de las cuales puede o no tener el permiso, autorización o concesión respectiva; por ejemplo, ir a pescar huachinango con un permiso para la pesca de escama, o ir a pescar dorado con un permiso para la pesca de tiburón.

#### Captura incidental.

La de cualquier especie no comprendida en la concesión, permiso o autorización respectiva, ocurrida de manera fortuita. A la captura incidental que se obtiene como resultado de la operación de las redes de arrastre camaronero se le llama "fauna de acompañamiento".

### Bycatch.

Es un término en idioma inglés, que de acuerdo con diferentes autores puede tener varios significados entre los que destacan los siguientes:

- a) Es la o las especies almacenadas y vendidas, que son producto de las faenas de pesca sin ser objeto de captura;
- b) Especies de distintos tamaños y sexos que son devueltas al mar, como resultado de consideraciones económicas, legales o personales;
- c) Las especies no-objetivo, conservadas y vendidas, más lo que se desecha.

### Pesca industrial.

Es la que se realiza en embarcaciones de mediano o gran calado equipadas con tecnología pesquera y sistemas de orientación imprescindibles en mar abierto, y cuyo producto se destina mayoritariamente a la venta en un mercado más amplio (nacional y/o internacional). La pesca industrial puede dividirse en pesca de altura y pesca de mediana altura.

### Pesca de altura.

En México es la que se realiza por embarcaciones de gran calado, generalmente superiores a los 27 m de eslora y se caracterizan porque tienen una autonomía superior a los quince días fuera de su puerto base de operaciones (*v.gr.* barcos atuneros, barcos palangreros).

### Pesca de mediana altura.

Se realiza por barcos con eslora mayor de 10 m y menor que 27 m que cuentan con una máquina propulsora estacionaria, con una autonomía entre 10 y 15 días. Generalmente cuentan con una cubierta corrida, bodegas para almacenamiento de la captura y una caseta con espacio para el puente de mando, cocina y literas para la tripulación. A diferencia de la pesca de altura, el área de influencia de sus operaciones se restringe a una región que rara vez cubre los litorales equivalentes a tres estados de la República mexicana.

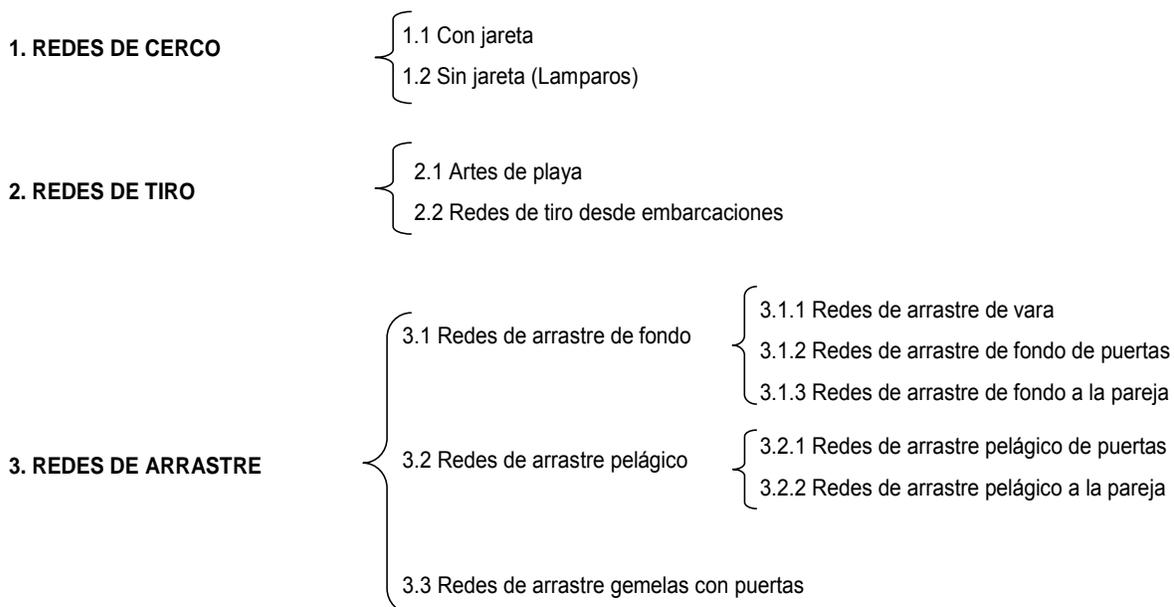
### Pesca ribereña o artesanal.

Es la actividad pesquera en que se utilizan artes de pesca no automatizadas y embarcaciones de pequeño calado (cayucos, pangas, lanchas de fibra de vidrio), que captura en aguas ribereñas patrimoniales y cuyo volumen de captura se destina a la subsistencia y/o a la venta en un mercado local, regional o nacional.

### Definición y clasificación de las diversas categorías de artes de pesca.

En el Cuadro 1 se presenta un diagrama en el cual se clasifican las diversas categorías de las artes de pesca, reconocida en todo el mundo por la International Standard Statistical Classification of Fishing Gear (ISSCFG), y que recomienda la FAO. Estas definiciones y clasificaciones son válidas para las pesquerías continentales y marítimas en todo el mundo y para las pesquerías en pequeña, mediana y gran escala:

Cuadro 1.  
Clasificación de las diversas categorías de artes de pesca de acuerdo con la FAO  
(Nedelec y Prado, 1990)



<b>4. RASTRAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4.1 Rastras para embarcación</li> <li>4.2 Rastras de mano</li> </ul>
<b>5. REDES IZADAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5.1 Redes izadas portátiles (Balanzas)</li> <li>5.2 Redes izadas maniobradas desde embarcación</li> </ul>
<b>6. REDES DE CAÍDA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>6.1 Esparaveles (Atarrayas)</li> <li>6.2 Redes de caída (Copos o cucharas operadas a mano)</li> </ul>
<b>7. REDES DE ENMALLE Y DE ENREDO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>7.1 Redes de enmalle caladas</li> <li>7.2 Redes de enmalle de deriva</li> <li>7.3 Redes de enmalle de cerco</li> <li>7.4 Redes de enmalle fijas (en estacas)</li> <li>7.5 Trasmallos</li> <li>7.6 Redes combinadas de enmalle-trasmallo</li> </ul>
<b>8. TRAMPAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>8.1 Almadrabas</li> <li>8.2 Nasas</li> <li>8.3 Garlitos</li> <li>8.4 Biturones</li> <li>8.5 Barreras, Cercotes, Encañizadas, Corrales, etc.</li> <li>8.6 Trampas aéreas</li> </ul>
<b>9. ANZUELOS Y LÍNEA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>9.1 Líneas de mano y caña (manuales)</li> <li>9.2 Líneas de mano y caña (mecanizadas)</li> <li>9.3 Palangres calados</li> <li>9.4 Palangres a la deriva</li> <li>9.5 Palangres (sin especificar)</li> <li>9.6 Curricanes</li> </ul>
<b>10. ARTEFACTOS DE HERIR Y AFERRAR</b>	<p style="margin-left: 40px;">→ Arpones, ganchos, etc.</p>
<b>11. MÁQUINAS DE RECOLECTAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>11.1 Bombas</li> <li>11.2 Dragas mecanizadas</li> </ul>
<b>12. VARIOS</b>	<p style="margin-left: 40px;">→ Venenos, explosivos, animales entrenados, pesca con electricidad, pesca a mano, etc.</p>

## 2.1. La pesca en México

Al analizar los valores de la pesca en México y en comparación con el resto del mundo, Rodríguez de la Cruz (1988) y Ruiz-Durá (1990), coinciden en que poco a poco el país se está industrializando y de ocupar el lugar 19 en la producción mundial en 1979, subió al lugar 13 en 1988 de acuerdo con la FAO (2002), el octavo en la captura de túnidos, el noveno en camarón y sardina y el décimo en tiburones.

México tiene poca tradición pesquera, concentrada en las costas de lagos y mares, y mucho menos en lagos y ríos. Como referencia, algunos valores comparativos indican que, a nivel mundial, el consumo humano *per capita* de pescado es de 11 kg por año, en América Latina de 7 kg y en México solamente de 4.5 kg.

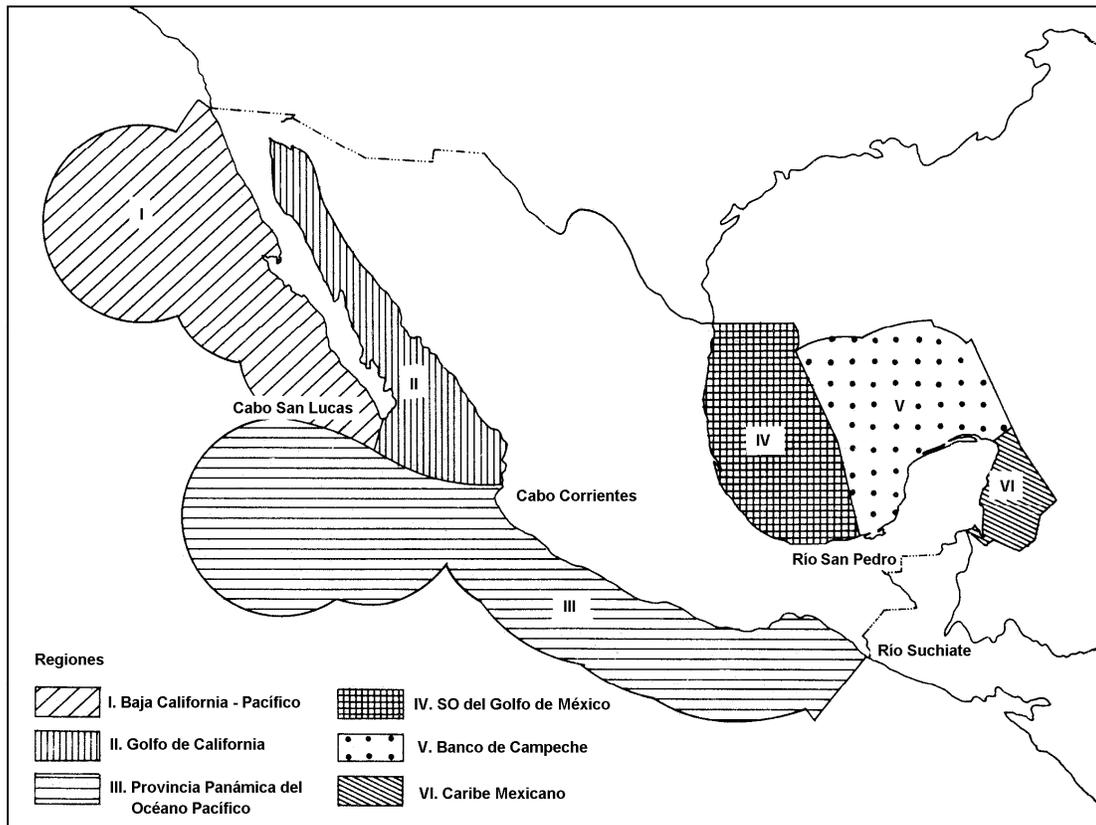
Aún así, la captura aumentó durante unas décadas: en 1979 se pescó un millón de toneladas y en 1981, 1.4 millones de toneladas. Aparentemente se ha llegado a un máximo de captura en 1998, en que se capturó 1.2 millones de toneladas. El anuario estadístico de pesca registró para 2002 una producción de 1.4 millones de toneladas.

Como resumen de proporcionalidad, la superficie de la República Mexicana es de 1,969,229 km<sup>2</sup>, mientras que la superficie de la ZEE (zona económica exclusiva) es de 2,892,000 km<sup>2</sup>. Las costas de México suman casi 10,000 km para los cuatro mares: 6,608 km en el Pacífico, y 2,611 km en el Atlántico. La superficie de la plataforma continental, hasta los 200 m de profundidad, es de 153,000 km<sup>2</sup> en el Pacífico y 235,000 km<sup>2</sup> en el Atlántico. Es en esta última área donde se efectúa la pesca.

En general la superficie marina de México, puede dividirse por sus características oceanográficas, corrientes, fondos y especies, en las seis regiones que se presentan en la Figura 2 (Ruiz-Durá, 1990):

- I. Baja California-Pacífico
- II. Golfo de Baja California
- III. Región Panámica del Océano Pacífico
- IV. Suroeste del Golfo de México
- V. Banco de Campeche
- VI. Caribe Mexicano

Figura 2.  
Zona Económica Exclusiva de México y las regiones oceánicas (tomado de Ruiz-Durá, 1990).



La historia de la pesca en México se remonta a hace 2,500 a 3,000 años. Se sabe que había una red de ciudades que poseían sistemas de escrituras y mantenían relaciones políticas y comerciales desde el valle de México con ambas

costas. Hay evidencias de que utilizaban profusamente organismos acuáticos como alimento, pero también como vasijas, instrumentos musicales, adornos y ritos. En tumbas se han encontrado restos de coral, conchas y escamas de pescados. Eran tributos y pagos a los “Señores”: sal de salinas, pescado seco, cuentas de piedra roja (de coral) y conchas (Sevilla, 1983). A comienzos del siglo XV, las grandes ciudades del Valle de México como Texcoco, Tenochtitlan y Tacuba eran lacustres. El anecdotario histórico recuerda que Moctezuma gustaba de comer pescados marinos frescos y que le eran transportados hasta el altiplano desde las ciudades costeras del Golfo de México. A la caída del Imperio, durante la Colonia y el México Independiente, la pesca fue, en general, de subsistencia y localizada en las zonas ribereñas. Durante el virreinato hay noticias de prosperidad del Puerto de Acapulco y colecciones de peces del Pacífico Este se hicieron famosas durante el siglo de las luces en Europa. En esta época existe una extracción de ostra perlífera, caza de ballena y otros mamíferos marinos, practicada por extranjeros en la costa occidental de Baja California. Hacia principios del siglo XIX, Alejandro de Humboldt comenta sobre la existencia de instituciones científicas mexicanas, pero no se tiene noticias de estudios sobre peces marinos durante la colonia (Madrid-Vera, 1998).

Aparentemente la pesca como actividad registrada oficialmente comienza a fines del siglo XIX, como se indica en el Cuadro 2, con los principales eventos oficiales en materia pesquera, tomado de Cifuentes-Lemus (1992) y se complementa con información recopilada por Alcalá-Moya (2003):

Cuadro 2.  
La pesca en México. Evolución de la administración pública y disposiciones en materia pesquera.

Año	Evento
1871	Se estatuyen por primera vez lineamientos relativos a la producción y protección de las especies y a la regulación de las pesquerías.
1891	Creación de la Oficina de Piscicultura, dependiente de la Secretaría de Fomento.
1915	Se establece la Dirección de Estudios Biológicos, iniciando así la participación directa en la Investigación Científica Pesquera.
1917	Creación de la Secretaría de Agricultura y Fomento, de la cual forma parte la Dirección

- Forestal de Caza y Pesca, cuya función es controlar y vigilar la explotación de la flora y fauna acuática.
- 1919 Se expide un acuerdo para proteger a los pescadores ribereños y se les otorgan para la explotación pesquera en zonas determinadas de los Estados de Nayarit, Michoacán, Sinaloa y Guerrero.
- 1923 Se crea la Dirección de Pesquerías, dependiente de la Secretaría de Agricultura y Fomento, la cual regula, fomenta y desarrolla la actividad pesquera. También se establecen agencias y oficinas de inspección en diversos puntos de la República. Se crea la estación de Biología Marina del Golfo de México en el Puerto de Veracruz.
- Las primeras estadísticas de pesca registran 20 mil toneladas de captura durante los años veinte.
- 1925 Primera Ley de Pesca que regula la explotación de los recursos naturales; se hace referencia a pescadores nacionales, la conservación de especies, determinación de vedas, zonas de reserva, servicios de inspección y vigilancia.
- Se establecen zonas preferenciales de explotación pesquera para uso exclusivo de los habitantes de regiones litorales en Mezcaltitlán, Nayarit, Escuinapa, Chametla y Aguaverde, Sinaloa.
- Unificación del gremio pesquero en cooperativas, que integra hasta 36 sociedades de este tipo.
- 1934 Se crea el Departamento Forestal y de Caza y Pesca, el cual realiza las actividades de la Dirección de Pesquerías (que deja de existir) y además se ocupa de la protección, investigación y propaganda de las actividades pesqueras, así como de la educación y capacitación de los recursos humanos a través de los Institutos de Enseñanza Superior Forestal y Caza y Pesca, y el de Investigación Forestal y Caza y Pesca.
- 1938 Se expide la Ley de Pesca en Aguas Territoriales Mexicanas del Océano Pacífico y Golfo de California, por medio de la cual se regula la pesca comercial y deportiva, en especial la efectuada por naves con matrícula extranjera.
- 1939 Se crea el Departamento de Marina Nacional, a cuya Dirección General de Pesca e Industrias Conexas se le asignan atribuciones del Departamento Forestal y Caza y Pesca.
- 1940 El Departamento de Marina se transforma en Secretaría de Marina, a la cual sigue perteneciendo la Dirección General de Pesca e Industrias Conexas. Se funda el Banco Nacional de Fomento Cooperativo, S.A. de C.V. que atiende el apoyo crediticio a la actividad pesquera.
- Las estadísticas pesqueras registran 40 mil toneladas de captura, que se duplican en 1945.
- 1946 Se crea la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en la cual queda adscrita la Dirección de Lagunas Litorales.
- 1947 La Dirección de Lagunas Litorales amplía sus funciones que eran propiamente de acuacultura, al instaurar su Sección de Fomento a la Pesca.
- 1950 Se promulga la Ley de Pesca de los Estados Unidos Mexicanos.
- La captura alcanzó 70 mil toneladas registradas en las estadísticas pesqueras, con la producción de sardina y camarón como las más importantes de camarón.
- 1956 Nueva marca en el registro de la captura de casi 100 mil toneladas, con 45 mil toneladas.
- 1958 Al transformarse la Secretaría de Economía en Secretaría de Industria y Comercio, la Dirección General de Pesca e Industrias Conexas, así como la Comisión para el

Fomento de la Piscicultura Rural pasan de la Secretaría de Marina a esta Secretaría.

Se crea dentro de la Secretaría de Industria y Comercio, el Instituto Nacional de Investigaciones Biológico-Pesqueras; la Dirección de Lagunas Litorales con su sección de Fomento a la Pesca sigue dependiendo de la Secretaría de Recursos Hidráulicos; las atribuciones en materia de educación y capacitación pesqueras correspondientes a la Secretaría de Marina, pasan a ser funciones de la Secretaría de Educación Pública. Se funda el Banco Nacional de Crédito Ejidal, con un Departamento de Piscicultura y se crea la Comisión Nacional de Piscicultura Agrícola.

1960 En esta década (hasta 1965) las estadísticas registran un incremento en la producción de ostión por el semicultivo iniciado en diversas regiones. Las estadísticas exageran, porque consideran el peso de la concha.

Se alcanzan 140 mil toneladas de producción pesquera.

1961 Se establece la Comisión Nacional Consultiva de Pesca, órgano de asesoramiento y consulta permanente de la Secretaría de Industria y Comercio.

Se impulsa la explotación del atún.

1962 En la Secretaría de Agricultura y Ganadería se crea la Dirección General de Piscicultura Agrícola.

1966 Se expide la Ley sobre la Zona Exclusiva de Pesca de la Nación, mediante la cual los Estados Unidos Mexicanos fijan su jurisdicción exclusiva para fines de pesca, de la explotación de los recursos vivos del mar dentro del mar territorial.

1968 El registro de producción pesquera llega a 240,000 toneladas.

Se estudian bancos importantes de sardina dentro del Golfo de California, con lo cual se incrementa la captura.

1971 El Instituto Nacional de Investigaciones Biológico-Pesqueras se transforma en el Instituto Nacional de Pesca.

La Dirección General de Pesca e Industrias Conexas de la Secretaría de Industria y Comercio, se convirtió en la Subsecretaría de Pesca de esa misma Secretaría, integrada por cuatro Direcciones (Tecnología Pesquera, Regiones Pesqueras, Planeación y Promoción Pesquera, y Capacitación y Fomento Cooperativo), así como por el Instituto Nacional de Pesca. Se creó asimismo la Dirección de Acuicultura como dependencia de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Al transformarse el Departamento de Asuntos Agrarios y Colonización en Secretaría de la Reforma Agraria, se crea la Dirección General de Ejidos Pesqueros, que después viene a denominarse de Desarrollo Pesquero Ejidal, dependiente de la misma Secretaría.

1972 La Ley Federal para el Fomento de la Pesca ratifica como especies reservadas a cooperativas la captura o explotación de las especies de abulón, langosta de mar, camarón, totoaba, cabrilla, almeja pismo y tortuga marina. Asimismo se autorizó la creación del Fondo Nacional de Fomento de Sociedades Cooperativas. Por otra parte, los centros de capacitación que funcionaban bajo la coordinación de la Secretaría de Industria y Comercio, se encomiendan a la Dirección General de Ciencias y Tecnología del Mar, dependiente de la Secretaría de Educación Pública.

Por otra parte, el Gobierno Federal incrementa su participación en el sector pesquero mediante la creación de entidades paraestatales, entre las que destacan: Productos Pesqueros Mexicanos, S.A. de C.V. (conjunto de empresas cuya función principal consiste en capturar, industrializar y comercializar los productos pesqueros), Fideicomiso para la Prevención y Control de las Aguas y Desarrollo de la Fauna Acuática, Fideicomiso Único para el desarrollo de la Fauna y Flora Acuáticas, Fideicomiso para Otorgamientos de Créditos a favor de Cooperativas Pesqueras para la

- Adquisición de Barcos Camaroneros, Fideicomiso para la Investigación y Educación Pesquera y Fideicomiso Fondo Nacional de Fomento Cooperativo Pesquero.
- 1976 Se establece la zona económica exclusiva (ZEE) de las 200 millas náuticas, facultando a la Nación a ejercer los derechos de soberanía y las Jurisdicciones que determinen el Congreso, la Ley de Impuestos y Derechos a la Explotación Pesquera, la ley relativa a la ZEE, así como la firma de los convenios de pesca entre México y Cuba, y entre México y los Estados Unidos de América.
- Se integran en el Departamento de Pesca todas aquellas funciones dispersas en diferentes secretarías del Estado, que inciden en la materia a fin de establecer una política unitaria y congruente.
- 1982 Se forma la Secretaría de Pesca.
- 1994 Desaparece la Secretaría de Pesca y sus atribuciones se fusionan con la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP).
- Se crea la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).
- 2000 Se desincorpora la pesca de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales para ser incorporada en la recién creada Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), y como órganos desconcentrados CONAPESCA (Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura) y el INP (Instituto Nacional de la Pesca).
- 

## Ejercicio:

### Descripción de la unidad de pesquería.

Para establecer la investigación en **ciencia pesquera** es recomendable preparar un análisis sobre las pesquerías para obtener un conocimiento claro y conciso de ellas en un país, cualquiera que sea su grado de desarrollo, lo cual contribuye a organizar los conocimientos que se tienen sobre los diferentes sistemas de la industria, identificando la falta de conocimiento y por lo tanto las diferencias de la situación pesquera con la que se cuenta en un momento dado, pudiendo detectar oportunidades para promover los cambios necesarios.

La descripción de la Unidad pesquera comprende los siguientes temas:

### DESCRIPCION DE UNA UNIDAD DE PESQUERÍA

#### 1. RECURSOS

- 1.1 Nombre científico y común.
- 1.2 Situación geográfica.
- 1.3 Situación ecótica.
- 1.4 Contornos de densidad.

- 1.5 Estructura de la población.
- 1.6 Biomasa.
- 2. UNIDAD DE PESCA Y FLOTA
  - 2.1 Tipo.
  - 2.2 Barco.
  - 2.3 Tipo de mano de obra, número.
  - 2.4 Equipo de pesca, tipo, cantidad.
  - 2.5 Capacidad.
- 3. RÉGIMEN DE PESCA
  - 3.1 Base de operaciones y puertos de descarga.
  - 3.2 Temporada.
  - 3.3 Operaciones.
    - 3.3.1 Descripción de las operaciones.
    - 3.3.2 Promedio diario de operaciones.
    - 3.3.3 Duración media del viaje y viajes por temporada.
    - 3.3.4 Evaluación del esfuerzo potencial.
  - 3.4 Ubicación de áreas de pesca.
  - 3.5 Reglamentación.
  - 3.6 Esfuerzo: unidades, intensidad.
- 4. EMPRESAS PRODUCTORAS
  - 4.1 Organización institucional.
  - 4.2 Sistemas de dirección.
  - 4.3 Distribución de las capturas, en términos físicos y monetarios.
- 5. CAPTURA
  - 5.1 Producción: volumen y valor.
  - 5.2 Composición: por especies, sub-especies o variedades y por tamaño, edad y otras categorías.
  - 5.3 Rendimiento: por unidades de esfuerzo y por unidad de área.
  - 5.4 Índices de explotación.
- 6. ELABORACION
  - 6.1 Elaboración y producto.
  - 6.2 Equipo y organización industrial.  
Cuadro indicando ubicación, capacidad instalada, capacidad utilizada y producción de cada una de las plantas.
- 7. DISTRIBUCION
  - 7.1 Almacenamiento.
  - 7.2 Transporte.
  - 7.3 Canales.

## 8. MERCADEO

- 8.1 Mercado interno.
  - 8.1.1 Análisis de abastecimiento.
  - 8.1.2 Análisis de demanda (consumo).
- 8.2 Mercado externo.
  - 8.2.1 Análisis de abastecimiento.
  - 8.2.2 Análisis de demanda.

## 9. DISPONIBILIDAD DE INFRAESTRUCTURA Y SU UTILIZACION POR ESTA PESQUERIA

- 9.1 Transporte: carretera, ferrocarril, aéreo, marítimo.
- 9.2 Suministro de energía eléctrica.
- 9.3 Suministro de agua.
- 9.4 Comunicaciones.

## 10. DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS Y SUMINISTROS DE INDUSTRIAS SUBSIDIARIAS Y SU UTILIZACION POR ESTA PESQUERIA

- 10.1 Fábricas de hielo.
- 10.2 Congeladores y almacenes.
- 10.3 Astilleros y muelles.
- 10.4 Fábricas de artes de pesca.
- 10.5 Piezas de recambio y talleres de reparación.

## 11. FINANZAS

- 11.1 Capitalización (origen y costo de los fondos).
- 11.2 Banca (disponibilidad y costo de los préstamos).
- 11.3 Cargas financieras en las operaciones: amortización, depreciación, seguros.

## 12. DIAGNOSIS

- 12.1 Medidas físicas de eficacia operativa.
- 12.2 Evaluación alimentaria: utilización de las capturas; tasa de consumo.
- 12.3 Valoración monetaria; costos y ganancias.
- 12.4 Evaluación de las inversiones; IRR y WPV.
- 12.5 Beneficio en el costo social y análisis del mismo.

### Modelo Generalizado de una Pesquería.

Las relaciones que presenta un complejo pesquero inician a partir de un recurso pesquero y terminan hasta su consumo por la comunidad humana: el **recurso** se encuentra en un **hábitat** determinado y su abundancia depende de las características biológicas de su dinámica poblacional, así como de las relaciones

que guarde con el **medio ambiente**. La **unidad de pesca** que engloba al **equipo de pesca** operado por los **pescadores** tienen cierto rendimiento que se mide en forma de **captura retenida**, que se convierte en el **producto**, el cual va a ser consumido por la **comunidad humana**, quienes pagan a los pescadores el costo de todas las **operaciones** desde la captura hasta la **comercialización**.

La **biología pesquera** se inició como una tarea dedicada a describir las especies y el ciclo vital de las que son importantes para la pesca. Muy pronto, sin embargo, se relacionó con problemas de **dinámica poblacional**: crecimiento y reclutamiento, para entender las fluctuaciones que se presentaban en las capturas, lo que podría indicar el efecto que la pesca ejerce sobre el recurso, con el fin de proponer métodos para su reglamentación y así no ponerlo en peligro.

En la actualidad la biología pesquera, presenta datos que permiten comparar el reclutamiento y la mortalidad de las especies para conocer la estructura de la población en diferentes puntos del tiempo. Es así como se conoce la dinámica y puede calcularse el rendimiento sostenible de la especie que se captura, estableciendo modelos de predicción que permiten aprovechar racionalmente los recursos, y a la industria programar sus inversiones.

La tecnología pesquera, como parte de la ciencia pesquera, inició su desarrollo a partir de los años 50, avanzando ampliamente en el campo de la tecnología de captura y más lentamente en la tecnología del proceso. Durante esta época un grupo de economistas luchaba contra el escepticismo e incursionaron en el campo de la pesca creando una nueva rama: la economía pesquera, complementando lo que en la actualidad se debe de entender como ciencia pesquera, es decir, el conjunto de conocimientos, biológicos, tecnológicos y económicos que permiten conocer los sistemas que maneja la industria pesquera.

### Relación entre la biología pesquera y la tecnología de capturas.

La tarea principal de las ciencias pesqueras es evaluar y controlar los recursos pesqueros. La pesca comercial y las faenas exploratorias de tipo comercial constituyen medios importantes para la recopilación de los datos respectivos sobre la magnitud, fluctuaciones, composición, distribución, migraciones, etc., y para evaluar las repercusiones de la pesca (mortalidad por pesca) en las poblaciones de peces. En este aspecto es fundamental la participación de la tecnología de capturas que necesariamente tiene su ámbito de operación en la pesca comercial.

Históricamente ha existido cierto grado de rivalidad entre los biólogos pesqueros y los tecnólogos pesqueros. Esto puede ser atribuido a que la tecnología pesquera es relativamente más nueva que la biología pesquera y su desarrollo, aunque ha sido diferente en la práctica, ha tenido que iniciar como un auxiliar de los biólogos pesqueros y, aunque en ciertas especialidades ha llegado a alcanzar su plenitud, las estructuras administrativas y prioridades de programación presupuestaria no la han ubicado en la igualdad jerárquica que en realidad le corresponde.

La relación de la **tecnología de capturas** con la **biología pesquera** debe ser muy estrecha y comprende en diversos grados todas las funciones principales como el comportamiento de los peces, sus migraciones, ciclo biológico y hábitos alimentarios, con respecto a las artes, embarcaciones y operaciones de pesca.

La información requerida por los biólogos pesqueros es una clasificación de las propiedades del equipo de pesca que incluya: el tamaño, la composición de la captura obtenida, las características esenciales de orientación y operación para la localización, y el comportamiento de los peces.

### La selectividad.

Por muchos años se han estudiado las relaciones entre las propiedades físicas de los equipos de pesca y la composición de las capturas. Su propósito ha sido primero verificar, con evidencia científica: la existencia de una observación común de que el equipo de pesca es selectivo; luego medir el grado de selección que sus varios componentes ejercen y determinar cual de sus propiedades estructurales podría ser modificado para seleccionar del stock ventajosamente y finalmente encontrar modificaciones apropiadas.

La naturaleza de la selectividad de los equipos de pesca varía para diferentes especies, tanto como para grupos o individuos de la misma especie que poseen diferentes atributos. Sin embargo, la mayoría de los estudios sobre selectividad se han enfocado en los factores que afectan el tamaño de los peces capturados, a partir de que el rendimiento óptimo para las pesquerías están usualmente definidos en términos de un tamaño individual apropiado en el cual se debería de capturar un stock.

El análisis de los factores que causan variación en el grado de vulnerabilidad de los diferentes tamaños de grupos a varios tipos de equipos de pesca es uno de los objetivos principales de los investigadores de la selectividad de los equipos de pesca. Para esto se requiere información detallada de las tallas del stock expuestos en las principales pesquerías. Actualmente se cuenta con diferentes grados de conocimiento sobre la acción selectiva de anzuelos, redes agalleras y redes de arrastre, pero existe todavía un amplio potencial de estudios sobre esta materia.

Los procesos selectivos dentro de la población son aquellos que determinan la accesibilidad y la vulnerabilidad de la población o de partes de ella al equipo de pesca. Las diferencias en la distribución y comportamiento de diferente grupos de edad, sexo o tamaño pueden hacer que uno o más de estos grupos sea más o menos viable para la captura que otros. La distribución particular del esfuerzo de

pesca puede favorecer la selección del área que ocupa alguna porción de la población en particular, incrementando los efectos de la selección de la flota. Si el equipo de pesca es selectivo para un grupo que es accesible y vulnerable, entonces la selectividad total resultante será alta y el equipo será tasado como de alta eficiencia; pero en otra situación, los procesos internos pueden no estar relacionados con los procesos de selección de los equipos y aunque la selectividad de éstos fuera alta, no habrá medida de ella y en adición habrá una aparente baja eficiencia.

Una especie puede en general estar disponible para una pesquería, accesible a cierto tipo de equipo de pesca, y el éxito de la operación depende de la vulnerabilidad del pez al equipo de pesca. La vulnerabilidad está determinada por aquellas características particulares de los mecanismos del comportamiento de los organismos, los cuales responden a aspectos particulares de su ambiente en el tiempo de operación de los procesos de captura. Por esta causa, cada organismo se afecta de modo diferente por los procesos de captura. Por ejemplo, el apetito de ciertas especies de peces por distintos tipos de carnada en un tiempo dado lo hace vulnerable a la pesca por medio de anzuelos con un tipo de carnada particular y su vulnerabilidad a una red de enmalle será poco efectiva en ese momento.

### 3. TEORÍA DE MUESTREO

La evaluación de poblaciones de peces requiere datos que representen por completo a la población de peces que se capturan comercialmente, por lo tanto, individuos reclutados al área o arte de pesca.

Para ello es importante conocer a fondo la actividad pesquera de donde proviene la información y conocer el producto de la actividad, fuentes de sesgos y fuentes de variación.

Como buen ejercicio debe hacerse un diseño de muestreo teórico completo y ajustarlo posteriormente a un diseño posible desde el punto de vista práctico: económico y humanamente posible. El muestreo piloto ayuda a calibrar en términos realistas el trabajo de campo sistemático que se hará.

Un aspecto muy importante para la decisión del tipo de muestreo es el planteamiento del diseño sobre la base de los objetivos.

#### Elementos de estadística básica.

La estadística ha sido una herramienta esencial en el estudio de la dinámica de las poblaciones. La gran abundancia de los individuos que forman las poblaciones de los llamados recursos pesqueros imposibilita el análisis del total de esas agregaciones, por lo que el muestreo ha sido una herramienta esencial para el estudio de estas agrupaciones de individuos. Por tanto es importante repasar algunos conceptos estadísticos.

La estadística se puede definir como un conjunto de técnicas metodológicas que se utilizan para coleccionar, ordenar, organizar y analizar información con la que se obtendrán conclusiones con cierto grado de precisión.

Para el análisis de la información se utilizan varias técnicas: análisis de varianza, análisis de regresión, prueba de hipótesis, etc. Existen dos áreas en la estadística: a) la descriptiva y b) la inferencial.

a) Descriptiva: donde las conclusiones son válidas para el conjunto analizado y los resultados son precisos y 100% seguros.

b) Inferencial: las conclusiones se obtienen para un conjunto mayor del analizado. Los resultados tienen cierta precisión y cierto grado de confiabilidad que se mide como una probabilidad de ocurrir.

Dado el tipo de datos y su distribución alrededor de su valor medio, la información debe analizarse con métodos de a) estadística paramétrica o b) no-paramétrica.

a) Estadística paramétrica: se basa en metodologías aplicadas al conjunto de datos que siguen una distribución normal (ejemplo: la talla de los organismos de la misma edad).

b) Estadística no paramétrica: es la que se aplica a un conjunto de datos que no sigue una distribución normal y es válida para cualquier tipo de distribución libre (ejemplo: las tallas de una población).

Un parámetro es una constante que depende de todos los elementos de la población. Una medida descriptiva calculada a partir de los datos.

Una variable es una medición de una característica en una serie de individuos.

Variable aleatoria: no puede predecir los resultados, o sea, es un resultado impredecible que se obtiene al medir una característica en una serie de individuos.

Variable discreta: es la que toma valores a saltos, sin valores entre los datos particulares, o enteros.

Variable continua: toma valores continuos, puede ser de fracciones de las unidades.

Los análisis de datos en la dinámica de poblaciones sigue por lo general los conceptos, supuestos y restricciones de la estadística paramétrica: distribución normal, media, desviación estándar. En otras palabras, un muestreo aleatorio se basa en el supuesto de que las muestras se ubican alrededor de una media, con cierta varianza. Es importante, por tanto, recordar las medidas estadísticas que son una herramienta muy indispensable en el análisis de las poblaciones. Siendo éstas las siguientes:

### 3.1.- Medidas de tendencia central.

Media o promedio:  $\bar{X} = \frac{\sum x_i}{N}$

Comúnmente conocida como media aritmética y es la medida de tendencia central más conocida.

Mediana:  $m$  = valor que se encuentra a medio camino de los datos ordenados.

Valor que divide al conjunto de datos en dos partes iguales

Moda:  $mo$  = valor más frecuente o que ocurre con mayor frecuencia

### 3.2. Medidas de Dispersión.

Desviación de una observación con respecto a la media:

a)  $(x_i - \bar{X})$

b)  $\sum (x_i - \bar{X}) = 0$  (esta medida no tiene un uso adecuado por su resultado de 0)

c)  $DM = \frac{|x_i - \bar{X}|}{n}$  .. desviación media, tampoco tiene aplicación.

Varianza: Es el promedio del cuadrado de las distancias:

$$S_2 = \frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n} = \frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

La simbología “n - 1“, indica que si de los datos ya se ha obtenido algún parámetro estadístico, habrá que restarle al número de datos (n) el 1 (uno). Por ejemplo en el ejercicio siguiente se pide que se calcule la media del conjunto de datos (que son 27), por lo tanto al calcular la desviación habrá que restarle a 27 el dato 1 que corresponde a la media: (n - 1); 27 - 1 = 26

Desviación Estándar o Típica: es la raíz cuadrada de la varianza, el promedio de las distancias de cada observación.

$$S = \sqrt{S^2}$$

### 3.3. Medidas de Asociación.

Covarianza: es el promedio del producto de las desviaciones de dos variables. También es la materia prima para la correlación.

Coeficiente de Correlación: es el grado de asociación entre dos variables. Su valor puede estar entre +1 y -1:

- Si el Valor es: **1**, la correlación es positiva (directa y proporcional).
- Si el valor es: **-1**, la correlación es negativa (inversa y proporcional).
- Si el valor es: **0**, no existe correlación.

La máxima asociación positiva entre una variable es aquella que se da entre la variable con ella misma.

La máxima asociación negativa es la que se da entre la variable con el negativo de esa misma variable.

#### Ejercicio:

Los datos del Cuadro 3 se tomaron de una muestra extraída al azar, donde se determinó la longitud a 27 peces. Obtenga de éstos: la talla media, la varianza

y la desviación estándar. Realice este ejercicio completando el Cuadro 3.

Cuadro 3.  
Datos de longitud de 27 ejemplares de un pez.

Pez N° (i)	talla (xi)	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	14.20		
2	16.30		
3	14.80		
4	13.20		
5	16.90		
6	12.40		
7	14.30		
8	15.70		
9	15.30		
10	11.20		
11	12.90		
12	13.50		
13	18.20		
14	11.60		
15	18.50		
16	16.30		
17	15.50		
18	15.80		
19	13.20		
20	19.00		
21	12.00		
22	17.10		
23	15.40		
24	14.60		
25	14.00		
26	18.10		
n=	27	16.80	

Total =

Los datos anteriores se pueden arreglar en forma de una tabla de frecuencias que, para muchos propósitos, es más conveniente, como por ejemplo para representaciones gráficas. Se acomodan utilizando marcas de clase de la siguiente forma (Cuadro 4):

Cuadro 4.  
Arreglo de datos en clases de frecuencia

intervalo de clase	marca de clase (x <sub>i</sub> )	frec. (f)	f * x <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> - X	f * (x <sub>i</sub> - X) <sup>2</sup>
10.5 - 11.5	11	1	11	-4.074	16.6
11.5 - 12.5	12	3	36	-3.074	28.35
12.5 - 13.5					
13.5 - 14.5					
14.5 - 15.5					
15.5 - 16.5					
16.5 - 17.5					
17.5 - 18.5					
18.5 - 19.5					
Total		27	404		121.27

Obtenga la talla media, la varianza, la desviación y grafique los datos

### 3.4.- Formas de Distribución.

Distribución Normal: se refiere a la forma de distribución que se da cuando al graficar un grupo de datos, dan una curva en forma de campana. Ésta se observa en una gran variedad de casos diferentes, como los pesos de un grupo de organismos de la misma edad, cantidades de alimento consumido por ejemplares del mismo tamaño, etc.

La expresión matemática para una distribución normal es:

$$F_c = \frac{n * dL}{s\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2s^2}}$$

donde:

F<sub>c</sub> = frecuencia teórica o calculada

n = número de observaciones

dL = tamaño del intervalo

Los datos del Cuadro 5 son un ejemplo de un pequeño conjunto de datos de frecuencias de longitud que siguen aproximadamente la llamada distribución normal.

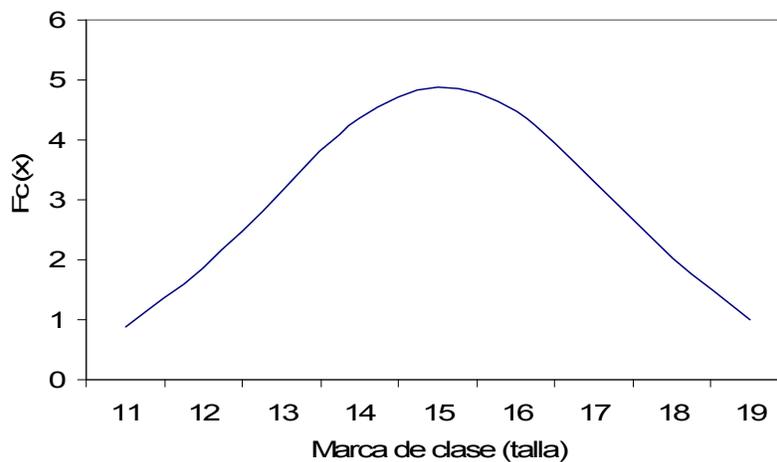
**Ejercicio:**

Utilizando los valores de la media, varianza y desviación del Cuadro 4, calcular las Fc para los diferentes valores de X (donde X, es la talla) que se dan en el Cuadro 5, graficar.

Cuadro 5.  
Frecuencia teórica por clase de talla

X (marca de clase)	Fc (frec. teórica)
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

Figura. 3.  
Distribución de frecuencia teórica en forma de distribución normal.



Los valores medios de todas las distribuciones observadas en biología pesquera se distribuyen aproximadamente en forma normal. Si se divide ambos lados de la ecuación de Fc por n veces (número de observaciones),

$$\frac{Fc}{n} = \frac{\dots\dots}{n}$$

los nuevos valores encontrados, sumarán casi 1. Cada valor indica la probabilidad de que un pez extraído al azar pertenezca al intervalo de longitud correspondiente.

Para los nueve intervalos de longitud del Cuadro 4 se obtienen las probabilidades del Cuadro 6.

Cuadro 6.  
Probabilidades de frecuencia de los intervalos de longitud.

Intervalo	Probabilidad
10.5 - 11.5	0.033
11.5 - 12.5	0.069
12.5 - 13.5	0.116
13.5 - 14.5	0.161
14.5 - 15.5	0.181
15.5 - 16.5	0.166
16.5 - 17.5	0.123
17.5 - 18.5	0.075
18.5 - 19.5	0.037
<b>Total</b>	<b>0.961</b>

Así por ejemplo, la probabilidad de que de 100 peces se extraiga uno al azar y que éste sea de una longitud entre 14.5 y 15.5 cm, es de 18.1%. Dicho de otra manera, de cada 1,000 peces 181 podrán ser del intervalo de longitud: 14.5 - 15.5.

Si se hubiesen incluido todos los intervalos de longitud (y no sólo los nueve para los cuales se tenían observaciones), las probabilidades habrían sumado 1.0; esto quiere decir que existe una probabilidad de 0.039 ó 3.9%, de que un pez extraído al azar presente una longitud fuera de las observadas (abajo de 10.5 y arriba de 19.5).

Con los datos de los cuadros 5 y 6, construir el Cuadro 7 y analizar las siguientes frecuencias:

- Frecuencia relativa teórica (probabilidad)
- Frecuencia relativa teórica acumulada
- Frecuencia relativa observada acumulada

**Ejercicio:** Completar el Cuadro 7.

Cuadro 7.  
Frecuencias teóricas y observadas por intervalo de talla.

Índice	Talla del intervalo	Frecuencia relativa teórica	Frecuencia relativa teórica acumulada	Frecuencia relativa observada	Frecuencia relativa observada acumulada
Cola	0.0 - 10.5	0.019	0.019	0.000	0.000
1	10.5 - 11.5	0.033	0.052	0.037(1/27)	0.037
2	11.5 - 12.5	0.069	0.121	0.111(3/27)	0.148
3	12.5 - 13.5	0.116			
4	13.5 - 14.5				
5	14.5 - 15.5				
6	15.5 - 16.5				
7	16.5 - 17.5				
8	17.5 - 18.5				
9	18.5 - 19.5				
Cola	19.5 - más	0.020	1.000	0.000	1.000

Los resultados de las diferentes frecuencias obtenidas se pueden graficar (Figura 4):

Figura 4.  
Frecuencia acumulada.



### 3.5.- Límites de confianza.

Al obtener la media de una serie de datos de una muestra no se puede estar 100% seguro de que esa sea la media de toda la población ( $\sigma$ ). Generalmente el valor medio de la población es desconocido (solo se puede inferir). Para que la media de toda la población sea la exacta habría que medir a cada uno de los integrantes de la misma, pero para un stock de peces esto es imposible.

La incertidumbre acerca de la media verdadera se expresa por los límites de confianza. En una distribución normal los límites de confianza están dados por:

$$L_{inf} = \bar{X} - \frac{t(n-1) * s}{\sqrt{n}}$$

$$L_{inf} = \bar{X} + \frac{t(n-1) * s}{\sqrt{n}}$$

donde:

n = número de datos

t (n-1) = percentiles de la t de students

El argumento **f** en la tabla de student se llama “Número de grados de libertad”. En general el número de grados de libertad es el número de observaciones menos el número de parámetros que ya han sido considerados (la media, desviación, etc.). Aquí **X** media es el único parámetro considerado en este ejercicio, por lo que al número de observaciones se le restará 1.

Cuadro 8.  
Valores de t student.

Grados de libertad (f)	90%	95%	99%	Grados de libertad (f)	90%	95%	99%
	t (f)	t (f)	t (f)		t (f)	t (f)	t (f)
1	6.31	12.70	63.60	15	1.75	2.13	2.95
2	2.92	4.30	9.93	16	1.75	2.12	2.92
3	2.35	3.18	5.84	17	1.74	2.11	2.90
4	2.13	2.78	4.60	18	1.73	2.10	2.88
5	2.02	2.57	4.03	19	1.73	2.09	2.86
6	1.94	2.45	3.71	20	1.73	2.09	2.85
7	1.90	2.37	3.50	<b>25</b>	1.71	<b>2.06</b>	2.79
8	1.86	2.31	3.36	<b>30</b>	1.70	2.04	2.75
9	1.83	2.26	3.25	40	1.68	2.02	2.70

10	1.81	2.23	3.17	50	1.67	2.01	2.68
11	1.80	2.20	3.11	60	1.67	2.00	2.66
12	1.78	2.18	3.06	80	1.67	1.99	2.64
13	1.77	2.16	3.01	100	1.65	1.98	2.63
14	1.76	2.15	2.98	$\infty$	1.65	1.96	2.58

### Ejercicio:

Con los datos del Cuadro 3, calcular los límites del 95% de confianza para la longitud media ( $X$ ) de los peces en la población de la que se extrajo la muestra. Se utiliza el percentil 95% del Cuadro 8 de  $t$  student con  $t(n-1) = 26$  grados de libertad y se inserta en la ecuación:

$$t(n-1) * s\sqrt{n} =$$

Para obtener los límites de confianza, resultando:

$$L \text{ inf.} =$$

$$L \text{ sup.} =$$

Así se tiene 95 % de confianza de que la verdadera longitud media yace en algún lugar entre 14.2 y 15.94, llamado éste el intervalo de confianza.

$\frac{S}{\sqrt{n}}$  es la desviación estándar de la media poblacional estimada (también llamado error estándar), de modo que esta media ( $\sigma$ ) tiene una varianza:

$$Var(\sigma) = \frac{S^2}{n}$$

### 3.6.- Muestreo Aleatorio Simple.

Cualquier pez de la población que se examina tiene exactamente la misma probabilidad de ser muestreado: no se escoge la muestra, por ejemplo, para que haya de todos los tamaños. Para ello debe definirse cuántos peces coleccionar para que la muestra sea una confiable representación de la población.

El tamaño de muestra es (Mendenhall, 1987; Daniel, 1991):

$$n = \frac{z * \delta}{d * x}$$

donde:

n = número de organismos o tamaño de muestra

z = coeficiente de confiabilidad (en tabla para 95%, = 1.96)

$\delta$  = error estándar

d = intervalo de confianza (0.1)

x = longitud promedio

### **Ejemplos:**

- 1.- Número de gónadas para determinar fecundidad
- 2.- Crecimiento con partes duras
- 3.- Número de embarcaciones para tomar muestras

### **Restricciones.**

Para la obtención de una muestra no sesgada o “insesgada”, debe considerarse el objetivo de la muestra, p.ej. la talla promedio de la población natural se sesgará si se utiliza un arte de pesca selectivo. Si se conoce la naturaleza del sesgo se estará en posibilidades de explicarlo y hacer los ajustes apropiados.

La extrapolación de la abundancia de peces por área, cuando los peces se agregan o se relacionan con un tipo de fondo.

En peces que viven varios años se obtiene en un mismo muestreo diferentes tallas que representan distintas edades, entonces se requiere de tamaño de muestra para cada “generación”.

### **3.7.- Distribución de frecuencia de tallas.**

Para la distribución de frecuencia de tallas o pesos de los individuos, el investigador debe decidir el número de clases que usará. La regla más común para decidir el número de clases que se debe de usar es encontrar el valor más

alto y restarle el menor, y ese margen dividir entre 20 clases. Normalmente se escogen las clases para que sean unidades completas y no fraccionadas, y en cuanto al número de clases, puede variar según la muestra que se va a analizar, y en muchas ocasiones la experiencia es la mejor regla (se pueden realizar varios juegos de clases con los mismos datos).

Una aproximación basada en una fórmula puede ser la regla de Sturges (Daniel, 1991):

$$k = 1 + 3.322 * (\log_{10} n)$$

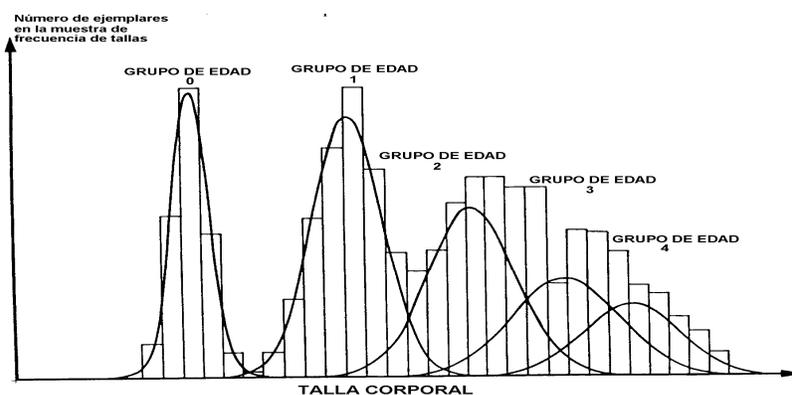
donde:

k = número de intervalos de clase

n = número de valores en el conjunto de datos en consideración

La figura 5 muestra distribuciones de talla estándar, con intervalos de clase de 2 cm. Si se hacen mayores los intervalos, se puede perder alguna moda, y por el contrario, si los intervalos se hacen más pequeños, pueden aparecer muchas modas que no son otra cosa que reflejo de un muestreo sesgado hacia las mediciones medias o enteras.

Figura 5  
Distribución de frecuencia de tallas y su interpretación como grupos de edad

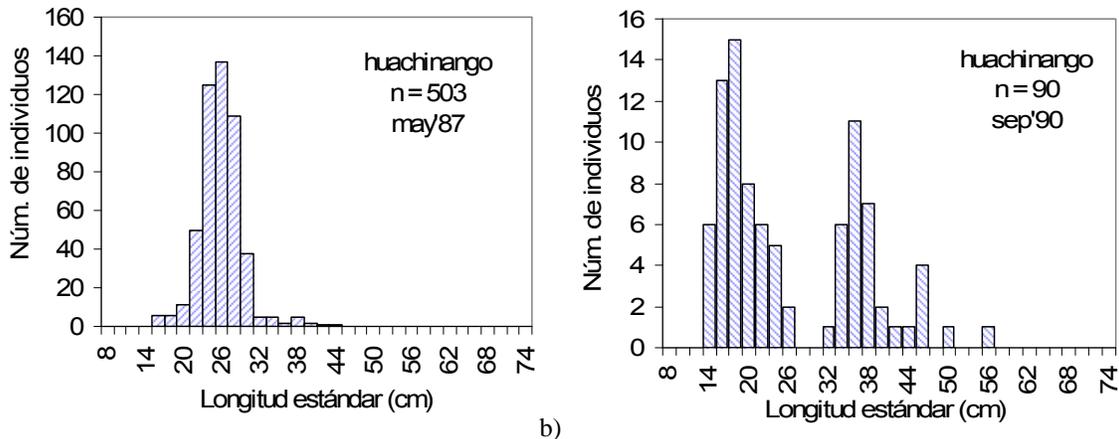


Tomado de Sparre y Venema (1995).

**Ejemplo:**

Las gráficas de la Figura 6 muestran diferentes situaciones de distribuciones de tallas para dos muestras muy diferentes. Aunque estas muestras pertenecen a la misma especie y fueron capturadas con el mismo arte de pesca, la diferencia en el tiempo está demostrando cambios en la población.

Figura 6.  
Distribución de frecuencia de longitud de huachinango *Lutjanus peru* de la captura comercial en el litoral colimense.



a) Nota: a) unimodal; b) bimodal o trimodal.

**Ejercicio:**

A un listado de tallas y pesos de una especie, encontrar la mejor distribución de frecuencia y describir la media, la mediana y la moda, y si es unimodal o no. Utilizar datos de recursos como erizo, jaiba, pepino de mar, algún pez como viejita, etc.

**3.8.- Muestreo Aleatorio Estratificado.**

Cuando sea necesario obtener muestras que representen a la población de una especie, pero su captura se realiza con distintos tipos de embarcaciones, lugares de desembarco, distintos horarios, diferentes artes de pesca, es necesario tomar muestras de los diferentes lugares de desembarque y/o de los diferentes artes de pesca empleados para la captura del mismo recurso.

**Restricciones:**

Se elevan los costos del trabajo en campo de toma de datos.

**Ejercicio:** describir forma de muestreo aleatorio estratificado en la costa de Jalisco, donde hay distintas zonas de acopio, distintas formas de pesca, distintas artes de pesca.

### 3.9.- Método de medias acumulativas.

Técnica utilizada en los estudios de diversidad, donde no se conoce cuántas especies se puede esperar encontrar y por lo tanto no se puede calcular el tamaño mínimo (Madrid-Vera, 1998):

$$St = A * (1 - e^{-bt})$$

y

$$St = \frac{at}{1 + bt}$$

donde:

St = número de especies en una muestra en el intervalo de tiempo t

b = tasa de adición instantánea de las especies por primera vez identificadas y sumadas a la lista total de especies sobre el tiempo y la asíntota A está dada por a/b.

### Ejemplos:

Contenido estomacal, donde cada estómago está lleno de una serie de organismos o porcentaje de grupo trófico, que se puede enlistar. Al revisar más estómagos, se alcanza el momento en que por más muestras que se incluyan, ya no se enriquece más la lista.

### Restricciones:

Es necesario hacer el análisis durante el muestreo para continuarlo hasta que se estabilice la curva asintótica.

### 3.10.- Análisis de regresión.

#### 3.10.1.- Linearización de una distribución normal.

La ecuación de una distribución normal está definida por la siguiente expresión:

$$Fc = \frac{n * dL}{s\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2s^2}}$$

y puede ser transformada a una ecuación lineal con los siguientes dos pasos:

a) Para convertir la distribución normal a parábola se aplica logaritmo a ambos lados de la ecuación:

$$\ln(Fc) = \ln\left[\frac{n * dL}{s\sqrt{2\pi}}\right] - \frac{(x - \bar{x})^2}{2s^2}$$

La relación funcional entre  $X$  y  $Y$  puede representarse gráficamente por una parábola de la fórmula general:

$$Y = a + bX + cX^2$$

y si se reemplazan los valores utilizados en el ejemplo del Cuadro 3, se obtiene:

$$Y = \ln\left[\frac{27 * 1}{2.2\sqrt{2\pi}}\right] - \frac{(x - 15.07)^2}{2 * 4.84}$$

$$Y = 1.59 - \frac{(x - 15.07)^2}{9.68}$$

b) Para convertir la parábola en línea recta (para la demostración de la linearización de una parábola, se utilizarán los datos del Cuadro 3 y con estos se construirá el Cuadro 7).

Para esto debe introducirse una nueva variable dependiente ( $Y'$ ), que va a ser la diferencia entre los logaritmos del número de una determinada clase de longitud y el número en la clase precedente.

$$Y' = \ln Fc(X + dL) - \ln Fc(X)$$

También se expresa de la siguiente manera:

$$Y' = \Delta \ln Fc\left(\frac{X + dL}{2}\right)$$

Y' debe de graficarse contra una nueva variable independiente (Z), que es equivalente a X más la mitad de la longitud del intervalo:

$$Z = X + \frac{dL}{2}$$

En seguida se inserta la ecuación:

$$\ln Fc = \ln\left[\frac{n * dL}{s\sqrt{2\pi}}\right] - \frac{(x - \bar{x})^2}{2 * s^2}$$

en la ecuación:

$$Y' = \ln Fc(X + dL) - \ln Fc(X)$$

$$(Y' = \ln Y_2 - \ln Y_1)$$

Con ello se obtiene:

$$\Delta \ln Fc = \left[ \ln\left(\frac{n * dL}{s\sqrt{2\pi}}\right) - \frac{[(X + dL) - \bar{X}]^2}{2s^2} \right] - \left[ \ln\left(\frac{n * dL}{s\sqrt{2\pi}}\right) - \frac{X - \bar{X}}{2s^2} \right]$$

quedando por tanto:

$$\Delta \ln Fc(z) = \left[ -\frac{[(X + dL) - \bar{X}]^2}{2s^2} \right] - \left[ -\frac{X - \bar{X}}{2s^2} \right]$$

$$\Delta \ln Fc(z) = \left[ -\frac{[(X + dL) - \bar{X}]^2 + (X - \bar{X})^2}{2s^2} \right]$$

Si se desarrolla la ecuación (elevando los cuadrados), se puede convertir en una ecuación más simple:

$$Y = \frac{dL * \bar{X}}{s^2} - \left[ \frac{dL(X + dL)}{s^2} \right]$$

$$Y = \frac{dL * \bar{X}}{s^2} - \frac{dL}{s^2} \left[ \frac{(X + dL)}{2} \right]$$

Lo que da como resultado la ecuación de la recta de la forma:

$$Y = m X + b$$

donde:

$$m = \frac{-dL}{s^2} \qquad b = \frac{dL}{s^2} (\bar{X})$$

Pero como:  $m = \frac{-dL}{s^2}$  ... entonces:  $b = m * \bar{X}$

$$\text{Por lo tanto: } \bar{X} = \frac{b}{-m} \qquad \text{y} \qquad s^2 = -\frac{dL}{m}$$

**Ejemplo:**

Con los datos tomados del cuadro 4, llenar la columna Ln Fc (en el Cuadro 9) y obtener la gráfica de la parábola y la gráfica de la linearización de ésta, graficando:

X vs Ln Fc    y    X vs Δ Ln Fc (z).

Cuadro 9.  
Frecuencia teórica para cada valor de X (longitud).

X	Fc	Ln Fc	Δ Ln Fc (z)
11	0.88		
12	1.85		
13	3.14		
14	4.35		
15	4.89		
16	4.48		
17	3.33		
18	2.02		
19	0.99		

**3.11.- Regresión lineal y correlación.**

¿Porqué se hacen las relaciones?, para conocer el tipo de crecimiento entre el peso y la talla: isometría (relación proporcional entre uno y otro) o alometría

(relación proporcional pero con crecimiento diferente: más peso que talla o viceversa, más talla que peso) y puede compararse entre especies y determinar sus formas. En una misma especie puede describir su condición a través del tiempo y ciclo de vida.

### 3.12.- Linealización de una curva potencial.

La longitud y el peso tienen una relación de tipo potencial. Para poder encontrar la relación es necesario proceder a la linealización de la curva, lo que es posible al graficar el logaritmo de peso contra el logaritmo de la talla. De esta manera se obtiene una recta desajustada, que se ajusta por el método de regresión lineal, con lo que se obtiene una recta de la forma:

$$Y = m * X + b$$

donde:

m = pendiente de la recta

b = ordenada al origen o punto de intersección.

Para transformar dicha ecuación de la recta en una ecuación de tipo exponencial, es necesario sacar el antilogaritmo del valor del punto de intersección, con la fórmula:

$$\text{Antilog } b = a$$

El resultado es la ecuación de tipo potencial:

$$P = a * L^b$$

donde:

P = peso

L = longitud

a = ordenada al origen o factor de condición

b = pendiente o factor alométrico cuyo valor debe estar entre 2.5 y 3.5 para que se considere que el pez crece proporcionalmente. Cuando b = 3 se le llama crecimiento isométrico (Ehrhardt, 1981).

Entre los análisis más importantes de la biología pesquera está la información concerniente al ritmo de crecimiento y a la fijación de los parámetros

que lo describen (Lux, 1971; Cubillos y Grechina, 1998). Entre los diferentes métodos para aproximarse a este punto se encuentran los análisis de escala, utilizados para estudiar las consecuencias estructurales y funcionales de los cambios en tamaño entre organismos similares (Liem *et al.*, 2000; Niklas, 1994). Aunque también dichos análisis pueden referirse específicamente a los fenómenos en donde el rango de crecimiento de una característica no iguala al de una segunda (Huxley, 1924, 1932). Cuando una estructura cambia con respecto a otra se dice que cambian *alométricamente* (*allos* = diferente + *metron* = medida) o *isométricamente* (*isos* = igual + *metron* = medida), dependiendo el tipo de relación que se tiene entre éstas.

El primer caso dice que una estructura cambia en un orden de magnitud diferente de lo que hace la segunda; y en el caso posterior indica que dicha relación entre estructuras no presenta diferencias en dicho cambio (Schlichting y Pigliucci, 1998; Liem *et al.*, 2000).

Así pues, se pueden usar los análisis de escala para determinar diferencias entre algunos caracteres de una especie durante un lapso de tiempo y observar si existen diferencias intersexuales o por edades entre estas variables y cuáles de dichas variables cambian alo- o isométricamente.

Dichos resultados son parte de una serie de estudios para conocer la biología de una especie, estudios como crecimiento mediante estructuras duras (otolitos o escamas), mediante frecuencia de tallas, reproducción, hábitos alimenticios, que en conjunto muestran un panorama más amplio acerca de la historia de vida de la especie y su lugar en el ecosistema marino. Esta base de información es necesaria para poder sugerir medidas de regulación de la utilización de cualquier recurso natural renovable y poder proponer un programa de manejo apropiado.

## **4.- RELACIONES ENTRE MEDIDAS CORPORALES (morfométricas) Y ESTRUCTURA DE LA POBLACION**

En el estudio de las pesquerías no siempre se cumple con los supuestos estadísticos, porque la muestra está sesgada respecto a su composición real. Esto se debe principalmente a que la fracción de la población obtenida depende de una que está en función del grado de selectividad de las artes de pesca usados durante el proceso de captura y de la temporada intraanual en el ciclo biológico del recurso. En la mayoría de las especies hay un comportamiento gregario que se da por tallas o edades.

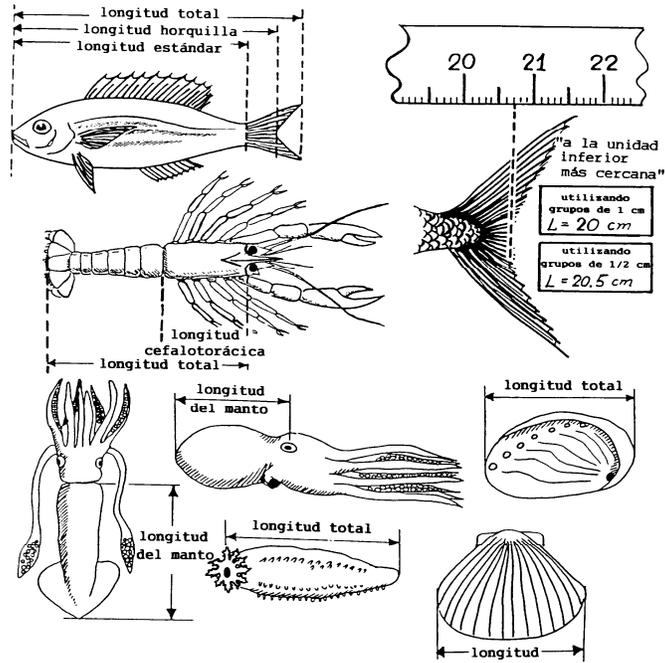
Los análisis de datos en la dinámica de poblaciones siguen por lo general los conceptos, supuestos y restricciones de la estadística paramétrica: distribución normal, media, desviación estándar. En otras palabras, un muestreo aleatorio se basa en el supuesto de que las muestras se ubican alrededor de una media, con cierta varianza.

### **4.1.- Estructura.**

Normalmente en campo se toma alguna medida sencilla pero que sirva para explicar la situación de la cohorte o generación (véase la Figura 7). El estudio continuo de esta medida dará con el tiempo idea de la velocidad en que la especie crece, o cuando menos de la población de donde provienen las muestras. También servirá para determinar los tamaños de los organismos que entran a la pesquería y los que salen de ella. En la Figura 8 se muestran algunas medidas corporales que se relacionan con la longitud del organismo.

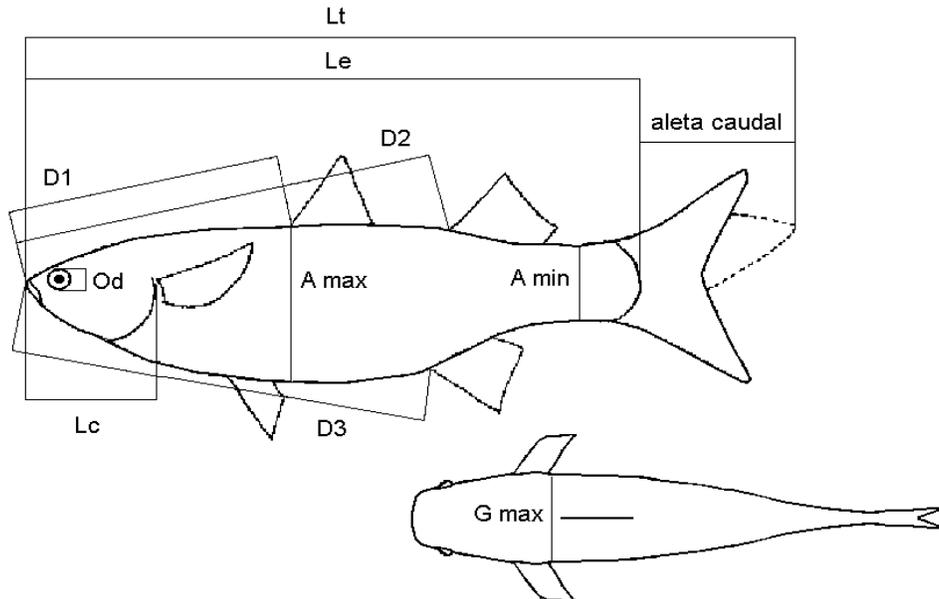
La Figura 9 representa los pasos de muestreo en laboratorio.

Figura 7.  
Algunas medidas corporales para el estudio de la estructura de la población



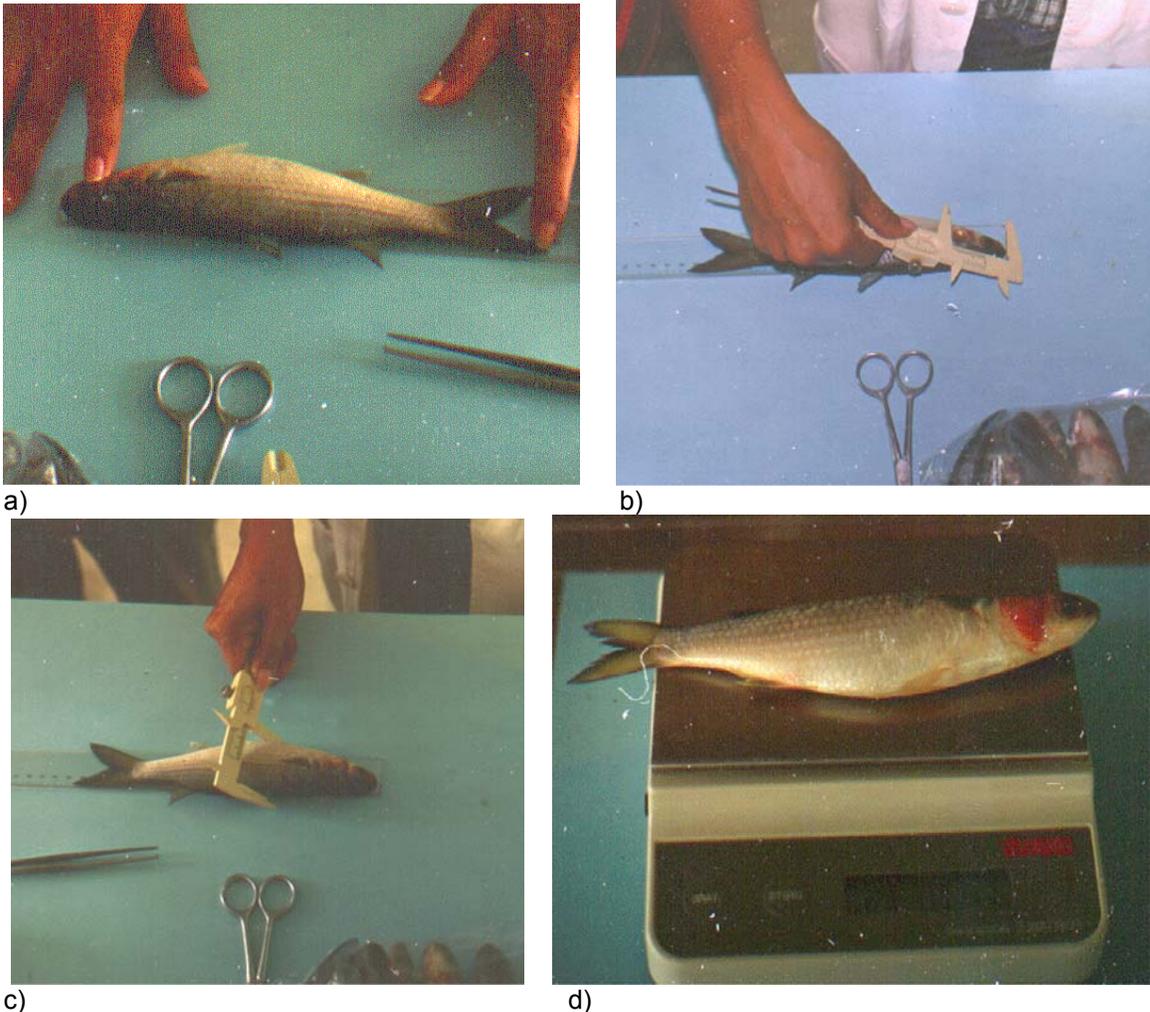
Tomado de Lagler *et al.* (1977).

Figura 8.  
Medidas morfométricas de la lisa *Mugil curema*.



Nota: longitud total (Lt), longitud estándar (Le), altura máxima (A max), altura mínima (A min), distancia a la primera aleta dorsal (D1), distancia a la segunda aleta dorsal (D2), longitud a la aleta anal (D3), longitud cefálica (Lc), diámetro ocular (Od) y ancho corporal a la altura máxima (G max) (Ibáñez-Aguirre *et al.*, 2006).

Figura 9.  
Toma de datos merísticos y muestras biológicas en laboratorio:



Nota: a) longitud cefálica; b) altura; c) longitud total; d) peso (tomado de Cabral-Solís, 1999).

Si se habla de longitud de alguna especie, se quiere conocer la talla máxima y la mínima; el número de individuos por clase de talla, dónde se encuentra la moda y cuántas hay. De un mes al siguiente se puede ver que las modas se desplazan lentamente hacia la derecha. La moda del extremo derecho llega a perderse en el transcurso de los meses y a la izquierda aparece una nueva, con el reclutamiento al arte de pesca. Más adelante se volverá a este aspecto, cuando se trate el tema del crecimiento.

El análisis morfométrico se refiere al cálculo de las ecuaciones entre dos o más variables tomadas de los organismos (véanse las figuras 7, 8 y 9). Las

diferencias en las ecuaciones aportan información acerca de la robustez de la especie, forma y tamaño de las diferentes medidas.

Las figuras 10 a 12 son representaciones de las evaluaciones de peso-talla de tres diferentes especies de peces, con forma corporal totalmente diferente.

Figura 10.  
Relación entre la longitud estándar y el peso entero de la chopo *Kyphosus analogus*, con una pendiente de 3.62.

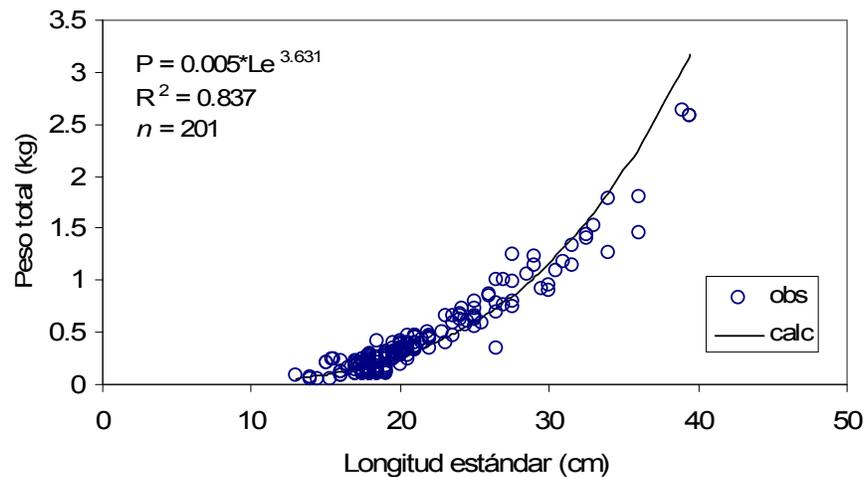


Figura 11.  
Relación entre la longitud estándar y el peso entero del tecomate *Hoplopargus guntheri*, con una pendiente de 2.99.

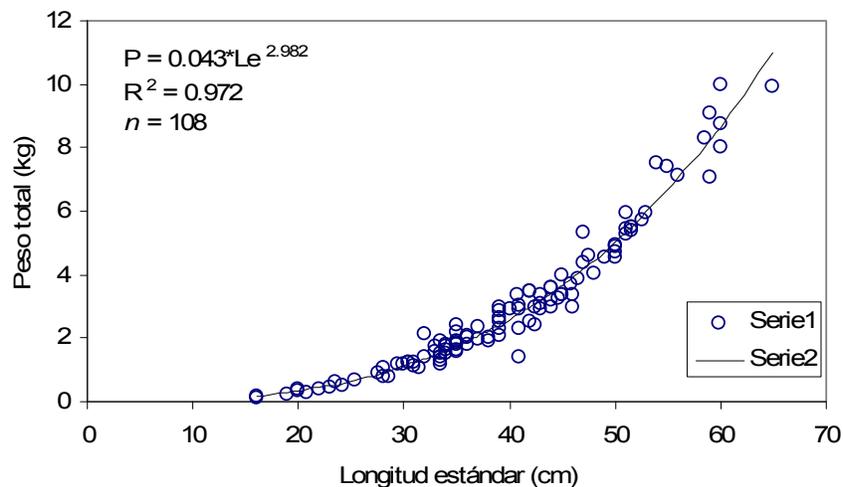
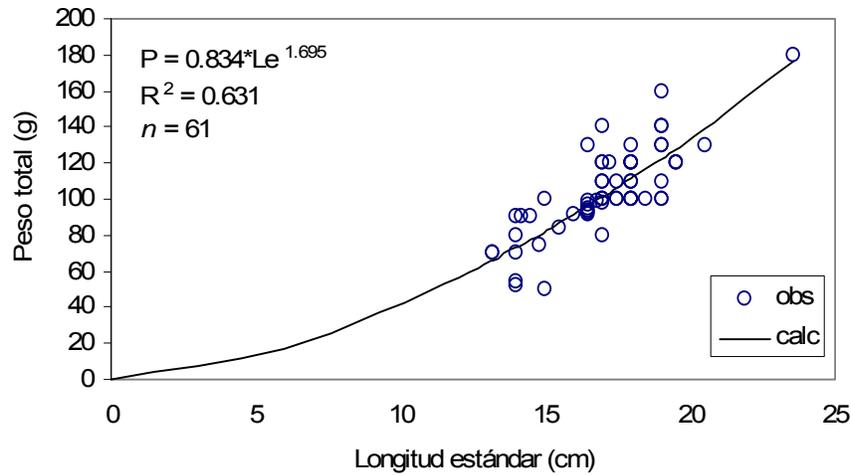


Figura 12.  
Relación entre el peso entero y la longitud estándar de la sardina *Opisthonema libertate*, con una pendiente de 1.51.



Por este método se obtienen los factores de condición “a” y alométrico “b”, parámetros que pueden variar por diversos aspectos como la época del año, de reproducción, de migración, etc. (Pauly, 1984; Safran, 1992). Entre otras aplicaciones están el de determinar si el pez conserva una relación isométrica desde su edad juvenil en adelante.

Cuando las relaciones son lineales, normalmente se utiliza la ecuación de la recta que es:

$$Y = b * X + a$$

donde:

b = pendiente de la recta

a = ordenada al origen o punto de intersección.

pero es más correcto y aporta más información si se utiliza la ecuación potencial, ya que en una relación lineal la pendiente b tiende a ser igual a 1 cuando la relación es isométrica (véase la sección anterior sobre la linealización de una curva potencial).

Para comprobar si la pendiente es isométrica se aplica la prueba de la pendiente con el estadístico de  $t$ .

#### **4.2.- Inferencias con respecto a la pendiente de una ecuación.**

La primera inferencia que se hace cuando se calcula una ecuación de una relación entre dos variables es saber si existe dicha relación, o sea si  $b=0$  ó  $b\neq 0$ .

En segundo lugar se tiene que conocer si la relación es proporcional: en el caso de las relaciones lineales si  $b=1$  ó  $b\neq 1$ ; y en el caso del las relaciones potenciales, si  $b=3$  ó  $b\neq 3$ .

La prueba de hipótesis con respecto a la pendiente es:

Hipótesis nula:  $H_0: \beta_1 = \beta_{10}$

Hipótesis alternativa: especificada por el usuario, dependiendo de los valores de  $\beta_1$  que desea detectar. El resultado se compara con el estadístico  $t$  de tablas.

$$t = \frac{\hat{\beta}_1 - \beta_{10}}{s} \sqrt{SC_x}$$

#### **4.3.- Factor de condición.**

El análisis del factor de condición es la forma más sencilla de conocer el estado corporal de un pez, por estar basado en la relación que guarda el peso con respecto a la talla del organismo. Puede dar información acerca del estado fisiológico, características fenotípicas y características de la fase reproductivas (Rodríguez-Gutiérrez, 1992; Safran, 1992).

También se le ha llamado índice de gordura que es comparable con análisis químico de grasas, o la gravedad específica (una vez que se han eliminado las

burbujas de aire del cuerpo), aquellos con menor gravedad específica están más gordos (Royce, 1972).

Otro método para determinar la condición del cuerpo de un organismo es la observación de las grasas que rodean a las vísceras, que pueden separarse y pesar.

La relación entre talla y peso es:  $P = a * L^b$  (mencionada en el apartado 4.1.):

donde:

P = peso

L = longitud

a = ordenada al origen o factor de condición

b = pendiente o factor alométrico cuyo valor debe estar entre 2.5 y 3.5 para que se considere que el pez crece proporcionalmente.

si se despeja a (ordenada al origen o factor de condición) se obtiene:

$$a = \frac{P}{L^b}$$

Algunos autores multiplican por 100 ó 100,000 para que el resultado no sea un valor tan pequeño, pero si lo que se busca es un valor representativo de aumentos y disminuciones, no es necesario.

### **Ejemplo:**

Para comparar el factor de condición mensual de la sierra *Scomberomorus sierra*, primeramente se calculó para 1,147 organismos una relación talla-peso:

$$P = 0.0043 * L^{3.048} (R^2 = 0.969),$$

donde:

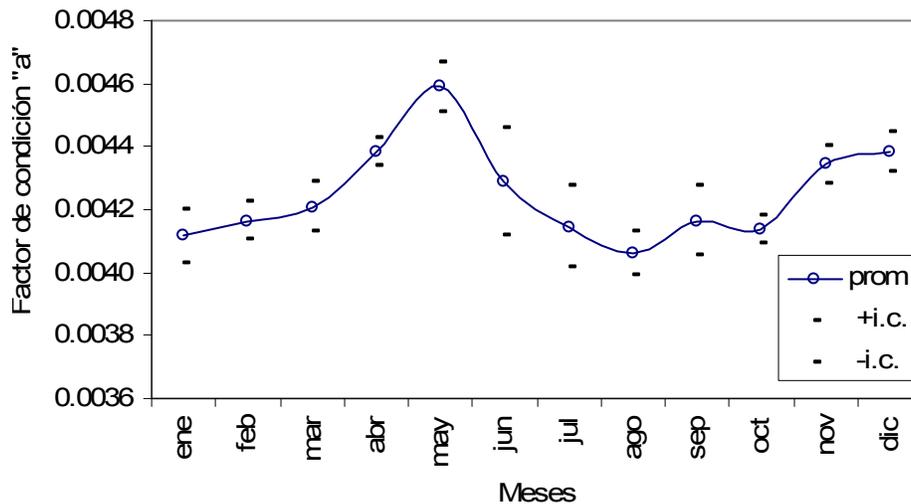
P = peso

Lp = longitud estándar.

Manteniendo la “b” fija, se calculó “a” para cada individuo y se promedió mensualmente. La figura 12 muestra la variación a lo largo del año, que puede ayudar a definir cuándo está más pesado con relación a su tamaño, y viceversa,

cuando está más delgado con respecto a su talla. Si se compara con la madurez de las gónadas puede ayudar a confirmar la época de reproducción.

Figura 13.  
Parámetro "a" (factor de condición) mensual de la relación peso-longitud estándar de la sierra *Scomberomorus sierra*.



## 5.- PARÁMETROS POBLACIONALES.

### 5.1.- Reproducción y madurez gonádica.

Teoría y métodos de evaluación.

En poblaciones sometidas a constante captura, es importante realizar estudios sobre el ciclo reproductivo de las especies, ya que ello permite conocer el comportamiento durante este proceso biológico que aporta elementos de juicio para la administración y poder hacer uso racional de los recursos. Los aspectos que deben analizarse son:

#### Fases de madurez gonádica o gonadal.

Determinar el desarrollo de los órganos sexuales mediante observaciones macroscópicas, examinando tamaño, color y forma de la gónada, de acuerdo a claves de madurez sexual. Hay diversas claves, según el desarrollo del grupo taxonómico, específico o simplemente en base a la experiencia del investigador.

La Cuadro 10 presenta un resumen de claves propuestas por varios autores:

Cuadro 10.  
Fases de madurez gonadal y la clasificación propuesta para peces por distintos autores.

AUTORES / FASES	I	II	III	IV	V	VI
Socolov y Wong (1973)	Indefinido	Inmaduro	Madurando	Maduro	Desovando	Después del desove
Holden y Raitt (1975)	Inmaduro	Virgen madurando y recuperando	Madurando	Maduro	Después de la puesta	
Aboussouan y Lahaye (1979)	Inmaduro	Principio de maduración	Desarrollo gonadal	Maduración	Desovando	Postdesove
Finucane y Collins (1984)	Inmaduro	Maduración temprana	Maduración tardía	Maduro	Expulsión	

En el Cuadro 11 se muestra una clave para *Mugil cephalus*, utilizada en Cabral-Solís (1999).

Cuadro 11.  
Clave de madurez gonadal en VI fases, para Mugílidos.

Fase	Descripción morfológica
FASE I	Gónadas indiferenciadas, se observan a manera de filamentos alargados blanquecinos y de menos de 2 mm de diámetro. Exclusivas de los juveniles.
FASE II	Las gónadas ocupan hasta 1/3 de la cavidad abdominal, los ovarios son de color rosado y los óvulos no están individualizados. Los testículos son de color blanquecino.
FASE III	Las gónadas ocupan desde ½ hasta ¾ de la cavidad abdominal. Los ovarios tienden a ser de color amarillento y no hay todavía individualización de los óvulos. Los testículos siguen de color blanquecino.
FASE IV	Gónadas que ocupan de ¾ hasta la totalidad de la cavidad abdominal y son turgentes. Los ovarios son de color amarillento, estando los óvulos ya individualizados. Los testículos son completamente de color blanco. Estadio previo al desove.
FASE V	Las gónadas ocupan la totalidad de la cavidad abdominal siendo muy turgentes y por cualquier presión suave sobre el vientre del pez hay expulsión de gametos. Los ovarios son de color amarillento y los óvulos están totalmente individualizados. Los testículos muy blancos. Estadio de desove.
FASE VI	Gónadas en degeneración, laxas. Pueden ocupar la mitad de la cavidad abdominal o ser simples filamentos. Los ovarios vuelven a ser de color rosado pero existe un líquido lechoso amarillento en donde no se identifican óvulos individualizados. Los testículos son de color blanquecino con un líquido lechoso y cremoso.

Cuadro 12.  
Descripción de las diferentes fases de madurez gonadal en peces

FASE	ESTADO	APARIENCIA DEL OVARIO.	DESCRIPCIÓN
I	Indefinido	Similares a una cinta.	Las glándulas sexuales son filamentos muy finos, no es posible diferenciar hembras y machos.
II	Inmaduro	Delgadas, sí es posible sexar.	Inicia desarrollo de gónadas, los ovarios son rosáceos, translúcidos. Los óvulos no se observan a simple vista Testículos en forma de cinta blanquecina. Ambas gónadas unidas a tejido color naranja-café.
III	Madurando	Ligeramente alargado; un medio de longitud de la cavidad abdominal.	Glándulas sexuales bien diferenciadas. Los ovarios de aspecto granular, color rosáceo- amarillo, óvulos pequeños y opacos. Testículos de color marfil, de forma triangular en la porción anterior, la cual es más ancha que la posterior. Estadio muy largo.
IV	Maduro	Moderadamente alargado; dos tercios de la cavidad abdominal.	El desarrollo de las glándulas muy avanzado. Ovarios de color naranja rosáceo. Ovulos grandes transparentes. Testículos blanquecinos triangulares en toda su extensión. Fase de corta duración.
V	Desovando	Muy grandes y turgentes. Ocupando toda la cavidad abdominal.	Ovarios de color naranja brillante. Productos sexuales listos para ser expulsados y salen a la más leve presión. Venas bien desarrolladas irrigando toda la gónada. Testículos de color blanco-perlado, sale esperma al presionar levemente.
VI	Después del desove (reposo)	Alargados, pero flácidas.	El producto ha sido expulsado. Glándulas sexuales flácidas, inflamadas de color café-grisáceo. Ovulos residuales se reabsorben.

Tomando criterios de: Socolov y Wong (1975); Holden y Raitt (1975); Finucane y Collins (1984).

Existen otras que se han utilizado para otras especies. Tal es el caso de Cruz-Romero *et al.* (1991) que siguieron la clave del Cuadro 12 que se ajustó a especies de la familia Lutjanidae.

En los Cuadros 13 y 14, que hacen la diferenciación entre aquellas especies que desovan totalmente o de manera parcial.

Cuadro 13.  
Escala de madurez de ocho puntos para los reproductores totales.

Fase	Estado	Descripción
I	Virgen	Órganos sexuales muy pequeños, situados cerca de la columna vertebral. Testículos y ovarios transparentes, incoloros o grises. Huevos invisibles a simple vista.
II	Virgen en Maduración	Testículos y ovarios translúcidos, gris-rojo. Longitud de la gónada ½, o un poco más de la longitud de la cavidad abdominal. Huevos individuales visibles con lente de aumento.
III	En desarrollo	Testículos y ovarios opacos, rojizos con capilares sanguíneos. Ocupan cerca de la mitad de la cavidad abdominal. Los huevos visibles a simple vista como materia granulosa blancuzca.
IV	Desarrollo	Testículos blanco-rojizo sin color seminal al presionarlos. Ovarios rojo-naranja. Huevos claramente visibles, opacos. Testículos y ovarios ocupan cerca de 2/3 de la cavidad abdominal.
V	Grávido	Los órganos sexuales ocupan toda la cavidad abdominal. Testículos blancos. Al hacer presión salen gotas de licor seminal. Huevos completamente redondos, algunos translúcidos y redondos.
VI	Reproducción	Huevos y licor seminal salen cuando se presiona ligeramente. Casi todos los huevos translúcidos con unos pocos opacos que quedan en el ovario.
VII	Después de la Puesta	No completamente vacíos, no quedan huevos opacos en el ovario.
VIII	En reposo	Testículos y ovarios rojos y vacíos. Unos pocos huevos en estado de reproducción.

Cuadro 14.  
Escala de madurez de cinco puntos para los reproductores parciales.

Fase	Estado	Descripción
I	Inmaduro	Ovario y testículos cerca de 1/3 de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios rosáceos, translúcidos; testículos blancuzcos. Huevos invisibles a simple vista.
II	Virgen maduración y recuperando	Ovarios y testículos cerca de ½ de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios rosáceos, translúcidos; testículos blanduzcos, más o menos simétricos. Huevos invisibles a simple vista.
III	Madurando	Ovarios y testículos ocupan de 2/3 de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios de color rosáceo amarillo con aspecto granular; testículos blancuzcos a crema. No hay huevos transparentes o translúcidos visibles.
IV	Maduro	Ovarios y testículos ocupan de 2/3 a toda la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios de color naranja rosáceo con vasos sanguíneos superficiales visibles. Grandes huevos maduros, transparentes. Testículos blanduzcos crema, blandos.
V	Después de la puesta	Ovarios y testículos ocupan de 2/3 a toda la longitud de la cavidad abdominal. Paredes flojas. Los ovarios pueden contener restos de huevos opacos, maduros, en desintegración, oscurecidos o translúcidos. Testículos sanguinolentos y flácidos.

Para el caso de erizo de mar rosa *Toxopneustes roseus* y tinta *Diadema mexicanum*, Cibrián-Rodríguez (1996) citando a Palleiro-Nayar, (1991) utilizó la siguiente, en cuatro fases (véase el Cuadro 15).

Cuadro 15.

Escala de madurez de cuatro fases para equinodermos.		
Estado	Sexo	Descripción
Indiferenciado		Tejido uniforme, células muy pequeñas, folículos compactos bien definidos, tejido conjuntivo pobremente desarrollado, ausencia total de gametos desarrollados y consistencia firme, observados al microscopio con objetivo 40X).
Inmaduro	Macho	Se observa tejido uniforme con células muy pequeñas, folículos compactos, células maduras muy secas, consistencia firme (40X).
	Hembra	Tejido uniforme y compacto, célula muy pequeña folículos compactos, algunas células de mayor tamaño, pequeños oocitos en desarrollo ( útiles en la identificación del sexo ), consistencia firme ( 40x ).
Maduro	Macho	Folículos poco delimitados, gran cantidad de espermatozoides maduros, flagelo evidente al objetivo de 40X, consistencia firme.
	Hembra	Folículos flácidos bien delimitados, gran cantidad de óvulos maduros en su interior, óvulos grandes en los que se observa núcleo y nucleolo, así como membrana y citoplasma, consistencia gonadal firme (40X)
Desove	Macho	Folículos Flácidos bien delimitados, escasa presencia de espermatozoides, corpúsculos y aglomeraciones de células sexuales en proceso de reabsorción de color café oscuro, consistencia flácida (40X).
	Hembra	Folículos bien delimitados, óvulos en proceso de degeneración en aglomeraciones y corpúsculos color café oscuro, consistencia flácida (40X).

En un estudio del ciclo reproductivo de la langosta en la costa de Jalisco, Espino-Barr *et al.* (2005) desarrollaron una escala morfocromática de madurez sexual de las hembras de la especie *Panulirus inflatus* (véase la figura 13).

Figura 13.  
Escala morfocromática de madurez sexual para langosta azul *Panulirus inflatus*



Nota: desarrollada a partir de los muestreos de la pesca comercial en la costa de Jalisco durante 2005 (Espino-Barr *et al.*, 2005).

Es importante contar con una muestra representativa de hembras de diferentes tallas (edades) de cada mes (si la especie es longeva) o semanal (si la especie es de corta vida), con la intención de observar la evolución reproductiva. Por medio de cálculos porcentuales para cada fase (por mes y por talla) se describe el ciclo reproductivo.

#### Talla de Primera Madurez.

Conocer la edad en que por primera vez maduran sexualmente los organismos permite aportar una reglamentación o norma para los permisos de captura o utilización de un recurso por primera vez, que garantice la permanencia de la especie en la zona.

Para ello es necesario examinar una muestra mensual (que para especies de corta vida debe ser semanal o quincenal) y determinar el estadio de madurez gonádica de cada individuo. Se separan las hembras que se encuentren en fase II, ya que representan organismos de madurez inicial. Posteriormente se analizará el número de organismos por intervalo de clase y el porcentaje que representan.

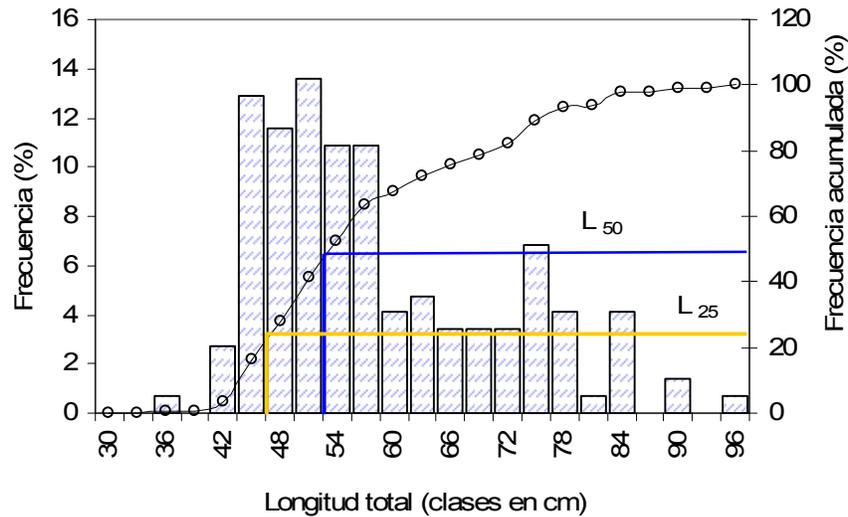
También se separan los organismos en fase VI, debido a que en ésta se presentan organismos con un amplio intervalo de talla.

Las hembras con gónadas en fases III, IV y V son consideradas para realizar un cuadro con el número y porcentaje de individuos encontrados para cada intervalo de clase de longitud total (cm).

Con base en la frecuencia acumulada (véase la figura 14), se determina la talla mínima de primera madurez, siendo la talla en la que el 25% de la población ( $L_{25}$ ) presenta fase de reproducción, así como la talla en la que el 50% de la población ( $L_{50}$ ) se puede encontrar en las mencionadas fases de madurez; en ciertos muestreos no se encuentra la talla real en que el total de las hembras

están aptas para la fase reproductiva ( $L_{100}$ ), ya que puede darse el caso de que esta etapa se dé a lo largo de varios meses.

Figura 14.  
Distribución de frecuencia de longitud total (cm) y frecuencia acumulada de las hembras de sierra *Scomberomorus sierra* de Colima

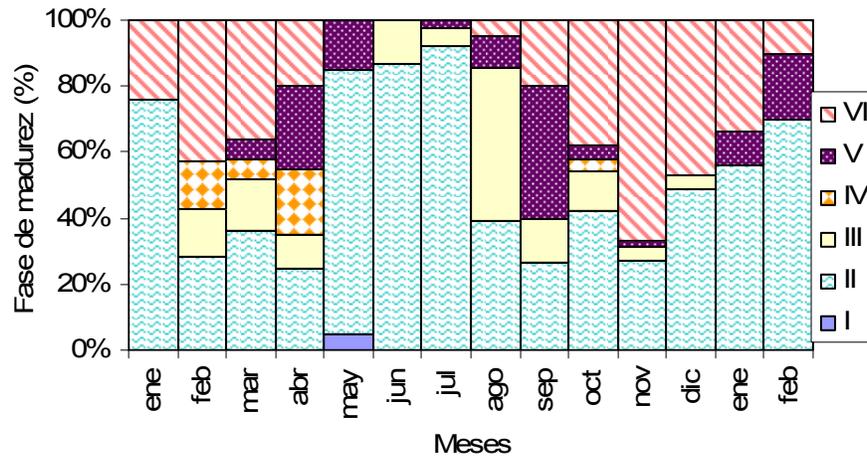


Nota: solo individuos en fase de maduración IV, V y VI.

### Época de reproducción

Para determinar este parámetro es necesario contar con un buen muestreo: individuos de diferentes tallas y de cada mes a lo largo de un año. Al contar con las observaciones de las gónadas, puede calcularse el porcentaje de cada estadio o fase tomando como 100 % el total mensual. A continuación se presenta la figura 15 que muestra que durante todo el año hay hembras de sierra *Scomberomorus sierra* en fase II, pero que los maduros y recién desovados se concentran en dos periodos principalmente: febrero-abril y septiembre-noviembre. Debe considerarse que estas muestras fueron tomadas de la pesca comercial y puede estar sesgada la información si hubiera un comportamiento por parte de las hembras maduras, de migrar a zonas donde no se pudieran pescar.

Figura 15.  
Comportamiento de las fases de madurez gonadal de sierra *Scomberomorus sierra* a lo largo de un año



Nota: tomado de Nava-Ortega *et al.* (2006).

### Fecundidad

El parámetro de fecundidad indica el potencial reproductor de una población y la supervivencia desde el huevo hasta el reclutamiento (Holden y Raitt, 1975). Es la magnitud de huevecillos por unidad (o peso) de hembra que aporta la especie o el stock al medio, importante para la evaluación de la población adulta mínima para mantener el reclutamiento.

Un método de evaluación es el gravimétrico, conteo de huevecillos en una submuestra que puede ser de 0.3g de gónada en fase madura III o IV (de la tabla de madurez gonadal de Socolov y Wong, 1973 y Holden y Raitt, 1975). Para ello se coloca la gónada fijada en papel secante para eliminar el líquido conservador. Se obtiene una submuestra con un peso total de 0.3 g ( $\pm 0.1$  mg). Se le da validez científica si se toman porciones de distintas partes de cada una de las gónadas y se procesan por separado. Cada sección pesada se coloca en un frasco con fluido de Gilson modificado (Simpson, 1951, citado por Cuervo, 1993), el cual es un fijador y preservativo de huevos de varias especies, y que ayuda a la liberación de los óvulos del tejido del ovario. Este fluido de Gilson se prepara mezclando 100 ml de alcohol al 60%, 880 ml de agua, 15 ml de ácido nítrico al 80%, 18 ml de ácido acético glacial y 20 g de cloruro de mercurio. Para que el fluido actúe con mayor

rapidez se agita la muestra vigorosamente. Después de 24 a 48 horas se vierte el total de óvulos en una caja de Petri para su conteo, en el proceso pueden secarse los óvulos por lo que se puede agregar agua destilada para mantenerlos húmedos.

Una vez hecho el conteo de huevecillos se calcula:

$$Fec = \frac{n * G}{g}$$

donde:

Fec = fecundidad

G = peso total de la gónada;

g = peso de la submuestra contada

n = número de óvulos de la submuestra.

Se realiza un ANDEVA para determinar si hay diferencia entre el número de óvulos en cada sección. Existe una relación entre la fecundidad y la talla de las hembras, aparentemente de tipo potencial al relacionar con el peso y/o con la talla del pez, aunque algunos autores aún la describen lineal cuando se relaciona con esta última:

$$Fec = a * L^b$$

donde:

Fec = fecundidad

L = talla del organismo

a y b = parámetros de la relación

Según Ricker (1971) si el valor de b es cercano a 3, la fecundidad se relaciona con la longitud y si es cercano a 1 se relaciona con el peso.

La determinación de la proporción de sexos y la serie de cambios que ocurren en la fase de madurez durante el año en las diferentes especies, es muy importante, ya que permiten el conocimiento completo de la biología general de una población explotada y forman parte de su evaluación fundamental. Debe

estudiarse a fondo para conocer si la especie tiene una proporción de sexos equivalente, si ambos sexos tienen una velocidad de crecimiento igual, si alcanzan la misma talla cuando adultos, etc. Hay especies que tienen una época de desove al año, hay otras especies que la tienen por etapas.

La información que se obtiene ayuda a establecer la edad y talla a la que los peces alcanza su madurez sexual, el momento y lugar de la reproducción y demás factores que ayudan a entender esa parte del ciclo de vida.

### Ejemplo:

Se separó la masa ovígera de 38 hembras de langosta de Jalisco, *Panulirus inflatus*, para el conteo de huevecillos. Las figuras 16 y 17 muestran el ajuste de una ecuación lineal y una potencial a los datos observados del número de huevecillos con respecto a su talla (Espino-Barr *et al.*, 2005) y en el Cuadro 16 se resumen los valores de los parámetros de estas relaciones. El mejor ajuste (según la  $R^2$ ) es el potencial con los datos de la longitud. Las ecuaciones para ambas variables (longitud y peso) son:  $Fec = 0.033 * Lt^{3.045}$  y  $Fec = 0.921 * P^{1.576}$ .

Figura 16.  
Relación lineal y potencial entre longitud total de langosta y el número de ovocitos.

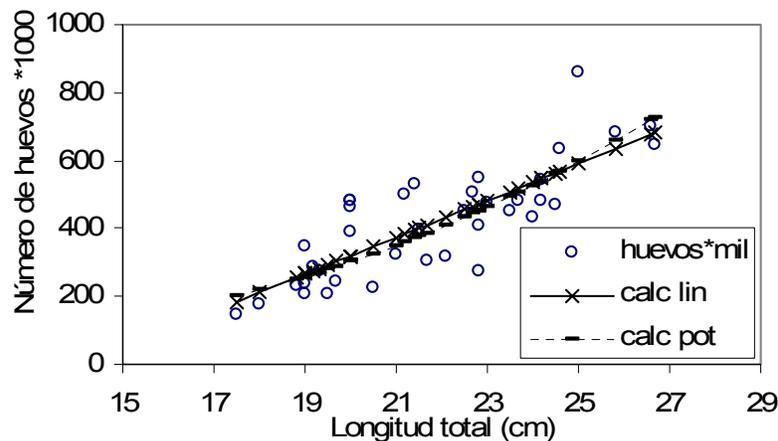
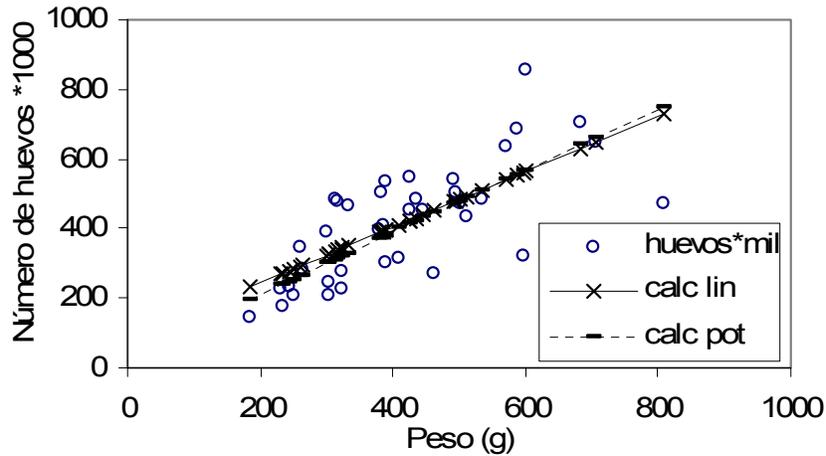


Figura 17.  
Relación lineal y potencial entre peso de langosta y el número de ovocitos.



Cuadro 16.  
Parámetros de las relaciones lineal y potencial entre la longitud total (cm) y peso (P) con respecto al número de ovocitos de langosta.

Relación	variable	a	b	R <sup>2</sup>
Lineal	Lt vs ovo	-760.776	54.025	0.657
Potencial	Lt vs ovo	0.033	3.045	0.665
Lineal	P vs ovo	84.209	0.798	0.512
Potencial	P vs ovo	0.921	1.576	0.590

Para la población de langostas del sur de Jalisco se encontró que la relación potencial fue la que mejor explicó el incremento del número de ovocitos conforme aumenta la talla de las hembras, y es así que un individuo de 10.5 cm de cefalotórax produce más del doble de ovocitos que una hembra de 8 cm (Puentes-Gómez *et al.*, 2006).

### Ejercicio:

Calcular con ambas ecuaciones el número de ovulos para una hembra de 6, 8, 10, 12 y 14 cm de cefalotórax.

### Índice del potencial reproductivo

Para cuantificar el número de huevecillos aportado por clase de talla se utilizó el índice de productividad J y para estimar a la población se empleó el índice del potencial reproductivo (IPR). El primero se calculó con la fórmula:

$$J = E * A^{-1}$$

donde:

E= porcentaje de huevos que aporta cada clase de talla

A= porcentaje de hembras que una clase de talla en relación con el número total de hembras

El IPR se estimó de acuerdo a Kanciruk y Herrnkind (1976):

$$IRP = \frac{A - B - C}{D}$$

donde:

A = proporción de hembras en cada clase de talla en relación al total de hembras en la muestra

B = proporción de hembras ovígeras en una clase

C = número promedio de huevos de la masa ovada de una clase de tallas

D = constante.

Es importante tener presente, como se constata en el ejercicio anterior, que por lo general el número de huevos depositados según la talla varía de manera proporcional, es decir a menor edad, menor número de huevos. Por el contrario, es probable que hembras viejas desoven un número menor de huevecillos que edades anteriores (debe investigarse).

#### Indicadores morfofisiológicos.

Información valiosa para conocer el “bienestar” de los peces es el análisis biológico a través de los indicadores morfofisiológicos que reflejan el peso relativo de órganos y tejidos en relación con el peso del cuerpo y que poseen una relación estrecha con el metabolismo del pez.

Esta información analizada sistemáticamente a través del año ayuda a explicar factores y ciclos relativos a otros parámetros como reproducción, migración, crecimiento, etc.

Dos de los indicadores morfofisiológicos más utilizados son: el índice gonadosomático (IGS) y el índice hepatosomático (IHS), que son relaciones entre el peso de las gónadas y del hígado con el peso del pez, respectivamente. El factor de condición K o "a" de la relación exponencial peso-talla también es un indicador del "estado" del pez.

El índice gonadosomático (IGS) e índice hepatosomático (IHS) se determinaron de acuerdo a las fórmulas descritas por Rodríguez-Gutiérrez (1992):

$$IGS = \frac{Pg}{Pt} * 100$$

donde:

IGS = índice gonadosomático

Pg = peso de la gónada

Pt = peso del ejemplar

$$IHS = \frac{Ph}{Pt} * 100$$

donde:

IHS = índice hepatosomático

Ph = Peso del hígado

Pt = Peso del ejemplar

Si se requiere establecer las diferencias estadísticas de estos índices entre las muestras o meses, se aplica el análisis de varianza, en el caso que su comportamiento en una distribución de frecuencias sea normal y se cumpla los otros supuestos como homocedasticidad. En caso contrario es necesario utilizar una prueba no paramétrica como la de rangos de Kruskal-Wallis, donde cada dato recibe un rango según su valor, en lugar del valor mismo (Mendenhall, 1987; Zar, 1996). La hipótesis nula  $H_0$  se refiere a la igualdad que existe entre las muestras de cada mes. El valor obtenido se compara con la tabla de  $\chi^2$ .

## **5.2.- Edad y crecimiento.**

### Determinación de la edad.

Métodos directos: lectura e interpretación de partes duras.

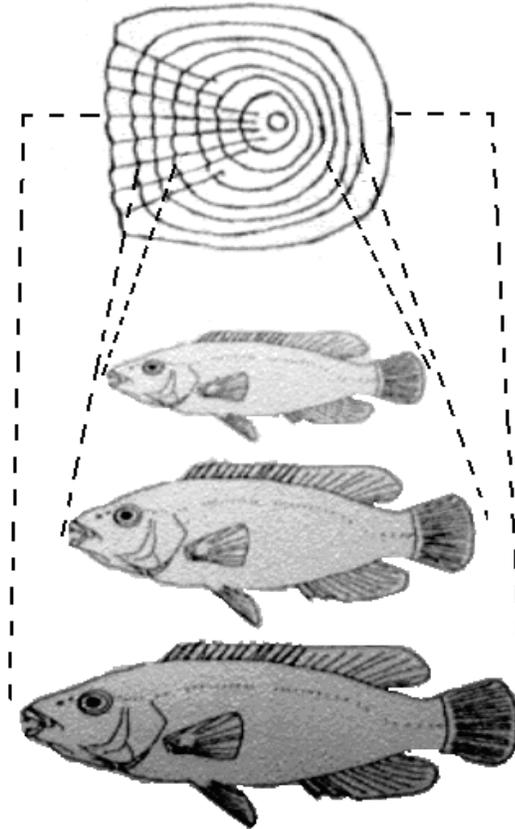
Determinar correctamente la edad de animales acuáticos es una de las tareas más importantes en la biología pesquera y en general en la ciencia de las pesquerías (Ehrhardt, 1981). En todos los estudios biológicos de peces, moluscos y crustáceos se debe recurrir a esta evaluación para cualquier determinación en materia pesquera, a tal grado, que en muchos trabajos de investigación el objetivo primordial es la obtención de este parámetro.

Es importante, porque mediante la asignación de edad se llega a definir la longevidad de las especies, se identifican las clases anuales que componen el efectivo de la captura, se puede determinar la edad de primera madurez y de reclutamiento. Con la información de tallas y pesos se formula el crecimiento y pueden calcularse las ganancias de biomasa utilizable bajo esquemas de producción. Con esta información puede determinarse la composición de edades de cada clase de talla y a partir de ello estimar las tasas de mortalidad.

Debido a esta gran importancia, se ha venido estudiando desde hace mucho tiempo; Ehrhardt (1981) menciona una cita de Ricker (1975): "El primer registro conocido sobre determinaciones confiables de edad en peces pertenece al clérigo sueco Hans Hederstrom (1759). Mediante el conteo de anillos en vértebras, obtuvo la edad de varias especies, y sus tasas de crecimiento son similares a los estimados modernos. Sin embargo, el arte de la determinación de edad tuvo que ser redescubierto hacia fines del siglo XIX y la historia de este periodo ha sido revisada por Maier (1906), Damas (1909) y otros. Durante aquel periodo el primer método aplicado fue el de frecuencia de longitudes desarrollado por C.G.J. Petersen (1892). Escamas fueron utilizadas por primera vez para lectura de edades por Hoffbauer (1898); otolitos por Reibisch (1899) y varios otros huesos por Heinke (1905)...".

Figura 18.

Relación que existe entre el tamaño del organismo y partes duras de su cuerpo, en este caso con una escama proyectada.



El crecimiento se define como el cambio de biomasa del cuerpo en el tiempo, debido al resultado neto de dos procesos metabólicos con tendencias opuestas: el anabolismo (acumulación de material celular) y el catabolismo (destrucción y pérdida de material celular). De esta manera, la combinación de ambos factores determina la tasa de crecimiento (K).

#### Método directo.

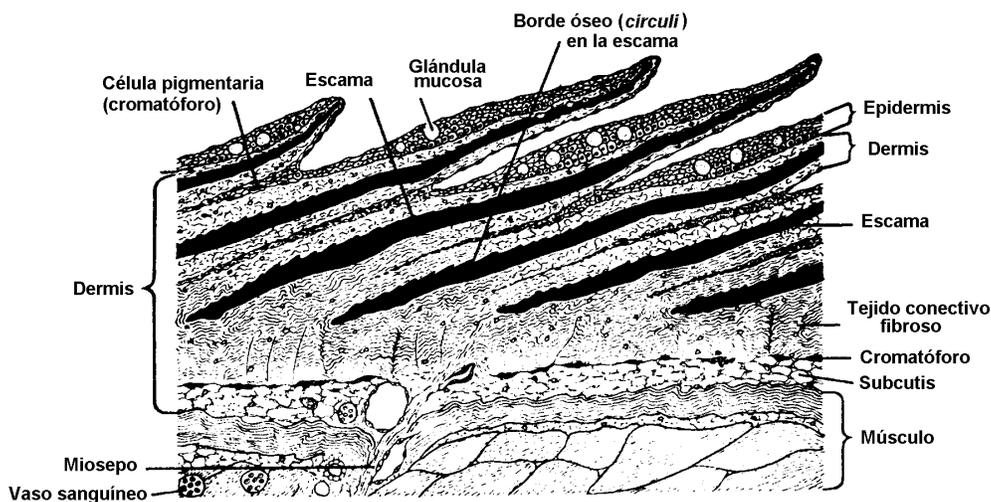
Las formas más comunes para medir este parámetro es a través del análisis de partes duras (donde se observan las llamadas líneas de crecimiento) ya sean escamas (véase la figura 18), otolitos, hueso urohial, etc. (llamado método directo). Estas partes duras están presentes desde que el organismo nace o poco tiempo después, y conforme pasa el tiempo, aumenta el material de que está

compuesto, por ejemplo, el otolito (parte del oído interno) se compone de material inorgánico, principalmente carbonato de calcio en la forma de cristales de aragonita, que se deposita continuamente en mayor o menor cantidad.

En estas partes duras se “marcan” los cambios que sufre el organismo debido a las diversas etapas por las que vive el pez: cambios estacionales con los consecuentes cambios de factores ambientales, los periodos de crecimiento o de mucha disponibilidad de alimento, migraciones, reproducción, etc.; el depósito de los carbonatos tienen distinta dinámica. Por ello es posible estudiar estas partes duras y dar un seguimiento que puedan aportar la historia de la vida del pez.

La escama es la parte dura del pez más sencilla de estudiar. En prácticamente todas las especies de teleósteos son de tamaño fácil de manipular. La escama es la parte externa o protectora de la piel del pez (Figura 19). Se clasifican según su forma, entre las más comunes se encuentran las ctenoides (con forma de disco y el borde posterior en contacto con el exterior, dentada) y las cicloides (con forma de discos con bordes suaves, delgados y fundamentalmente circulares). La figura 20 muestra distintos tipos de escamas.

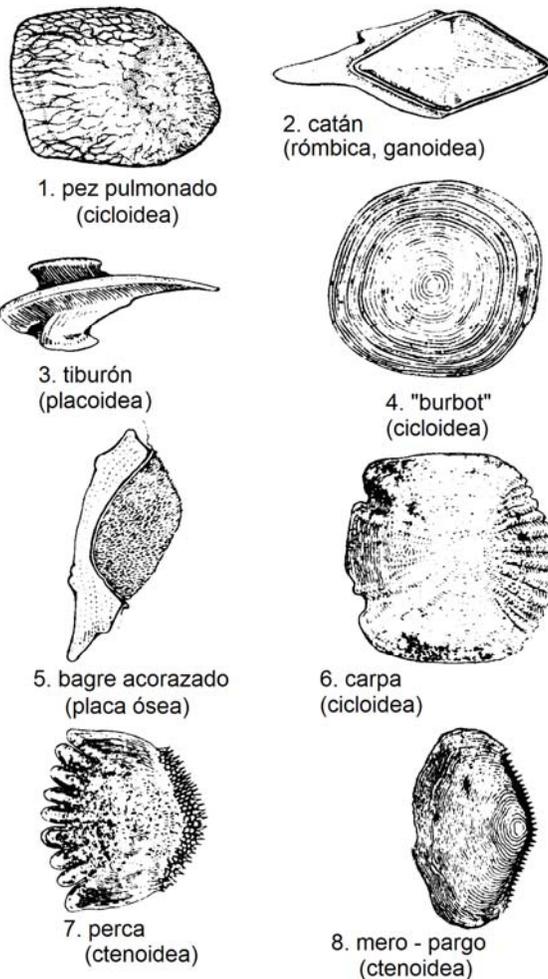
Figura 19.  
Corte transversal de la piel de un pez, mostrando la posición de inserción de las escamas



Tomado de Lagler *et al.* (1977).

Normalmente las mejores escamas para analizar son las que tienen forma simétrica y que por lo general se encuentran atrás del opérculo, en el lomo o debajo de la aleta pectoral. La muestra tiene que tomarse siempre en la misma región, debido a las diferencias de tamaño de las escamas en las diferentes partes del cuerpo. Es importante tomar una muestra de al menos 10 escamas, ya que algunas pueden ser de repuesto o regeneradas. Durante el proceso debe tenerse cuidado al tomar las escamas con una pinza, para no estropear las marcas. Para conservarlas, solamente tienen que estar secas y limpias. Se guardan en un sobre de papel etiquetado correctamente para poder relacionarlo con las medidas del organismo del que se extrajeron.

Figura 20.  
Tipos de escamas

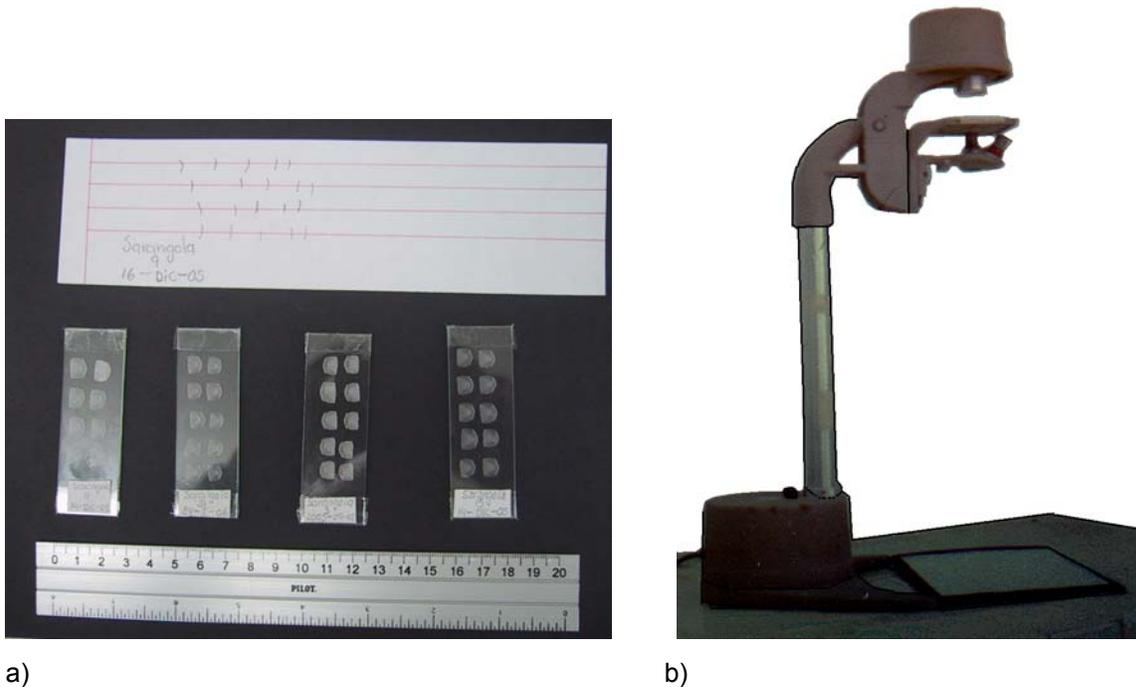


Tomado de Lagler *et al.* (1977).

Las escamas se lavan en una solución de amoníaco al 5% y detergente durante una hora, posteriormente se enjuagan y secan. Se acomodan entre dos portaobjetos bien sujetos y etiquetados (véase la figura 21 a).

Para leer estas escamas puede usarse cualquier tipo de amplificación con luz transmitida, como proyector de transparencias o el microproyector que se muestra en la figura 21 b. Este tipo de proyección permite observar el foco de la escama y las líneas que forman el anillo y el borde. Al amplificarse sobre una superficie blanca, puede marcarse en un papel y obtener mediciones.

Figura 21.



a)

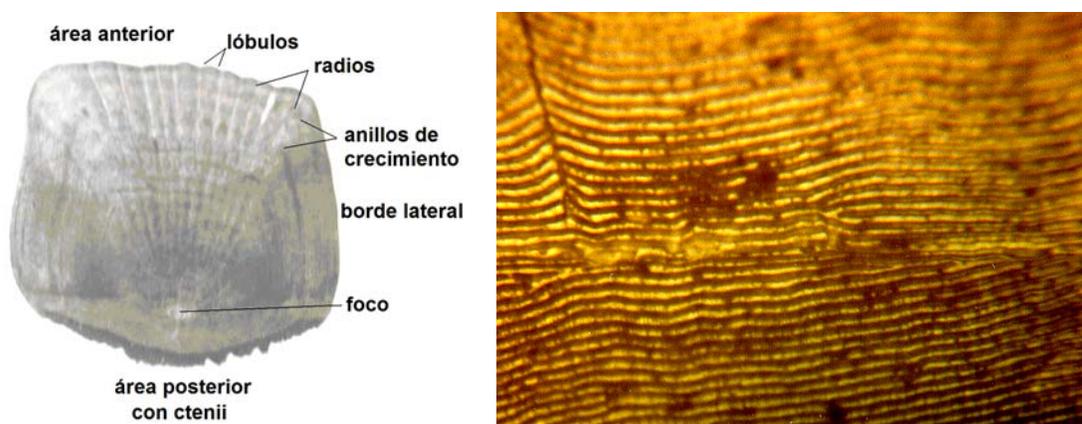
b)

Nota: a) Escamas preparadas entre dos portaobjetos, etiquetadas y listas para proyectarse, b) Microproyector Bausch & Lomb.

Los criterios para determinar los anillos en escamas ctenoideas están enlistados en Joseph (1962):

- los verdaderos anillos (o *annuli*) se observan en todo el derredor de la escama, a excepción de la parte posterior o externa;
- en las zonas laterales posteriores, donde nace cada anillo, se observa un “doblez” o engrosamiento de las líneas;
- en la parte posterior de la escama, el anillo se forma por la agregación de varias líneas de una densidad tal, que no permiten el paso de la luz, por lo que se observa como una franja oscura con luz transmitida.

Figura 22.  
Escamas de bacoco *Anisotremus interruptus*



Nota: a) fotografía de una escama y descripción de sus partes; b) acercamiento de un anillo proyectado.

Debe tenerse en mente que la parte translúcida en las escamas es aquella donde el crecimiento es rápido, llamada zona hialina. La zona oscura es aquella donde el crecimiento es lento, dando como resultado la apariencia característica del *annulus* (Casselmann, 1983), definido por Nelson y Manooch (1982) como un patrón de *circuli* o círculos compactados y una marca de entrecruzamiento en los lados laterales de la escama (véase la figura 22).

Al contar con el dato de la distancia del foco de la escama a su borde, se analiza una posible relación con la talla del pez, puede hacerse gráficamente y por medio de la estadística (regresión por mínimos cuadrados). Posteriormente se transforman las medidas de las lecturas de escama en centímetros proyectados a longitud de cada individuo, siguiendo la ecuación modificada de Lee (citado por Heald y Griffiths, 1967).

$$L_n = \left( \frac{R_n * L_t - C}{R_t} \right) + C$$

donde:

$R_n$  = radio de la escama en cualquier anillo,

$R_t$  = radio total de la escama a la captura del pez,

$L_n$  = longitud total del pez con radio "n"

$L_t$  = longitud total del pez cuando se captura.

$C$  = al origen de la regresión entre el radio ( $R_0$ ) de la escama (en milímetros de la proyección) y la longitud total (cm) del pez.

La fórmula de proporcionalidad descrita arriba, "transforma" las medidas proyectadas de las líneas de las escamas a longitudes del pez ( $L_n$ ) a una "edad" dada. De esta manera también se obtiene la talla del pez en épocas en que se marcaron los anillos, por retrocálculo. Se aplican estadísticos para conocer la varianza de la muestra a cada edad y determinar diferencia significativa de estos grupos calculados con los valores observados (sin retrocálculo, solamente transformación).

### Otolitos.

Hay otras estructuras que también se utilizan para la determinación de la edad: vértebras, espinas, otolitos, etc., que deben ser analizados para ver si su forma de crecimiento es isométrica con respecto al aumento de talla o peso del organismo.

El caso del otolito tiene la ventaja de que es una estructura que existe desde el momento en que la larva nace. Todos los días se le agregan los carbonatos que incrementan su tamaño con variaciones o cambios periódicos, lo que hace que se marquen los anillos.

### Validación de los anillos de crecimiento.

Existen varios procedimientos para validar el uso de las escamas para la determinación del crecimiento en peces. Joseph (1962), Heald y Griffiths (1967),

Beamish y McFarlane (1983), Jearld (1983) y Casselman (1983), describen algunos de los más importantes:

--- Incremento marginal.- Con la finalidad de determinar si el anillo que se observa en las escamas es un efecto anual que pudiera traducirse a años de edad, se analiza el incremento marginal que es la distancia entre el último anillo formado y el borde de la escama. En teoría ese incremento debe ir aumentando de un mes al siguiente, hasta que empieza a aparecer un engrosamiento en el borde, significando un nuevo anillo. El estudio de ese incremento marginal requiere de diversos análisis debido a la gran varianza que presenta en latitudes tropicales. Debido a que el crecimiento es diferente en un pez pequeño y en uno grande, los incrementos marginales no son comparativos, por lo que se sigue el método de Tanaka *et al.* (1981, en Bullock *et al.*, 1992 y Davis and West, 1992), que se refiere al también denominado índice de complemento (C), el cual estandariza los valores del incremento marginal dividiendo para ello éste (incremento marginal  $IM_n$ ) la distancia entre el penúltimo y último anillo ( $IM_{n-1}$ ).

--- Existe relación entre la talla y el último anillo.- La relación entre la longitud y el número de anillos, determina la validez de utilizar esa estructura ósea para el cálculo de la edad (aunque no su periodicidad).

--- Existe una diferencia significativa entre edades consecutivas.- Para la comprobación se pueden hacer gráficos y pruebas estadísticas para medir la diferencia significativa, por medias de edad, de talla, de pendiente, etc.

--- Los valores de las tallas por edad retrocalculada y las tallas observadas a esa misma edad de las lecturas directas, deben ser iguales.- Para comprobar esta hipótesis, se calcula una regresión, tomando como variables las medias por edad de los valores retrocalculados vs la medida de los individuos. En la medida en que los resultados de ambas variables tiendan a ser iguales, la pendiente “b”

tenderá a 1. Se hacen pruebas de hipótesis de la pendiente y se comparan con el estadístico “*t student*”.

--- Los valores del incremento anual tienen forma de campana o distribución normal.- Los incrementos en los primeros años son pequeños y aumentan conforme avanza la edad; alcanzan un máximo y descienden posteriormente, conforme se hace viejos. En especies de pocos años de vida, en lugar de campana es media campana.

--- Comparación con el análisis de frecuencia de tallas y análisis de progresión modal, donde se tienen que obtener grandes cantidades de datos y de las más tallas posibles.

--- Marcado recaptura.- Procedimiento caro en que se toman del medio juveniles, se les coloca una marca y se espera a que el mismo organismo marcado sea capturado, recobrada la marca y comparada la muestra de escamas con la original, para conocer lo sucedido entre ambos puntos del tiempo. El inconveniente es que no se conoce el efecto que tenga la marca en el cuerpo del individuo.

--- Cultivo de la especie.- Se tiene el problema de introducir stress y posibles enfermedades, modificando todo el comportamiento de las etapas de vida del organismo. Algunas especies en cautiverio tienden a engordar y no se desarrollan en longitud de forma natural.

### Crecimiento.

Para representar matemáticamente la función del crecimiento existen varias ecuaciones, pero la más utilizada es la de Ludwig von Bertalanffy, cuyo principio básico considera que la tasa de crecimiento es la diferencia entre las funciones de anabolismo y catabolismo (Ehrhardt, 1981). De esta manera, crecimiento es el resultado neto de la acumulación y la destrucción de material celular. La materia prima utilizada para la construcción de nuevos tejidos (anabolismo) debe entrar al

organismo a través de un margen representado por una superficie o serie de superficies comenzando con las membranas de células epiteliales y terminando con el transporte de material a través de las superficies de cuerpos subcelulares donde los procesos metabólicos continúan. Así, se puede suponer que el proceso de construcción de tejido estaría limitado por la capacidad de respiración e ingestión y por lo tanto relacionado con el área superficial, relacionado con la talla.

Por otra parte, el proceso de destrucción de material (catabolismo), ocurre dentro de la masa contenida por una superficie. La remoción de productos catabólicos, incluyendo la liberación de energía calórica, sucede otra vez a través de superficies. Como se puede suponer en este caso que la tasa de pérdida es más o menos constante, de manera tal que la pérdida total de peso en un animal debido al catabolismo podría ser proporcional al peso del mismo.

Éste es el principio del cual se deriva el modelo de von Bertalanffy, siguiendo el argumento de Pütter (1920), quien estableció que la tasa de anabolismo es proporcional a la potencia  $m$  del peso (donde  $m = 2/3$ ), mientras que la tasa de catabolismo es proporcional al peso mismo. Por ello este modelo supone que el crecimiento del organismo es isométrico, es decir, que hay proporcionalidad entre la longitud y el volumen, al cual se asocia el peso, y en general cuando todas las partes del cuerpo crecen de manera proporcional y constante, y las proporciones se mantienen a lo largo de su ciclo de vida (Sparre y Venema, 1995). La expresión matemática que describe esta función es:

$$L_t = L_\infty \left[ 1 - e^{-K(t-t_0)} \right]$$

donde:

$L_t$  = longitud al tiempo  $t$

$L_\infty$  = longitud máxima, infinita o asintótica, valor teórico que limita la curva de crecimiento.

$K$  = factor de crecimiento o de velocidad a la que la curva alcanza la asíntota, controla la forma de la curva.

$t$  = tiempo

$t_0$  = longitud teórica en la edad 0. La cual es una constante de integración sin significado biológico.

Con los resultados de la lectura de escamas, mediante la fórmula de Ford-Walford (Sparre y Venema, 1995), se determinaron los parámetros longitud infinita ( $L_\infty$ ) y la velocidad del crecimiento (K), dada por la relación:

$$L_{(t+1)} = a + b (L_t)$$

donde

$L_{(t+1)}$  = longitud total al tiempo  $t + 1$

$L_t$  = longitud total al tiempo  $t$

$a$  = ordenada al origen

$b$  = pendiente de la relación

en donde:

$$a = L_\infty * (1 - b) \quad y \quad b = e^{-K+1}$$

despejando,

$$K = -\ln b \quad y \quad L_\infty = \frac{a}{(1 - b)}$$

El parámetro  $t_0$  se obtuvo substituyendo “K” y “ $L_\infty$ ” en la fórmula despejada (Gulland, 1971):

$$t_0 = t + \frac{1}{K} * \ln \left( \frac{(L_\infty - L_t)}{L_\infty} \right)$$

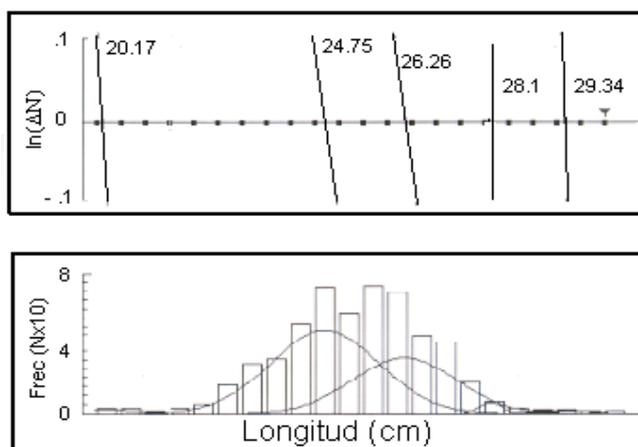
#### Método indirecto (distribución de frecuencia de tallas).

El análisis de la distribución de tallas de las muestras (método indirecto), consta en el análisis de un gran número de individuos en un momento dado, y cubrir el mayor número de tallas de la población. Esto es porque los peces nacidos el año pasado forman un grupo normal de una talla más menos d.s., mientras que los nacidos en otro año representan otra moda (véase la figura 5). Cada moda en el eje de la longitud representa una generación, y su seguimiento en el tiempo permite calcular el avance en longitud y por tanto la velocidad del crecimiento (Heald y Griffiths, 1967; Ehrhardt, 1981; Pauly, 1984; Sparre y Venema, 1995).

Existen varios métodos para determinar los parámetros de crecimiento basados en el modelo de von Bertalanffy a partir de la distribución de frecuencias de longitudes: desde las técnicas llamadas “de lápiz y papel” (Petersen, Bhattacharya, Cassie, citados en Holden y Raitt, 1975; Pereiro, 1982; Gulland, 1983; Sparre y Venema, 1995; Gulland y Rosenberg, 1992) hasta las que utilizan lotes cronológicos de distribuciones de frecuencias de talla como ELEFAN (Electronic Length frequency Analysis), que rastrea la mejor curva de crecimiento a través de dichas distribuciones, por método iterativo (Pauly y David, 1980; Gayanilo *et al.*, 1993).

El método de Bahattacharya consiste en graficar las frecuencias de longitudes en forma acumulativa porcentual, sobre papel probabilidad. Una distribución normal graficada de esta forma está representada como una línea recta sobre el papel. Si en la secuencia existiera más de un componente normal, la gráfica sobre el papel mostrará puntos de inflexión que corresponden a los puntos de mezcla de dos de los componentes como producto de una desviación de la normalidad (Figura 23). El método ha sido introducido a varios paquetes de computación específicos para pesquerías, pero también puede hacerse en una hoja de cálculo.

Figura 23.  
Determinación de las clases de edad por el método de Bhattacharya



Tomado de Cabral-Solís (1999).

El método de ELEFAN analiza distribuciones de tallas de meses consecutivos o salteados, de un año. Puede hasta manejar 50 clases de talla. El proceso implica varios pasos para alcanzar el mejor par de parámetros de  $L_{\infty}$  y  $K$  que mejor ajustan, donde el criterio es aumentar el valor de una “calificación”  $R_n$ .

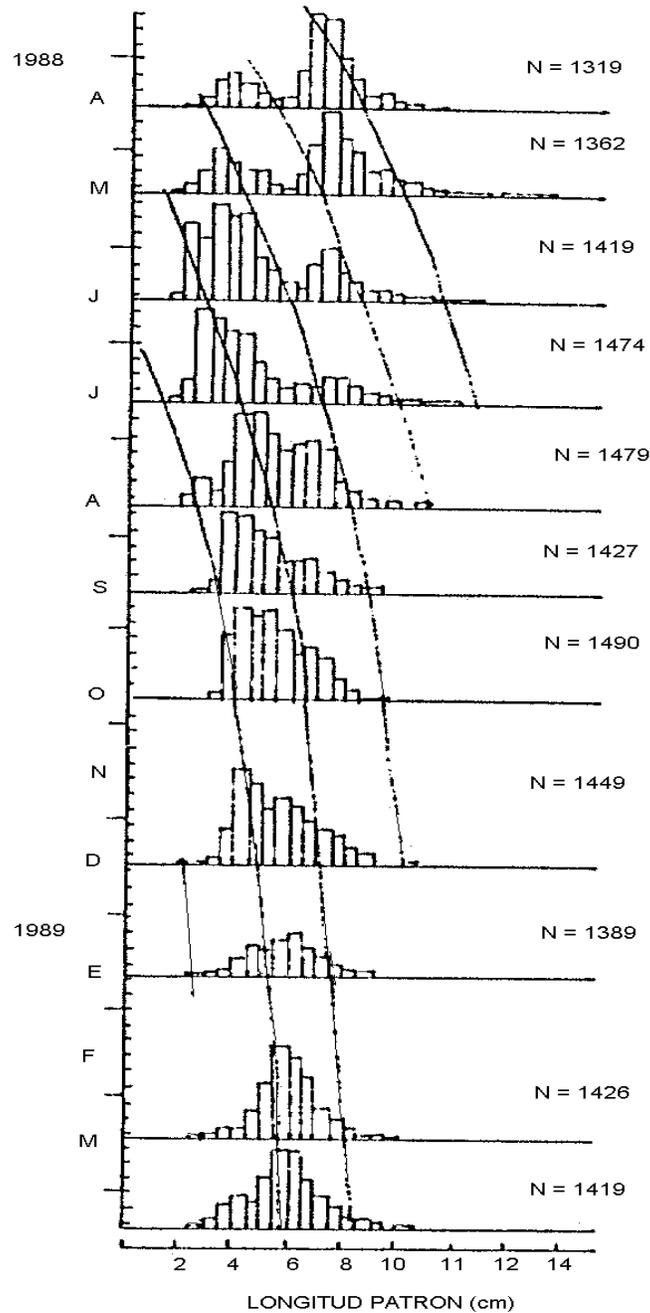
El resultado que se obtiene por este método se describe en los gráficos de la Figura 24.

**Supuestos:**

Cuando se analiza el crecimiento a través de distribuciones de talla, es necesario tomar en cuenta:

- que la muestra es representativa de la población,
- el patrón de crecimiento es el mismo a lo largo de todos los años,
- la relación que guarda el peso y la talla es isométrica,
- la ecuación de von Bertalanffy explica correctamente el patrón de crecimiento, y
- los individuos de una edad tienen la misma talla.

Figura 24.  
Estructura de tallas por mes y el cálculo de la línea de crecimiento de charales del género *Chiostoma* en el Lago de Pátzcuaro.



Tomado de Jiménez-Badillo y Gracia (1995).

### Comparación de curvas de crecimiento.

Con fines de comparación directa entre las curvas de crecimiento de un conjunto de parámetros obtenidos para la misma especie pero con diferentes

métodos se relaciona gráficamente  $K$  vs  $L_{\infty}$ . La pendiente de esta relación linealizada se llama phi prima ( $\phi'$ ) o índice de evaluación de crecimiento, desarrollado por Pauly en 1979 (Sparre y Venema, 1995), el cual es un indicador de que los parámetros estimados pertenecen a la misma especie, e indicará si el nuevo par de  $K$  y  $L_{\infty}$  concuerda con los resultados anteriores.

$$\phi' = \log K + 2 * \log L_{\infty}$$

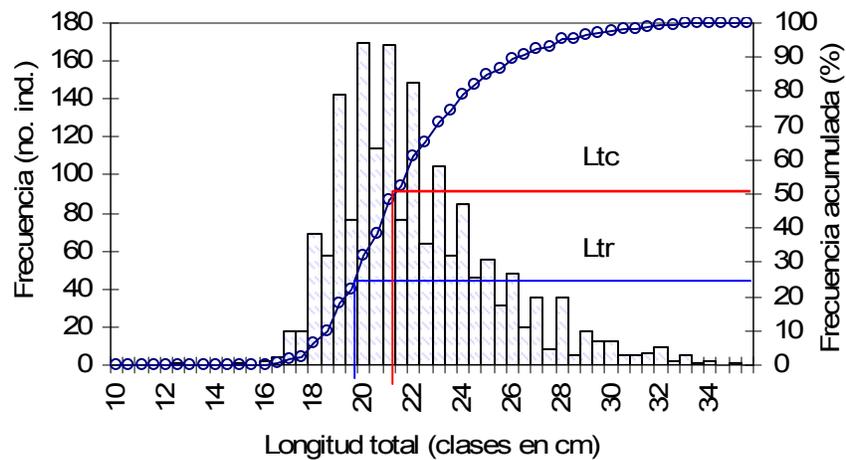
#### Edad y talla de primera captura:

Este es un valor que se obtiene de la muestra proveniente de la captura comercial. Se establece una proporción de presencia para determinarlo como es  $L_{25}$  (talla de reclutamiento) o  $L_{50}$  (talla de 1ª captura), que significa que el 25 o 50% de la clase puede capturarse. Según el modelo puede ser un parámetro calculado para el arte de pesca, tamaño de malla, etc., pero en modelos de simulación puede convertirse en una variable que ayudará a definir la regulación del arte de pesca. Va ligado al parámetro de la edad de primera reproducción y de fecundidad.

#### **Ejemplo:**

Para obtener las tallas de reclutamiento y de primera captura se puede utilizar la distribución de frecuencia de tallas, y con esta misma calcular la frecuencia acumulada (Figura 25).

Figura 25.  
Distribución de frecuencia de tallas de la población de langostas *Panulirus inflatus*,  
capturadas en la costa sur de Jalisco.



Nota: longitud total y frecuencia acumulada: Ltc = talla de primera captura = 21.5 cm; Ltr = talla de reclutamiento = 19.5 cm.

Entre las restricciones más importantes está el hecho de que estas tallas son teóricas y en la naturaleza tienden a ser más bajas. En poblaciones muy presionadas por la pesca puede haber precocidad para reproducirse o enanismo, ya que las tallas mayores son las más vulnerables a la pesca.

Las transformaciones de la talla a peso o edad se pueden hacer utilizando las ecuaciones correspondientes.

### 5.3.- Mortalidad

#### Tasa de mortalidad total (Z), natural (M) y por pesca (F)

En biología pesquera, la mortalidad es un parámetro muy importante que expresa la disminución de una clase de edad o stock en general, en el tiempo (Beverton y Holt, 1959). Estas tasas de cambio (mortalidad total Z, natural M y por pesca F) se definen con las ecuaciones:

$$N_t = N_o * e^{-Z_t}$$

donde:

$N_0$  = número inicial de peces en el tiempo 0  
 $N_t$  = número de peces al finalizar el tiempo t  
 $Z_t$  = tasa instantánea de mortalidad

$$Z = M + F$$

donde:

M = tasa instantánea de mortalidad natural (debido a enfermedad, vejez o depredación)

F = tasa instantánea de mortalidad por pesca

Una de las maneras más prácticas para evaluar el parámetro de mortalidad total (Z) es por el método de curva de captura linealizada basado en composición por edad (Ricker, 1948 y 1975; Ehrhardt, 1981; Sparre y Venema, 1995). La teoría señala que en un gráfico realizado con datos de incremento anual en talla de los peces contra la edad, la parte derecha de la curva es una pendiente que representa sobrevivencia de los peces de un año-edad a otro. Mientras menos pronunciada la pendiente, mayor es dicha sobrevivencia (Figura 26).

La fórmula de la curva de captura linealizada es:

$$\ln C_{(t,t+1)} = g - Z * t$$

donde:

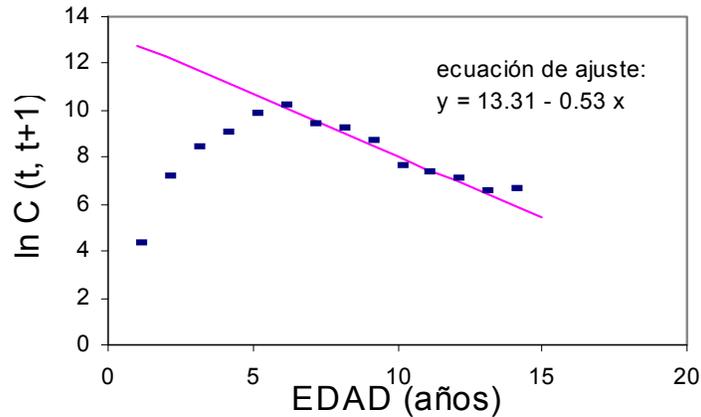
Z = mortalidad total;

C = captura para cada intervalo de edad;

g = término constante de ordenada al origen.

Figura 26.

Gráfico de la curva de captura linealizada en base a la composición promedio de edades de captura de huachinango en el litoral de Colima, en 1997.



Nota:  $Z = 0.53$ .

### Supuestos:

- el número de reclutas que se incorporan a la población es constante en cada año;
- las causas de la pérdida de organismos por mortalidad también es constante;
- la supervivencia  $S$  es constante para todas las edades a través del tiempo.

La relación entre esta **sobrevivencia** ( $S$ ) y la tasa intrínseca de mortalidad total ( $Z$ ) es:

$$S = e^{-Z}$$

Para calcular la mortalidad natural ( $M$ ) se pueden seguir varios métodos:

a) Método de Taylor (1958 y 1960) que supone que en la naturaleza, los peces crecen máximo hasta 95% de su longitud asintótica y que la longevidad de la especie es indirectamente proporcional a su mortalidad natural, así como al número de individuos presentes en el tiempo  $t$ . Si se considera la edad límite ( $A_{0.95}$ ) como el tiempo requerido para alcanzar 95% de la longitud asintótica  $L_{\infty}$ , y la tasa de crecimiento como  $K$ , se tiene que la longevidad es:

$$A_{0.95} = \frac{-\text{Ln}(1-0.95)}{K_o} + t_o$$

y la mortalidad natural:

$$M = \frac{-\text{Ln}(1-0.95)}{A_{0.95}}$$

b) La ecuación empírica de Pauly (1980):

$$\text{Ln}M = -0.0152 - 0.279 * \text{Ln}L_{\infty} + 0.6543 * \text{Ln}K + \text{Ln}T$$

se basa en la relación lineal entre los parámetros de crecimiento  $L_{\infty}$  y  $K$  y la temperatura media anual ( $T$ ) del agua de la zona. La base teórica de este modelo es fisiológica y demuestra que el ambiente influye en la velocidad del metabolismo, es decir, que una especie pequeña crece más de prisa y muere antes que otra de mayor tamaño, además de estar más expuesta a depredadores por su tamaño. Además, en ambientes de mayor temperatura, el metabolismo es más rápido y el depredador debe alimentarse más seguido, lo que causa mayor mortalidad a las especies depredadas.

La mortalidad por pesca se obtiene de manera común, por despeje de la fórmula:  $Z = M + F$ , pero también se considera que:

$$F = q * f$$

donde:

q = capturabilidad

f = esfuerzo de pesca

En esta última fórmula por lo general se toma como supuesto el que la capturabilidad es una constante de proporcionalidad (independiente del arte, del

esfuerzo, de la edad de los organismos, del lugar de pesca, etc.), y que la F es proporcional a “f” (Rothschild, 1977).

### **Ejemplo:**

En el análisis de la población de la lisa *Mugil curema* de la laguna de Cuyutlán (Cabral-Solís *et al.*, 2006) se obtuvo una mortalidad total  $Z = 0.84$ , que corresponde a una tasa de sobrevivencia  $S=0.432$ . Mueren de manera natural (con la fórmula de Taylor, 1958, 1960)  $M = 0.226$  y por pesca  $F = 0.614$ . Esto significa que en el año sobreviven 43.17 % de la población y mueren 56.83%. Considerando la mortalidad total como 100%, mueren de manera natural 26.94% y por pesca 73.06%. La tasa de explotación es de  $E = 0.731$ .

#### Tasa de explotación

Se estima a partir de los valores de mortalidad por pesca (F) y mortalidad natural (M). Indica el nivel de explotación del recurso y un posible exceso de pesca en términos de esfuerzo aplicado. Si el nivel de explotación de la especie está muy próximo o excede el punto de referencia límite ( $E_{0.5}$ ), significa que se está extrayendo el 50% de la biomasa existente (Gulland, 1983). De acuerdo con este autor la tasa de explotación óptima debe ser  $E_{0.33}$ , situación donde  $F = M$ .

La tasa de explotación (E) se estima como:

$$E = \frac{F}{Z}$$

y una modificación a la ecuación:

$$E_m = \frac{F}{M + F} * (1 - e^{-(M+F)})$$

donde:

F = mortalidad por pesca

Z = mortalidad total

M = mortalidad natural

#### **5.4.- Reclutamiento.**

##### Definición.

Los reclutas son organismos jóvenes con la apariencia de los adultos, que han ingresado a la zona de pesca, cuyo crecimiento se describe con la fórmula de von Bertalanffy (1938) y cuya tasa instantánea de mortalidad es similar a la del adulto. Gulland (1983) separa los reclutas en prerreclutas (huevos, larvas y juveniles) y posreclutas (los que se aprovechan en las pesquerías). Entonces, la edad de reclutamiento  $t_r$  es equivalente a la edad de primera captura  $t_c$  y son la parte de una población pesquera que puede estudiarse con cierta facilidad, ya que los prerreclutas son como una “caja negra”, todo debe asumirse (o efectuar un muestreo ex profeso). El reclutamiento es el monto de estos individuos o la “fuerza” numérica en un año dado y puede ser expresión de una clase anual o cohorte. La regulación natural de un stock se da entre el equilibrio del reclutamiento de un número dado de individuos y el grupo de progenitores (Pereiro, 1982; Pauly, 1984; Sparre y Venema, 1995).

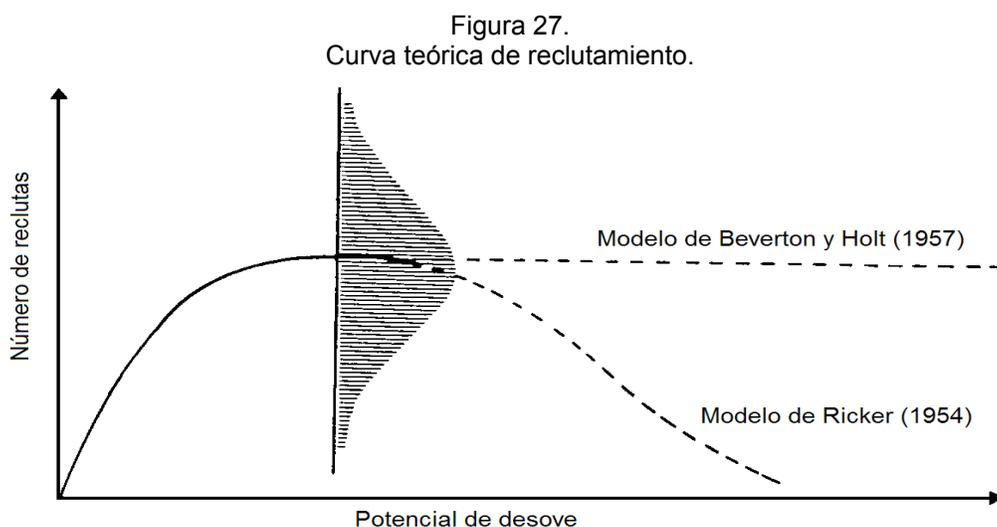
##### Modelos de relación stock-recluta.

Para determinar el valor del reclutamiento:

- a) Se realizan prospecciones específicas para capturar organismos que apenas se iban a reclutar a la pesquería.
- b) Se relacionan abundancia larvaria con factores oceanográficos y su efecto en la sobrevivencia. El problema es que hay especies con una altísima fecundidad y la mortalidad en larvas es muy alta también.
- c) Por APV (modelo de análisis de población virtual), pero considerando que hay retardo, es decir, hasta que ya se termina el análisis se obtiene la información de reclutamiento de la cohorte de hace X años.
- d) Se ha tratado de relacionar la abundancia de reclutas con la abundancia del stock de reproductores, es decir, que el número de hembras es definitivo para el número de reclutas (relación stock/ recluta = S/R).

Aún no hay métodos que traten numéricamente este parámetro. Existen muchos modelos basados en los principios de la relación stock - recluta, parentela - progenie. Los principios de la teoría, sugieren que no puede haber reclutas si no hay adultos, y mientras más adultos, más reclutas. Sin embargo, la mayor parte de las hembras de peces tienen una fecundidad elevada, lo cual ha llevado a algunos autores a pensar que con pocas hembras se podría reponer el stock pesable, y eso está por verse.

Asimismo, se ha pensado que los factores ambientales juegan un papel importante en el éxito de una cohorte o generación de larvas de peces, sin importar si su número era muy grande o pequeño. La relación que existe entre éstos se asemeja a una parábola (en su primera parte), donde al comienzo, con pocos adultos, hay pocos reclutas. Conforme aumenta la biomasa de desovantes, aumenta también el número de reclutas, hasta alcanzar un máximo. De ese punto en adelante, con el aumento de la parentela, hay dos teorías: Beverton y Holt (1957) sugieren que se estabiliza el número de reclutas (no aumenta porque en el ecosistema hay una capacidad de carga limitante), Ricker sugiere que disminuye (debido a la competencia intraespecífica), para completar la parábola (véase la Figura 27).



Nota: La distribución sombreada indica la variación que puede existir el nivel promedio. (Gráfica tomada de Sparre y Venema, 1995).

El modelo de Beverton y Holt (1957) se resume como:

$$R = \frac{E}{E + g * R_{\max}} * R_{\max}$$

donde:

R = reclutas

E = número de hembras

g = producción promedio de huevos

Rmax = valor de reclutas a nivel asintótico

El modelo de Ricker (1954) es:

$$R = R1 * E * e^{-(R2 * E)}$$

donde:

R = reclutas

E = producción de huevecillos

R1 y R2 = parámetros de la relación

En este modelo el número de reclutas disminuye tras un nivel máximo, ya que por el aumento de huevecillos se da competencia y canibalismo de los adultos sobre los reclutas.

## **5.5.- Análisis de contenido estomacal.**

### Importancia y repercusión.

A través del estudio de los contenidos estomacales de diversas especies pueden conocerse aspectos de las redes tróficas de una comunidad. El estudio de la dinámica trófica es parte del conocimiento global de la estructura y funcionamiento de una población y es indispensable para marcar tanto lineamientos generales, como particulares en el manejo y administración de los recursos explotados comercialmente (Saucedo-Lozano, 2000). En el manejo adecuado de los recursos pesqueros, es necesaria la información obtenida sobre la estructura de la transferencia de energía y los cambios tróficos que sufre un ecosistema.

Los hábitos alimenticios o la conducta relacionada con la alimentación en los peces no se relacionan más que con la búsqueda y la ingestión de alimentos, es decir, la manera de alimentarse. Estos deberán distinguirse de los hábitos de alimento y la dieta que corresponden al estudio de los materiales que habitualmente o fortuitamente llegan a comer.

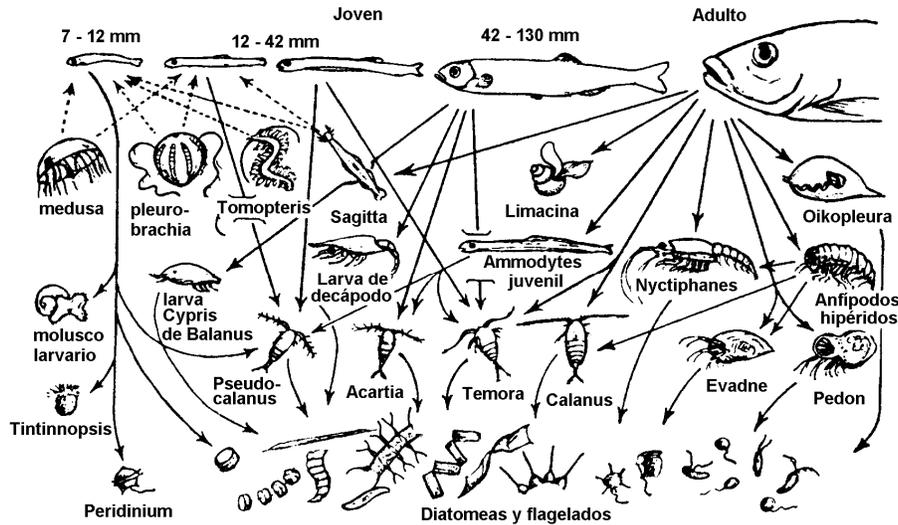
Cualquier organismo que sirve de alimento para otros no siempre está disponible, ya que hay fluctuaciones naturales en su abundancia. Estas fluctuaciones de las especies que sirven de forraje son a menudo cíclicas y se deben a factores propios de su desarrollo biológico, a condiciones climáticas, a otras condiciones relacionadas con el medio ambiente, o a algún exceso de depredación que hizo que disminuyera su abundancia.

El estudio de las características tróficas de una especie es parte de la red y dinámica alimenticia de la comunidad (Figura 28). Su análisis es muy detallado y debe separarse por especies y edades o etapas de su vida.

#### Métodos de análisis.

Muchos trabajos que se han hecho sobre alimentos ingeridos por los peces han sido cualitativos y muy pocos cuantitativos. Se describe lo que se encontró en el estómago, pero no se sabe cuánto es de cada grupo. Ello se debe a que lleva mucho tiempo (Holden y Raitt, 1975).

Figura 28.  
Resumen diagramático de las relaciones alimenticias del arenque (*Clupea harengus*) de diferentes tamaños



Tomado de Lagler *et al.* (1977).

Para su estudio, no sólo debe contarse con una muestra representativa de estómagos de la especie en estudio, sino también un muestreo estratificado de 24 horas. También debe pensarse en muestras a lo largo del año. Con ello se garantiza que se pueda conocer la composición de dicho contenido, la cantidad y también la dinámica de la alimentación.

Los organismos colectados deben pesarse enteros y eviscerados, el estómago debe pesarse y medirse ancho y largo. Posteriormente se fija en formalina, con etiqueta apropiada que permita identificarlo con sus datos merísticos. No debe transcurrir tiempo entre la obtención de la muestra y su fijación, pues se sigue digiriendo el contenido.

En laboratorio se abren los estómagos y se separan los organismos por grupos, para una identificación al menor nivel taxonómico posible, utilizando claves taxonómicas especializadas para los distintos grupos de organismos. Esta separación se facilita con un microscopio estereoscópico.

Hay varios métodos de análisis cuantitativo:

--- frecuencia de la presencia o frecuencia de ocurrencia, donde se anota cada alimento o presa y se expresa en porcentaje de presencia en comparación con todos los organismos encontrados. El inconveniente de este método es que subestima a los organismos grandes y sobrestima a los pequeños.

--- presencia numérica, consiste en que se registra cada trozo de alimento presente, que también puede sobrestimar algún grupo o especie, p.ej. si se cuentan diatomeas, se sesgará la dieta comparativamente con un organismo más grande.

--- predominio, cuantifica el número de peces en que se encontró el alimento y se expresa en porcentaje. El método indica cuales son las principales especies alimentarias, pero no su importancia relativa como fuentes de energía.

--- volumen total del alimento del estómago y luego clasificado en diferentes tipos de alimento, para determinar el volumen de cada uno de ellos.

--- gravimetría se refiere al peso total de los alimentos, parecido al volumétrico, pero reportado en peso. Tiene ventaja si la muestra está completamente seca, si no, se introduce un sesgo de humedad no conocida.

--- índice de importancia relativa (IIR), incorpora los anteriores, basándose y expresándose en porcentaje, estimando y dando importancia general a cada presa en particular. La formulación es:

$$IIR = (W + N) * F$$

donde:

W = porcentaje en peso

N = porcentaje del número de organismos

F = porcentaje de frecuencia de ocurrencia

Para ilustrar mejor estos métodos se da el siguiente ejemplo del análisis del contenido alimenticio de dos robalos (Cuadros 17, 18 y el resumen en Cuadro 19):

Ejemplar 1

Cuadro 17.  
Número, tamaño y peso del alimento en un robalo.

Alimento	Número	Talla (cm)	Peso (g)	Volumen (ml)
Jaiba	1	10	60	80
Camarón	3	5	10 c/u	20 c/u
Anchoveta	1	7	20	30

## Ejemplar 2

Cuadro 18.  
Número, tamaño y peso del alimento en un robalo.

Alimento	Número	Talla (cm)	Peso (g)	Volumen (ml)
Jaiba	2	8	50 c/u	80 c/u
Camarón	5	4	8 c/u	15 c/u
Anchoveta	0	0	0	0

## Resultados por los diferentes métodos.

Cuadro 19.  
Comparación de los resultados de contenido estomacal de dos robalos obtenidos por dos métodos.

Método	Alimento	Ejemplar 1	Ejemplar 2	Total	Porcentaje
Frecuencia	Jaiba	1	1	2	40
F.	camarón	1	1	2	40
F.	anchoa	1	0	1	20
Presencia	jaiba	1	2	3	25
P.	camarón	3	5	8	66.6
P.	anchoa	1	0	1	8.4
Predominio	jaiba	1	1	2	100
Pred.	camarón	1	1	2	100
Pred.	anchoa	1	0	1	50
Volumétrico	jaiba	80	80	160	71
Vol.	camarón	20	15	35	13.5
Vol.	anchoa	30	0	30	15.5
% de Vol.	jaiba	61.5	84.2	145.7	73.9
% de Vol.	camarón	15.3	13.8	29.1	14.7

% de Vol.	anchoa	22.2	0	22.2	11.4
Gravimétrico	jaiba	60	50	110	74.3
Gravimétrico	camarón	10	8	18	12.1
Gravimétrico	anchoa	20	0	20	13.6

Con la información que se ha obtenido de esta especie pueden describirse los hábitos alimentarios y su relación con las cadenas tróficas. Cuando se han descrito estas características de varias especies puede empezar a construirse un mapa de tipo piramidal, donde la base representa los productores primarios y la cima los grandes carnívoros, con todos los grupos intermedios interrelacionados entre sí y con un flujo de energía que pasa de un eslabón al siguiente.

En el trabajo del análisis de los contenidos alimentarios de los peces, el conocimiento taxonómico de los diferentes grupos es muy importante y la formación de la colecciones de referencia imprescindible.

## 6. MODELOS EN PESQUERÍAS

Son modelos matemáticos que ayudan a predecir los niveles de biomasa del stock y su rendimiento con la aplicación de cierto esfuerzo de pesca. El fin es el aportar información a los administradores de las pesquerías para que puedan tomar decisiones correctas con resultados científicos.

Los modelos de producción asumen que las interacciones con otras especies, la variación espacial y medioambiental pueden ser ignoradas. En este sentido se han desarrollado infinidad de modelos, desde los muy simples con dos variables (Schaefer 1957, Fox, 1970), aquellos que solamente utilizan variables biológicas (Beverton y Holt, 1957) y los que combinan tanto variables pesqueras como biológicas (p. ej. Deriso/Schnute citado en Hilborn y Walters, 1992). En los últimos años se han desarrollado aquellos modelos que incorporan variables ambientales y cuyo objetivo es calcular el rendimiento de un recurso sin alterar el ecosistema (Christensen y Pauly, 1993).

La selección del modelo depende del tipo de datos disponible y de la especie estudiada.

### 6.1. Modelos de análisis de rendimiento excedente

Estos modelos utilizan solamente series de capturas y de esfuerzo de varios años, y su objetivo es calcular el nivel óptimo del esfuerzo ( $f_{opt}$ ) para obtener el rendimiento máximo sostenible (RMS) a largo plazo, sin afectar la productividad del stock. Son la herramienta más simple para caracterizar el estatus de una población y su productividad.

#### Modelos de Schaefer y Fox

Los dos modelos de este tipo más utilizados son el de Schaefer (1957) y el de Fox (1970).

El modelo de Schaefer (1957) es:

$$C_i = a * f_i + b * f_i^2$$

donde:

$C_i$  = captura anual (en peso)

$f_i$  = esfuerzo de pesca (en la unidad de esfuerzo que se analiza)

a y b = parámetros del modelo lineal:

$$\frac{C_i}{f_i} = a + b * f_i$$

donde:

$C_i / f_i$  = captura por unidad de esfuerzo (o CPUE)

Los valores óptimos de rendimiento máximo sostenible (RMS) y esfuerzo

óptimo ( $f_{opt}$ ) se calculan:

$$RMS = -0.25 * a^2 / b$$

$$F_{opt} = -0.5 * a / b$$

El modelo de Fox (1970) es:

$$C_i = f_i * e^{(c+d*f_i)}$$

donde:

$C_i$  = captura anual (en peso)

$f_i$  = esfuerzo de pesca (en la unidad de esfuerzo que se analiza)

c y d = parámetros del modelo potencial:

$$\ln\left(\frac{C_i}{f_i}\right) = c + d * f_i$$

Los valores óptimos de RMS y  $f_{opt}$  con el modelo de Fox se calculan:

$$RMS = -\frac{1}{d} * e^{(c-1)}$$

$$f_{opt} = -\frac{1}{d}$$

### Supuestos:

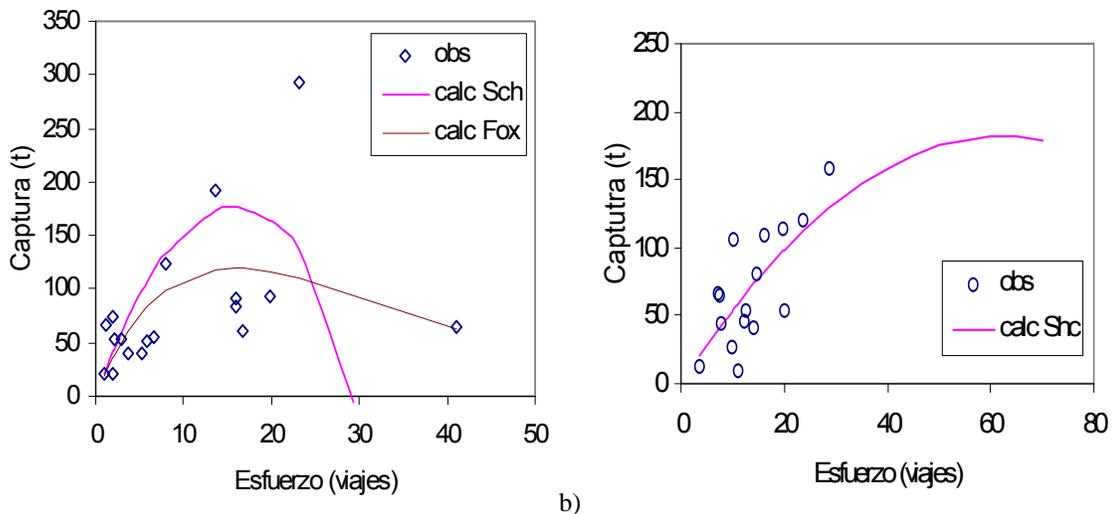
- La relación entre la CPUE y el esfuerzo (f) debe ser indirectamente proporcional, es decir, a mayor esfuerzo menor CPUE.

- En los valores de captura tienen que existir datos que ya hayan rebasado los niveles máximos de captura.
- Son modelos muy sensibles a los valores elevados de la captura.

**Ejemplo:**

En la pesca ribereña de Colima se captura comúnmente el jurel *Caranx caninus* y el cocinero *C. caballus*, aunque no como especie objetivo o pesquería dirigida. Sin embargo, su captura se registra en los avisos de arribo y es muy común ver estas especies en el mercado y en la playa cuando los pescadores entregan su producto. En las gráficas de la figura 29 se observan los resultados de la aplicación de estos modelos. El rendimiento máximo sostenible según Schaefer para el jurel (véase la Figura 29 a) es de 176 toneladas anuales y según Fox, de 325 t, con un esfuerzo óptimo de 15,660 viajes el primero y 15,625 el segundo. De acuerdo con lo anterior, se observa que la pesquería alcanza en algunos años los niveles máximos de captura sugeridos por el modelo, por lo que es recomendable no incrementar el esfuerzo pesquero.

Figura 29.  
Aplicación de los métodos de Schaefer (calc Sch) y Fox (calc Fox) a los datos de captura y esfuerzo



Nota: a) jurel *Caranx caninus*, b) cocinero *C. caballus*, en Manzanillo Colima de 1983 a 2002.

El RMS calculado por el modelo de Schaefer para el cocinero es de 181.9 toneladas anuales con un esfuerzo óptimo de 62 mil viajes (Figura 29 b), lo que quiere decir que podría triplicarse el esfuerzo sin exponer al recurso a la sobreexplotación. Los datos no permitieron calcular el rendimiento con el modelo de Fox.

### **Restricciones:**

- Para validar los resultados puede recalcularse el modelo agregando años consecutivos y conocer la tendencia de los resultados de la RMS y  $f_{opt}$ .
- Es importante comparar los resultados de estos modelos con algún otro modelo.

### **6.2.- Modelos analíticos o estructurados.**

Estos modelos tienen como requerimiento una mayor cantidad y calidad de datos de la pesquería, utilizando para su análisis la estructura por edades o cohortes. Además de las estadísticas de pesca, los modelos estructurados requieren de valores de edad, de crecimiento, reclutamiento y de la mortalidad.

El análisis se basa en una serie de cálculos que parten de la porción de peces que se muestrean, para intuir matemáticamente qué hay en el mar que permite esta captura (Sparre y Venema, 1995). Entre los modelos que más se aplican están el análisis de población virtual, rendimiento por recluta y modelo de parentela - progenie (Ehrhardt, 1981; Sparre y Venema, 1995).

#### Análisis de población virtual (APV o VPA).

Este análisis comprende el cálculo del tamaño de la población hacia el pasado, a partir de información de captura y mortalidad por pesca presente (Pereiro, 1982), o la reconstrucción de la población presente basado en cálculos con datos históricos. La idea es analizar lo que se puede ver (captura) para calcular la población que debió haber habido hace varios años, para producir la captura que se tiene hoy; analizar la captura de hoy para simular la captura del futuro.

El APV sirve para analizar datos históricos y calcular los parámetros de la población. La finalidad es determinar la estrategia de pesca óptima a través de valores de F por edades, llamado también “patrón de captura” (Sparre y Venema, 1995).

Además de este método, existe el análisis de la cohorte con edades, el análisis de cohorte con longitudes y el análisis de población virtual para muestras de información de tallas.

La diferencia entre estos modelos radica en variaciones de sus fórmulas originales. En el caso del APV, con información presente se reconstruye las clases anteriores

El APV se basa en dos ecuaciones principalmente:

$$C_i = N_i * \frac{F_i}{Z_i} * (1 - e^{-Z_i})$$

$$N_i = N_{i+1} * e^{Z_i}$$

donde:

$C_i$  = la captura del periodo i

$N_i$  = número de individuos del periodo i

$F_i$  = mortalidad por pesca

$Z_i$  = mortalidad total.

### **Supuestos:**

- se conoce a la perfección la mortalidad natural (M) y debe ser determinado independientemente del APV;
- si la mortalidad por pesca (F) es pequeña, al tomarse como indicador de la población, ésta será más incierta, caso contrario, cuando F es alta, más fiable será al APV;
- el número de años observados debe ser mayor al número de parámetros calculados;

- en los cálculos de este modelo hay muchas fuentes de error, existe una enorme responsabilidad en la distribución de frecuencia de tallas.

El modelo de Beverton y Holt (1957) o de isopletras de rendimiento individual

Este modelo considera a la población como la suma de sus miembros individuales, tomando en cuenta el crecimiento y muerte individual. Supone una población en equilibrio, esto es, un reclutamiento constante. Básicamente plantea que el rendimiento de una clase anual a lo largo de su vida pescable, en condiciones de equilibrio, es igual al rendimiento de la población en un año. Por lo tanto, la captura en peso, de un intervalo de tiempo, será igual al producto del número de individuos capturado por su peso promedio:

$$y / r = F * e^{-Mr'} * P_{\infty} \left( \frac{1}{Z} - \frac{3e^{-Kr'}}{Z + K} + \frac{3e^{-2Kr'}}{Z + 2K} - \frac{e^{-3Kr'}}{Z + 3K} \right)$$

donde:

y = captura o rendimiento

r = recluta

F = mortalidad por pesca

M = mortalidad por pesca

r' = t<sub>R</sub> - t<sub>0</sub>, intervalo de tiempo entre el reclutamiento t<sub>R</sub> y el hipotético t<sub>0</sub>;

P<sub>∞</sub> = peso correspondiente a la longitud asintótica L<sub>∞</sub>;

Z = mortalidad total;

K = coeficiente de crecimiento

Este modelo puede solucionarse dando valores arbitrarios a la mortalidad por pesca (F) y a la talla de primera captura o edad de reclutamiento t<sub>R</sub>, con lo que se obtendrá una matriz de resultados con los cuales se delinearán las isopletras resultantes del modelo (Ricker, 1977).

**Supuestos:**

- el reclutamiento es constante a lo largo de los años;
- los individuos de una cohorte nacen en la misma fecha;
- el reclutamiento y la selección de los individuos es instantánea, es decir, suceden en el mismo momento;

- la mortalidad (natural y por pesca) es constante a partir de la edad de captura
- dentro del stock, los organismos se encuentran mezclados (tallas y sexos);
- la relación peso – talla tiene exponente 3, es decir, es isométrico.

**Ejemplo:**

Los parámetros de entrada para el análisis de rendimiento por recluta de la sierra *Scomberomorus sierra* muestreada en la costa de Colima, son los siguientes:

$$F = 0.368$$

$$M = 0.322$$

$$L_{t_c} \text{ (talla de primera captura)} = 50.0\text{cm}; P_c = 643 \text{ g}; T_c = 2.63 \text{ años}$$

$$L_{t_r} \text{ (talla de reclutamiento)} = 45 \text{ cm}; P_r = 467 \text{ g}; T_r = 2.334 \text{ años}$$

$$r' (T_c - T_r) = 2.631 - 2.334 = 0.297$$

$$P_\infty = 4,849.376 \text{ g};$$

$$K = 0.23$$

La gráfica resultante se observa en la figura 30, donde se sugiere que la mortalidad por pesca actual ( $F = 0.368$ ) es bastante menor a la  $F_{\max} = 0.9$ . Desde el punto de vista de este criterio, la pesca es saludable y tiene un margen para su desarrollo. Aun así, la sugerencia en la literatura es que se afecte únicamente un porcentaje pequeño equivalente a 0.9 % de las poblaciones pesqueras ( $F = 0.1$ ), que equivaldría a reducir el esfuerzo pesquero.

Figura 30.  
Rendimiento por recluta de la sierra de la costa de Colima, en 2005.

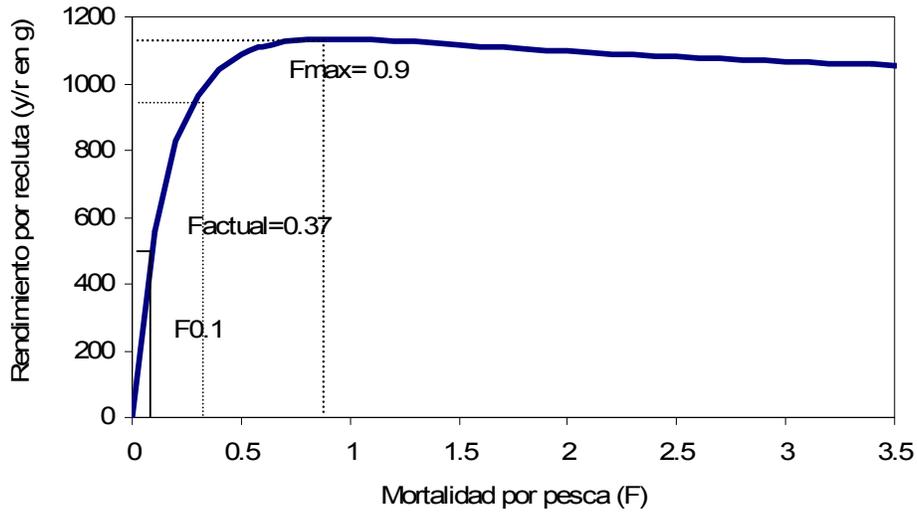
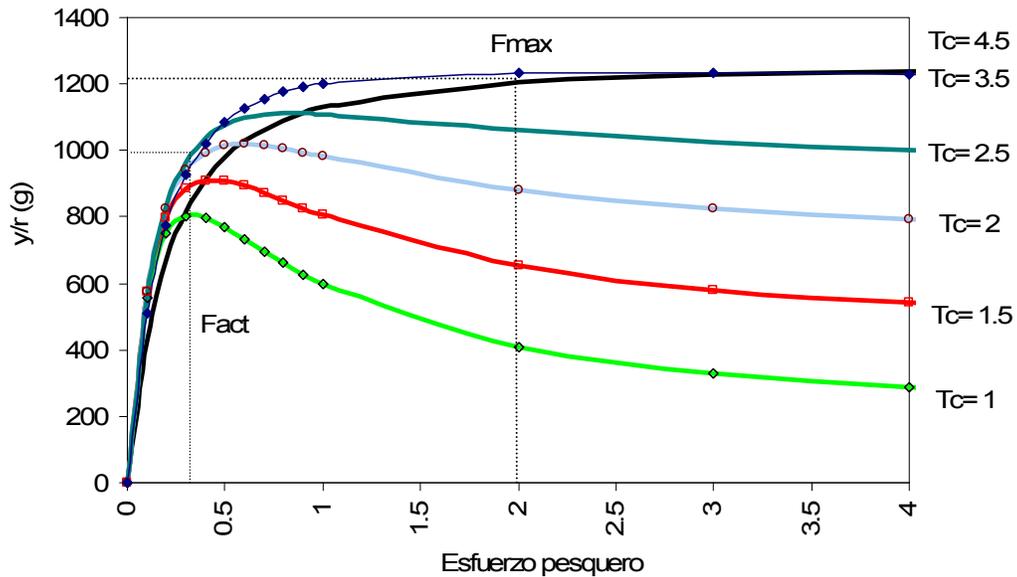


Figura 31.  
Simulación del rendimiento por recluta (y/r), variando la talla de primera captura ( $T_c$ ) con datos de la sierra de la costa de Colima.



Si se varía la talla de primera captura se obtienen diferentes líneas que describen el rendimiento por recluta para cada nivel de mortalidad. La figura 31 muestra que si la sierra se capturara a los 3.5 años ( $L_t = 62$  cm y  $P = 1,241$  g), se alcanzaría un mejor rendimiento, que cuando se captura con la edad actual.

### Modelo de parentela – progenie

Modelo que considera la importancia de conocer la proporción que existe entre los organismos adultos y su capacidad de producir reclutas. Entre las medidas más importantes en pesquerías está la de capturar los individuos a una edad en que al menos se hayan reproducido una vez; cerrar la pesca por un tiempo, para que los organismos desovadores alcancen la zona de reproducción; y proteger zonas de desove para asegurar el desarrollo de huevos y larvas.

Para explicar la relación entre los parámetros parentela – progenie existen opiniones encontradas. Mientras que en algunos recursos se puede explicar la disminución de la captura debido un bajo reclutamiento anterior, en otras, parece no haber efecto alguno. En el caso de la sardina de California en los 50's, los efectos de los patrones ambientales fueron mucho más determinantes en las capturas que el stock reproductivo (Ricker, 1977).

Sin embargo, no se puede asegurar que el reclutamiento sea un parámetro independiente del stock de adultos, por lo que se sigue utilizando el modelo para limitar los montos de la captura. La forma del modelo tiene un máximo que significa que el tamaño del stock es mayor o menor que la tasa de renovación, y la reproducción declina asintóticamente cuando el tamaño del stock crece. El modelo propuesto por Ricker (1977) es:

$$R = P * e^{a(1-\frac{P}{P_r})}$$

donde:

R = número de reclutas

P = tamaño del stock parental

a = parámetro que representa la tasa de renovación parental

$P_r$  = parámetro de abundancia compensatoria del stock

### **Supuestos:**

- El parámetro de la tasa de renovación considera que la mortalidad, es igual para las diferentes edades.

- Requiere de una gran cantidad de datos por la alta variabilidad.
- Debe considerarse si el área de reproducción se limita a una zona y qué tanto migran los huevecillos y larvas.

Hay diferentes modificaciones a este modelo, el más conocido es el de Beverton y Holt (1957), que sugiere que la limitante del número de reclutas está impuesta por el ambiente.

#### Modelo de diferencia de retraso (Delay Difference Model)

Un modelo intermedio entre los de producción excedente y los que se basan en la estructura de edad es el de diferencia de retraso de Deriso/Schnute (Hilborn y Walters, 1992; Sparre y Venema, 1995; Gallucci *et al.*, 1996). Su finalidad es simular los efectos de la captura en la biomasa poblacional de una especie. Este modelo se desarrolló para especies de larga vida (crecimiento lento) y permite calcular la biomasa esperada ( $B_t$ ) con la ecuación:

$$B_{t+1} = g * (B_t + C_t) + R$$

donde:

$g$  = parámetro relativo a la población, que integra conceptos de mortalidad natural ( $M$ ), constantes de crecimiento del modelo de Ford-Walford, llamados alfa ( $\alpha$ ) y rho ( $\rho$ ) y el peso del individuo promedio en la captura:

$$g = e^{-M} * \left( \frac{\alpha}{W_{med}} + \rho \right)$$

$C_t$  = captura al tiempo  $t$

$R$  = reclutamiento en unidad de biomasa, y en este caso como:

$$R = B_0 - g * C_0$$

Las simulaciones se realizan agregando valores de captura y se calcula la biomasa del recurso.

### Supuestos:

- el aumento en peso de los individuos totalmente reclutados al arte pueden ajustarse a una recta;
- a cierta edad “k”, todos los organismos son igualmente vulnerables;
- a partir de esa edad “k”, la M es igual para todas las edades.

### Ejemplo:

La especie más importante en la pesca ribereña del litoral del Pacífico mexicano es el huachinango *Lutjanus peru*. Hacia ésta y otras especies de pargos demersales dirigen los pescadores su esfuerzo de pesca.

El ajuste del modelo de retraso aplicado al huachinango se realizó con los valores del Cuadro 20 y la serie de datos de esfuerzo de 1982 a 2004.

El parámetro de entrada o de la biomasa  $B_0$ , se modificó mediante el ajuste de la CPUE observada y la calculada (Figura 32), se obtuvo  $B_0 = 26,500$  toneladas (Figura 33).

Cuadro 20.  
Parámetros utilizados en el modelo de diferencia de retraso.

PARÁMETRO	VALOR
$B_0$ (biomasa inicial) en toneladas	10,000
	26,500
g	0.978
M	0.630
$W_{med}$ (peso promedio en gramos)	0.373
$\alpha$ (alfa)	0.765
$\rho$ (ro)	0.895

Figura 32.

Ajuste de la captura por unidad de esfuerzo observada y la calculada por el método de Deriso.

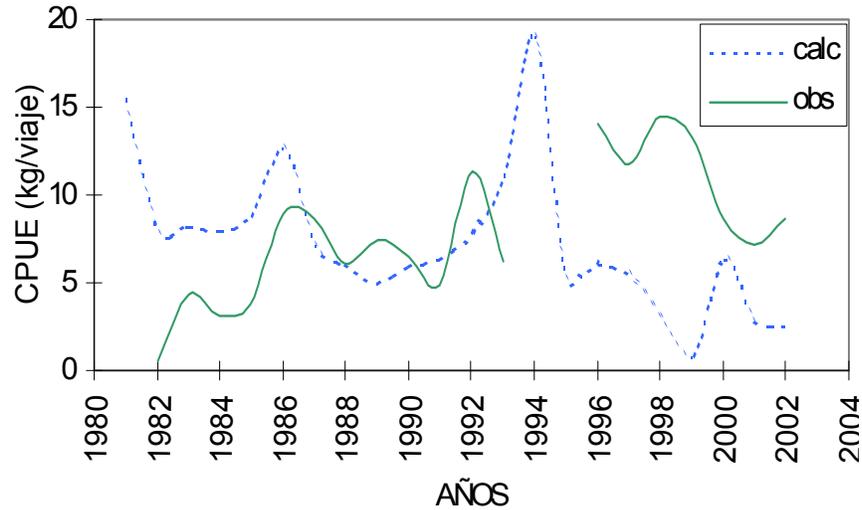
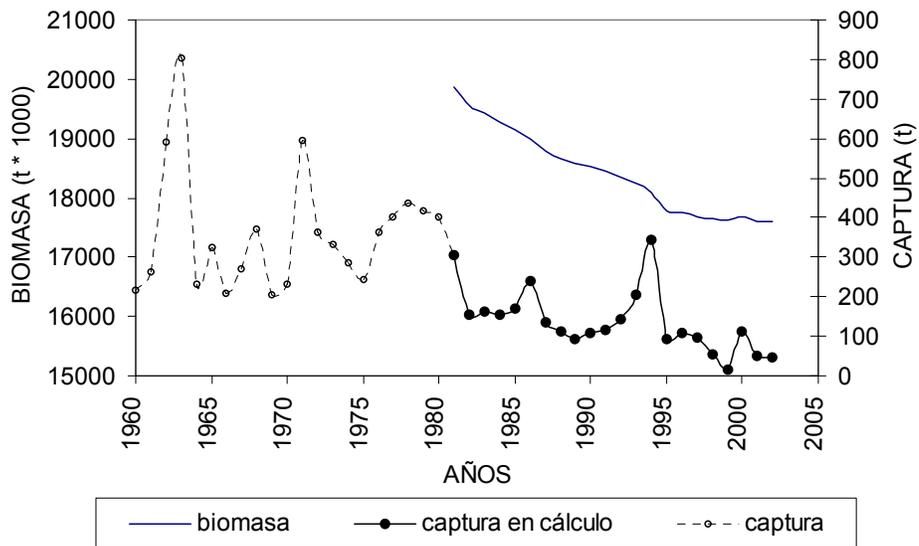


Figura 33.

Biomasa calculada para huachinango por el modelo de Deriso o modelo de diferencia de retraso.



Se realizaron simulaciones para 2004 a 2007, variando los valores de la captura: con 50, 100, 150 y 200 toneladas anuales. Los resultados indican que si se mantiene la captura en el nivel de los últimos años (100 toneladas), la biomasa se estabiliza; si la captura disminuye (a 50 t), la biomasa aumenta poco (de 20,600 t en 2004 a 20,900 en 2007), al aumentar la captura anual, la biomasa disminuye (véase el Cuadro 21).

Cuadro 21.  
Estimaciones de captura y la biomasa de huachinango para los años 2004 a 2007.

Captura (t)	Año	2004	2005	2006	2007
50.00	Biomasa (t)	17,614	17,615	17,616	17,616
	cpue (kg/viaje)	2.84	2.84	2.84	2.84
100.00	Biomasa (t)	17,566	17,518	17,472	17,427
	cpue (kg/viaje)	5.69	5.71	5.72	5.74
150.00	Biomasa (t)	17,517	17,422	17,329	17,238
	cpue (kg/viaje)	8.56	8.61	8.66	8.70
200.00	Biomasa (t)	17,468	17,325	17,185	17,049
	cpue (kg/viaje)	11.45	11.54	11.64	11.73

Los resultados de las simulaciones del Cuadro 21 indican que con una captura de 200 toneladas anuales y mayores, la biomasa tiene una disminución que empieza a apreciarse después del tercer año de simulación. Con una captura anual de 100 toneladas de huachinango o menos puede protegerse el recurso, ya que la simulación muestra un incremento en la biomasa. Cruz-Romero *et al.* (2000) y otros trabajos han sugerido que para proteger la biomasa existente de huachinango, la captura no debería ser mayor de 150 t anuales en la costa de Colima.

#### Modelo dinámico de Schaefer

También es un modelo de producción simple como el mencionado anteriormente de Schaefer (1957), que es una herramienta simple para caracterizar el estatus de una población y la productividad de una población; utiliza datos de una serie de tiempo de capturas e índices de abundancia relativa para derivar estimaciones de cantidades que son usadas en el manejo de la pesquería; asume que hay interacciones con otras especies, pero la variación espacial y medioambiental pueden ignorarse.

La ecuación general para este modelo de producción es:

$$\frac{dB_t}{dt} = g(B_t) - qf_t B_t$$

donde:

$B_t$  = biomasa explotable,

$g$  = una función de la biomasa,

$q$  = capturabilidad

$f_t$  = esfuerzo pesquero

De esta ecuación se derivan todos los modelos dinámicos de producción diferentes con variaciones dinámicas en el tiempo y consideraciones de la pesquería. Todos los cálculos llevan el objetivo primordial de explicar y comparar los datos observados con lo que puede predecirse.

## 7. EL CLIMA Y LAS PESQUERÍAS

El ambiente de los peces marinos, el mar, tiene características físicas y químicas únicas en comparación con otros líquidos. De hecho, todos los ambientes de la Tierra: atmósfera, océanos y tierras, dependen de las propiedades del agua. Entre dichas características está el de ser un controlador de los cambios bruscos de temperatura, absorbe ésta y la dispersa homogéneamente; es transparente, lo que permite el paso de la luz solar que necesitan las células del plancton para fotosíntesis; es solvente universal, entre otros elementos  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ , necesarios para los procesos de respiración de los seres vivos; tiene una tensión superficial importante para la fisiología de las células; su máxima densidad es en estado líquido, por encima de  $0\text{ }^\circ\text{C}$  (Sverdrup *et al.*, 1970). Estas características dependen de propiedades físicas como temperatura y presión, y en el caso del mar, de una química, salinidad.

Entre los aspectos que afectan a las poblaciones de peces en el mar y en específico a las pesquerías, están las actividades del hombre como la pesca y la contaminación, otros procesos naturales dentro del ecosistema del pez, como enfermedades, cambios en las condiciones de depredación y el clima oceánico.

El clima oceánico engloba variables ambientales como temperatura ambiente y del mar, salinidad, densidad del agua, concentraciones de oxígeno, bióxido de carbono entre otros elementos, todos ellos interactuando, y muy difíciles de desligar para estudiarlos de manera aislada.

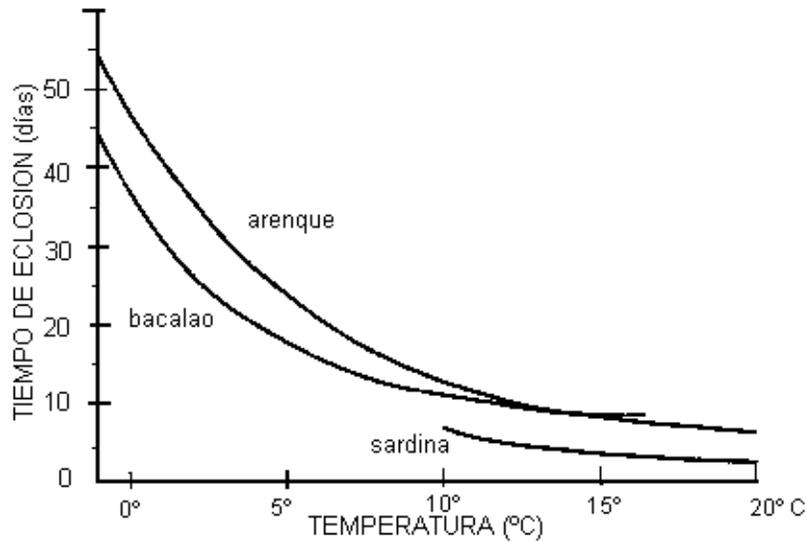
Hay autores que piensan que si se conociera el efecto del clima en el océano y sus efectos en las poblaciones de peces, se podría predecir las capturas y su disponibilidad al arte. Pero esto puede llegar a ser cierto solamente por una semana, porque las simulaciones de clima más allá no tienen valor predictivo (Laevastu, 1993).

La evaluación de los posibles efectos del clima y sus cambios en los recursos pesqueros y su pesca, requiere de un conocimiento muy amplio de formas, mecanismos y su influencia en la especie, ya que algunas se dice son disparadores de esos aspectos, como son las migraciones y la reproducción.

Las migraciones son movimientos que lleva a cabo una especie para cambiar de área. Los realiza para alimentarse en otras zonas, para huir de un estado del clima o mantenerse dentro de una corriente de agua con cierta temperatura, densidad, salinidad, para llegar a las áreas de reproducción. Estos cambios conllevan cambios en el metabolismo de la especie migratoria, que pueden ser cíclicos. Hay cambios importantes también en la estructura de la comunidad que deja atrás.

La reproducción es una serie de cambios en el comportamiento de los individuos, las hembras hasta dejan de comer, a veces migran un poco para desovar hacia la costa o hacia las profundidades. La época de desove puede modificarse con atrasos o adelantos, cuando cambian la temperatura, presión, salinidad, movimientos en el mar, que produce que se desplace la época de desove. El huevo y la larva también se afectan en el tiempo de su incubación y cambios en las fases larvales con la temperatura, las corrientes, la densidad del agua marina y su salinidad, inclusive pueden ser factores que incrementen su mortalidad. Existe una relación exponencial con pendiente negativa entre el tiempo en que se tardan en eclosionar los huevecillos de peces y la temperatura del agua, que significa que conforme aumenta ésta, el tiempo de incubación disminuye (Figura 34) (Dementeva, 1959; Hela y Laevastu, 1962).

Figura 34.  
Relación entre la temperatura ambiente y el tiempo de incubación de huevecillos de tres especies de peces



Tomado de Hela y Laevastu (1962).

Corrientes y vientos pueden ser determinantes en el éxito de una generación de huevos y larvas. Posteriormente vienen los efectos que ocasionan los niveles de reclutamiento con sus consecuentes efectos en la competencia inter e intraespecíficos.

Normalmente la pesca ocurre en especies que se agrupan, porque significa menor esfuerzo pesquero para obtener la captura. El conocimiento de esas peculiaridades de la especie susceptible a capturarse es empírico, heredado del pescador, quien depende de esa característica de las especies y del estado del clima para poder realizar su actividad (Laevastu, 1993). Dependiendo del estado del tiempo, el pescador se siente seguro para salir en su embarcación.

Las condiciones ambientales y sus cambios estacionales y periódicos tienen una influencia profunda en este agrupamiento y sus migraciones.

Uno de los factores ambientales más fáciles de determinar es la temperatura (por lo mismo el más estudiado). Se utiliza como un indicador, ya que es reflejo de otros factores ambientales como vientos y corrientes. Cuando se

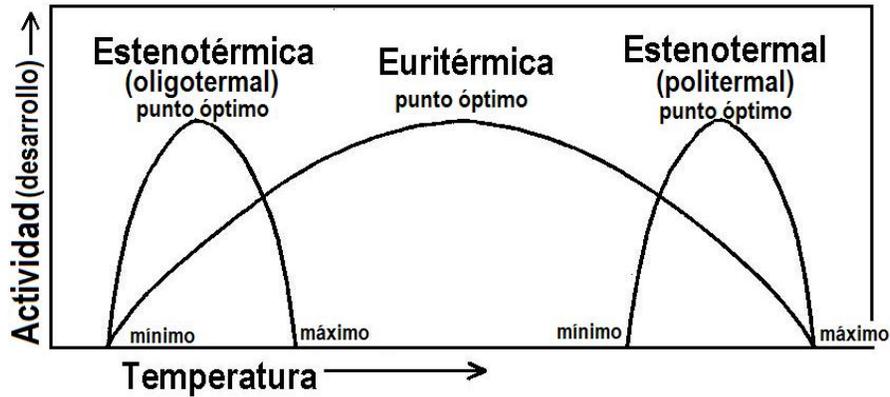
utiliza la temperatura como indicador directo o indirecto, no solamente debe considerarse la distribución horizontal con su margen de cambios, sino también su gradiente vertical.

Los peces perciben cambios de la temperatura de hasta  $0.03^{\circ}$  C y estos cambios se perciben como estímulo nervioso; modificador de procesos metabólicos y modificador de actividad corporal (Sullivan, 1954, citado por Hela y Laevastu, 1962).

Las condiciones óptimas son aquellas, bajo las cuales los individuos de la especie crece mejor y más rápidamente, y dejan más descendientes (son más aptos). Pero estas condiciones son extremadamente difíciles de determinar en la práctica (Begon *et al.*, 1995). Según la ley de Tolerancia de Shelford (Odum, 1982), las especies presentan un máximo de abundancia para un determinado valor o condición de una o varias variables ambientales. Para valores mayores o menores de esa variable, la abundancia disminuye progresivamente. Esta relación unimodal se describe muy bien por la curva de distribución normal o curva de Gauss (véanse las Figuras 35 y 36).

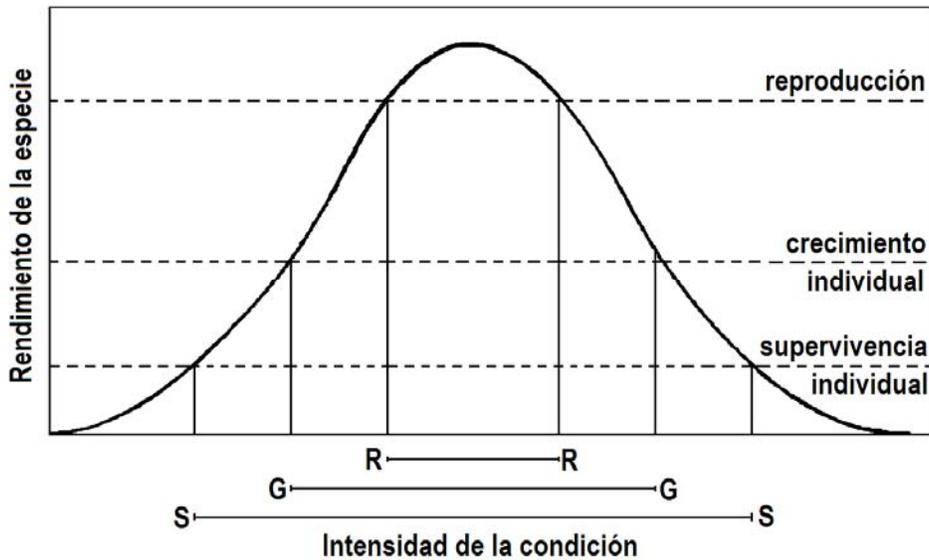
Muchas especies pelágicas tienden a concentrarse en una isoterma específica y se mueven dentro de esa capa de agua o área con un gradiente de temperatura horizontal y vertical (Podestá *et al.*, 1993). De esta manera, con información proveniente de la flota palangrera de pelágicos mayores se han obtenido resultados de abundancia específica por especie, sus intervalos de presencia ausencia, correlacionado con la temperatura del mar. La figura 37 muestra datos reales tomados de Santana-Hernández *et al.* (1996).

Figura 35.  
Comparación de los límites de tolerancia



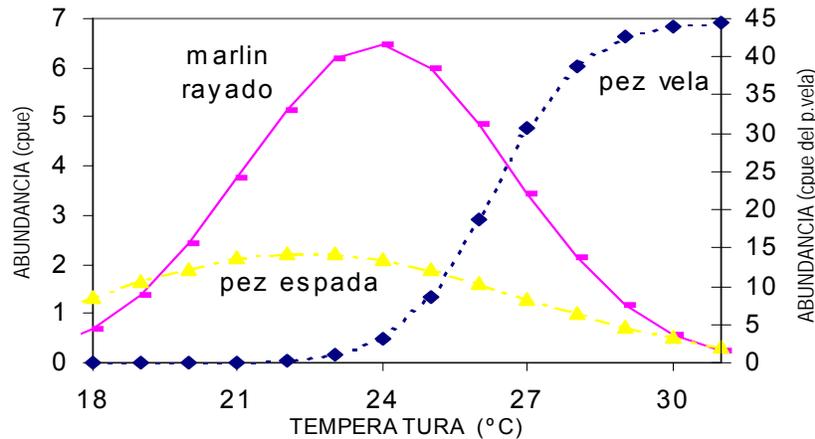
Organismos estenotérmicos y euritérmicos, para organismos oligotérmicos (tolerantes a temperaturas bajas) y politérmicos (tolerantes a temperaturas altas). Esquema de Ruttner (1953) citado en Odum (1982).

Figura 36.  
Representación gráfica del modo en que el rendimiento de una especie está relacionado con la intensidad de una condición ambiental



Tomado de Begon *et al.* (1995). La curva unimodal o de Gauss, es el modelo teórico de la Ley de tolerancia de Shelford

Figura 37.  
Abundancia específica de pelágicos mayores según la temperatura del mar.



El reclutamiento de peces tiene una amplia variabilidad de un año a otro, aparentemente independiente del número de progenitores (tema de discusión entre autores). Se ha atribuido ello a diversas causas de mortalidad en sus estados larvarios por predación y por inanición. En zonas de surgencias se pueden observar grandes cantidades de larvas, por lo cual se cree que las especies procuran reproducirse en épocas y áreas con este efecto; y según la fuerza de la surgencia será el éxito o fracaso de una generación de larvas de peces (Cury y Roy, 1989).

Este aspecto no se observa inmediatamente en la pesquería, pues está desfasado por varios años y se observa más en la abundancia de una generación con respecto a otra. En la corriente californiana, las épocas de reproducción de la sardina y la anchoveta tienen una relación estrecha con la temperatura del agua y las zonas de surgencia (Lluch-Belda *et al.*, 1991). De la misma manera los mejores valores de reclutamiento se encontraron correlacionados con productividad primaria elevada y con atraso de la formación de termoclina, efecto de la época de surgencias (Bas y Calderón-Aguilera, 1989).

Las pesquerías tropicales se afectan con cambios climáticos que son estacionales, anuales, es decir, periódicos, que se repiten año con año. Pero

también hay variaciones no periódicas. El “Niño” es considerado uno de esos fenómenos cuya periodicidad no está muy bien comprendida (entre 7 y 11 años), cuyo efecto en las poblaciones de peces es reconocido.

El “Niño” (o ENSO por sus siglas en inglés “El Niño Southern Oscillation”) es un fenómeno que engloba un conjunto de variables ambientales que se presentan en la aparición de corrientes oceánicas cálidas en las costas del Océano Pacífico de América del Sur, durante el verano del hemisferio sur. La aparición de estas aguas cálidas fue identificada por los pescadores peruanos siglos atrás, quienes observaron una disminución en la cantidad de peces y le dieron el nombre de "El Niño", porque se observaba a finales de diciembre, cerca de la temporada de Navidad.

El Pacífico tropical es una región donde los vientos atmosféricos son altamente responsables de la distribución de la temperatura superficial del mar tropical. Debido al orden en que se presenta, está bastante involucrada en determinar la distribución de la precipitación y la circulación atmosférica de los trópicos. Presiones bajas en la superficie del mar se observan en las aguas cálidas, mientras que las presiones altas ocurren en las regiones más frías de los trópicos y sub-trópicos. Los vientos húmedos tienden a soplar hacia presiones bajas en donde el aire converge, dando como resultado patrones organizados de fuertes lluvias; la cual proviene de sistemas de nubes convectivas, presentándose a veces como tormentas eléctricas y/o en sistemas organizados como las tormentas tropicales y huracanes, los cuales a menudo se generan en dichas "zonas de convergencia".

Durante "El Niño", el aumento resultante en las temperaturas del mar calienta y humedece la capa de aire cercana a la superficie del mar, de manera que esa convección se incrementa y las zonas de convergencia y lluvias asociadas se mueven a un nuevo lugar dando como resultado un cambio en la circulación atmosférica. Los cambios en la localización de las lluvias organizadas

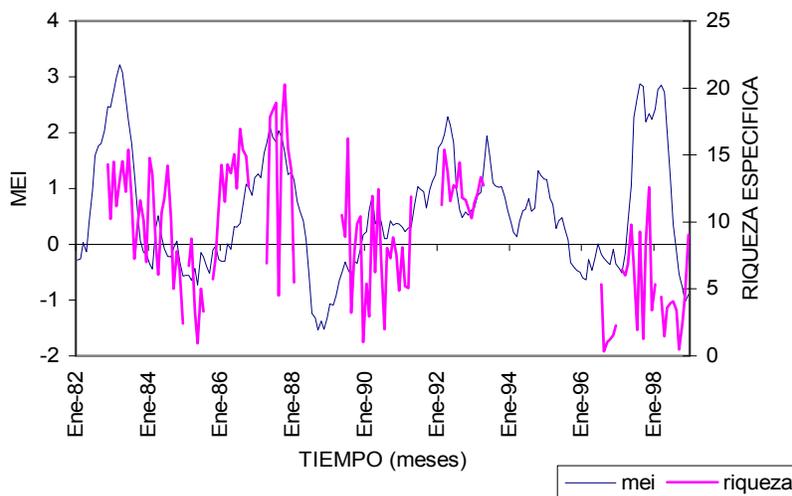
en los trópicos y el calor liberado, altera los patrones de calentamiento de la atmósfera.

Los cambios en la temperatura influyen en la salinidad de las aguas, cambiándose las condiciones ambientales para los ecosistemas marinos. Estos cambios a su vez, afectan las poblaciones de peces, especialmente en las áreas del Pacífico americano y por consecuencia, la actividad pesquera en ellas.

Los cambios en las condiciones oceánicas pueden tener consecuencias desastrosas en los peces y aves marinas; afectando a la industria de la pesca y del guano a lo largo de la costa Sur Americana. Otras zonas marinas podrían beneficiarse, ocurriendo cosechas inesperadas de camarón en algunos lugares.

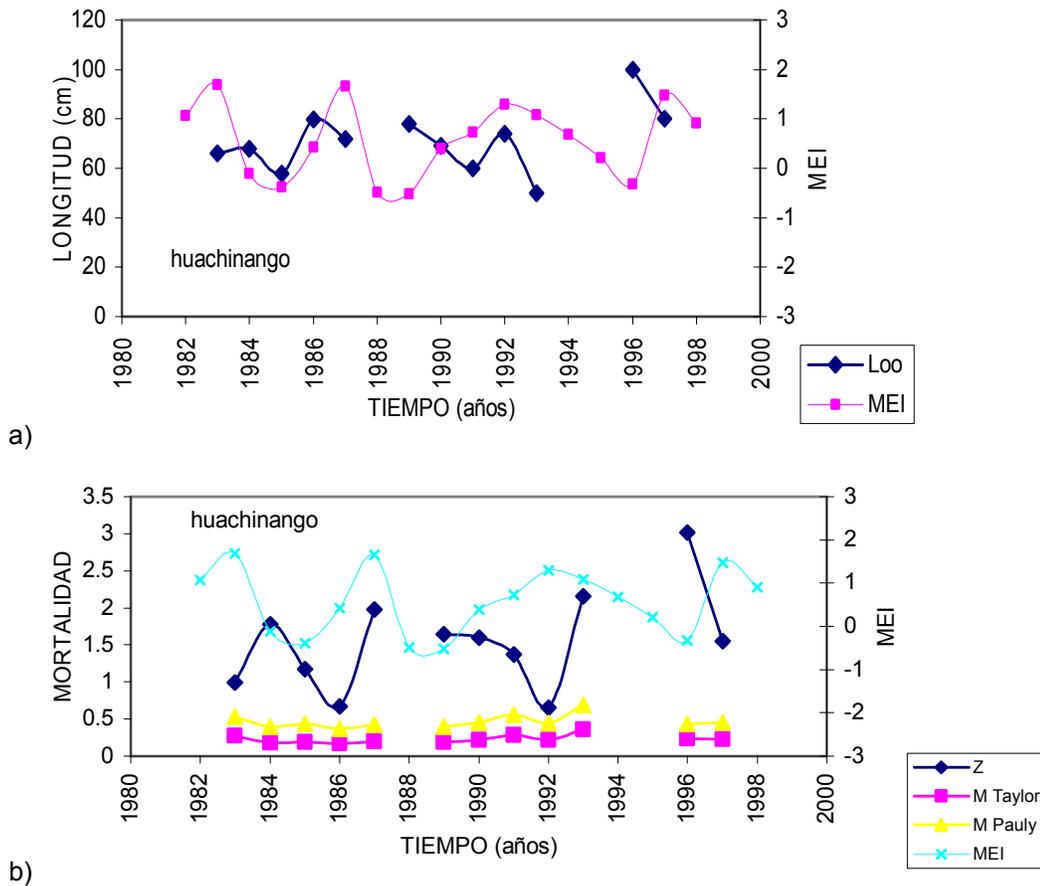
En el caso de la pesca ribereña marina de la costa de Colima, se observó que el índice multivariado del ENSO se relacionaba con la riqueza específica de peces, es decir, la comunidad de peces respondió a los cambios ambientales, con aparentes migraciones (Figura 38). Ocurre una redistribución de los stocks, reduciéndose el número de especies presentes en la captura y apareciendo tallas inesperadamente grandes.

Figura 38.  
Relación que guardan las series originales de riqueza específica y MEI.



Nota: MEI significa Índice Multivariado de El Niño.

Figura 39.  
Relación entre la serie anual de MEI y parámetros del huachinango *L. peru.*



Nota: a) longitud asintótica, b) mortalidad total y natural.

En la Figura 39 se compara el efecto de la serie MEI y valores anuales de la longitud asintótica y de mortalidad. La relación con  $L_{\infty}$  es directa, pero con  $Z$  aparentemente es indirecta o desfasada. Los valores de  $M$  son tan pequeños que no se aprecia las fluctuaciones que tienen.

Estos resultados parecen indicar que el “Niño” beneficia a las poblaciones de peces y a la pesca de esta especie en esta zona, mientras que la “Niña” la afecta.

Hay muchas pesquerías en el mundo que presentan casos distintos a éste, tal es el caso de la anchoveta en el Perú, moluscos en el Ecuador, etc.

## 8. LITERATURA CITADA

- Aboussouan, A. y J. Lahaye, 1979. Les potentialités des populations ichthyologiques. Fécondité et echthyoplancton. *Cybium*, 3e sér., 6:29-46.
- Alcalá-Moya, G., 2003. Políticas pesqueras en México 1946 a 2000. Contradicciones y aciertos en la planificación de la pesca nacional. México. El Colegio de México, CICESE, El Colegio de Michoacán, 106 p.
- Bas, C. y L.E. Calderón-Aguilera, 1989. Effect of antropogenic and environmental factors on the blue whiting. *Micromesistius poutassou* off the Catalanian coast, 1959-1982. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* (54): 221-228.
- Beamish, R.J. y G.A. McFarlane, 1983. The forgotten requirement for age validation in Fisheries Biology. *Trans. Of Am. Fish. Soc.* 112:735-743.
- Begon, M., J.L. Harper y C.R. Townsend, 1995. Ecología: Individuos, poblaciones y comunidades. Trad. Por Margarita Costa. Imp. En España. Ed. Omega, S.A. Barcelona. 890 p.
- Beverton, R.J.H. y S.J. Holt, 1957. On the dynamics of exploited fish population. *Fish. Invest. Minist. Agric. Fish. Food G.B. (2 Sea Fish.)*, 19:533 p.
- Beverton, R.J.H. y S.J. Holt, 1959. A review of the lifespans and mortality rates of fish in nature, and their relation to growth and other physiological characteristics. *Ciba Found. Symp. on the Lifespan of Animals, Londres*, pp. 142-177.
- Bullock, L.H., M.F. Godcharles y M.E. Mitchell, 1992. Age, growth and reproduction of jewfish. *Epinephelus itajara* in the eastern Gulf of Mexico. *Fishery Bull.* 90:243-249.
- Cabral-Solís, E.G., 1999. Estudio sobre crecimiento y aspectos reproductivos de la lebrancha (*Mugil curema*) en la Laguna de Cuyutlán, Colima. Tesis de Maestría, Universidad de Colima, 80 p.
- Cabral-Solís, E.G., E. Espino-Barr, M. Gallardo-Cabello y A.L. Ibáñez-Aguirre, 2006. Dinámica poblacional de la lisa *Mugil curema* (Valenciennes, 1836), en la Laguna de Cuyutlán, Colima. 504-513pp. En: Jiménez-Quiroz, M.C. y E. Espino-Barr (eds.). Los recursos pesqueros y acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán. SAGARPA, INP, CRIP-Manzanillo, 622 p.
- Caddy, J.F. y R. Mahon, 1995. Reference points for fisheries management. *FAO Fish. Tech. Paper. No. 347*. Roma, 83 p.
- Casselman, J.M., 1983. Age and growth assessment of fish from their calcified structures – techniques and tools. *NOAA Technical Report NMFS 8*, Miami, Fla., 17 p.
- Christensen, V. y D. Pauly (eds.), 1993. Trophic models of aquatic ecosystems. *ICLARM, Conf. Proc.* 26, 390 p.
- Cibrián-Rodríguez, R., 1996. Estudio preliminar de la estructura poblacional del erizo rosa (*Toxopneustes roseus*, Agassiz, 1863) y erizo de tinta (*Diadema*

- mexicanum*, Agassiz, 1863) en el litoral rocoso del estado de Colima, México. Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara, 76 p.
- Cifuentes-Lemus, J. L., 1992. Pesquerías de México. Apuntes de curso. 57 p.
- Cruz-Romero, M., E. Espino-Barr, J. Mimbela L., A. Garcia-Boa, L.F. Obregón A. y E. Girón B., 1991. Biología Reproductiva en tres especies del género *Lutjanus* en la costa de Colima, México. Informe Final. Clave CONACyT: P220CCOR892739., México, 118 p.
- Cruz-Romero, M., E. Espino-Barr, P. Del Monte-Luna, A. Garcia-Boa, A. Ayala-Cortés, J.J. González-Ruiz y S. Sánchez González. 2000. Huachinango del Pacífico. 297-326pp. En: Cisneros-Mata, M. A., L. Beléndez M. (ed.). Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo 1999-2000. INP- SEMARNAP. 1,047 p.
- Cousteau, 1995. Sobreexplotación de los Recursos Marinos. Notimar de Canaimpes, sep-oct 1995: 6-7.
- Cubillos, L. y A.S. Grechina, 1998. Crecimiento del Jurel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) del Pacífico Suroriental mediante análisis de progresión modal. Biología y Ecología del Jurel en Aguas Chilenas. Instituto de Investigación Pesquera. Talcahuano, Chile.
- Cuervo, S.A., 1993. Determinación de aspectos reproductivos de la lebrancha, *Mugil curema* (Valenciennes, 1836) y de la lisa, *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758) en la laguna de Tamiahua, Veracruz, México, Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana. 80 p.
- Cunningham, S. y D. Whitmarsh, 1981. When is overfishing underfishing? CEMARE Res. Pap. No. 8, 19 p.
- Cury, P. y C. Roy, 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:670-680.
- Daniel, W.W., 1991. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. México, Ed. Noriega-Limusa, 667 p.
- Davis, T.L.O. y G.J. West, 1992. Growth and mortality of *Lutjanus vittus* (Quoy and Gaimard) from the North West shelf of Australia. Fish.Bull. U.S. 90:395-404
- De Fontaubert, A.C., D.R. Downes y R.S. Agardy, 1996. Biodiversity in the seas. implementing the convention on biological diversity in marine and coastal habitats. IUCN Environmental Policy and Law Paper No. 32. A marine conservation and development report. 84p.
- Dementeva, R.F., 1959. Methods of studying the effecto of environmental factors on the fluctuations in the abundance of the Azov anchovy. Fish. Res. B. of Canada, Translation Series No. 239, 45p.
- Ehrhardt, N.M., 1981. Curso sobre métodos en dinámica de poblaciones. 1a Parte: Estimación de Parámetros Poblacionales. SIC/INP, México, 132pp.

- Espino-Barr, E., M. Puente-Gómez, E.G. Cabral-Solís y A. Garcia-Boa, 2005. Estado de salud de la langosta *Panulirus inflatus* en la costa de Jalisco. Informe de Investigación. SAGARPA, INP, CRIP-Manzanillo, 61 p.
- FAO, 2002. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2002. Departamento de pesca de la FAO, ONU, Roma, 150 pp.
- Finucane, J.H. y L.A. Collins, 1984. Reproductive biology of cero, *Scomberomorus regalis*, from the coastal waters of South Florida. NE Gulf Science, 7 (1): 101-107.
- Fox, W.W., 1970. An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. Trans. Am. Fish. Soc., 99:80-88.
- Gallucci, V.F., S.B. Saila, D.J. Gustafson y B.J. Rothshield, 1996. Stock Assessment. Quantitative methods and applications for small-scale fisheries. CRS Lewis Publ., USA, 527pp.
- Gayanilo, F.C., P.Sparre y D. Pauly, 1993. The FISAT User's Guide. FAO Computarized Information Series Fisheries No. 99. Draft. ICLARM, Philippines, 70p
- Grainger, R.J.R. y S.M. Garcia, 1996. Chronicles of marine fishery landings (1950-1994): Trend analysis and fisheries potential. *FAO Fisheries Technical Paper*. No. 359. Rome, FAO. 51p.
- Gulland, J.A. 1971. Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces. Edit. Acribia. España, 164p.
- Gulland, J.A., 1983. Fish stock assessment. A manual of basic methods. FAO/Wiley Series, Chichester, 223 p.
- Gulland, J.A. y Rosenberg, A. A., 1992. A review of length-based approaches to assessing fish stocks. Rome, FAO 323,100 p.
- Heald, M.J. y D.F.S. Griffiths, 1967. La determinación por medio de la lectura de escamas, de la edad de la sardina *Sardinella anchovia*, del Golfo de Cariaco, Venezuela Oriental. Serie Recursos y Explotación Pesquera, 1(10): 374-422.
- Hela, I. y T. Laevastu, 1962. The influence of temperature on the behaviour of fish. FAO Fish. Biol. Tech. Pap. (22): 83-103.
- Hilborn, R. y C.J. Walters. 1992. Quantitative Fisheries Stock Assessment. Choice, Dynamics and Uncertainty. Chapman & Hall, New York, London, 570p.
- Holden, M.J. y D.F.S. Raitt, 1975. Manual de Ciencia Pesquera. Parte 2.- Métodos para investigar los recursos y su aplicación. FAO 115 Rev.1, 211p.
- Huxley, J.S. 1924. Constant differential growth-ratios and their significance. Nature, 114:895-96
- Huxley, J.S. 1932. Problems of relative growth. McVeagh, New York, USA
- Ibáñez-Aguirre, A.L., E.G. Cabral-Solís, M. Gallardo-Cabello y E. Espino-Barr, 2006. Comparative morphometrics of two populations of *Mugil curema*

- (Pisces: Mugilidae) on the Atlantic and Mexican Pacific coasts. *Sci. Mar.*, 70(1):139-145
- Jearld, A., 1983. Age determination. 301-324pp. En: L.A. Nielsen y D.L. Johnson (Ed.). *Fisheries Techniques*. Amer. Fish. Soc. Southern Printing Co. Inc., Virginia U.S.A.
- Jiménez-Badillo, M.L. y A. Gracia, 1995. Evaluación de la pesquería multiespecífica de charales (*Chirostoma* spp., Pisces, Atherinidae) del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Anales Inst. Biol. UNAM, Ser. Zool.* 66(2):205-231
- Joseph, D.C., 1962. Growth characteristics of two Southern California Srrfishes, the California Corbina and Spottfin Croaker, Family Sciaenidae. The Resources Agency of California Dep. of Fish and Game, Fish Bull., 119:1-54.
- KANCIRUK, P. y W.F. Herrnkind, 1976. Autumnal reproduction in *Panulirus argus* at Bimini, Bahamas. *Bull. of Mar. Science*, 26:417-432
- Kesteven, G.L., 1967. Diccionario de términos sobre investigación de poblaciones. Asociación Mexicana de Biología Pesquera, A.C., 47-54p.
- Lagler, K.F.; J.E. Bardach; R.R. Miller y D.R.M. Passino, 1977. *Ictiología*. 1ª ed. en español. AGT.Editor, S.A., 489 p.
- Laevastu, T., 1993. *Marine climate, weather and fisheries*. Halsted Press: an imprint of John Wiley & Sons, INC, New York, 204p.
- Liem, K. F., W.E. Bemis, W.F. Walker Jr. y L. Grande, 2000. *Functional anatomy of the vertebrates: An evolutionary perspective*. Harcourt College Publishers. San Diego, California. USA.
- Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez, C.A. Salinas-Zavala y R.A. Schwartzlose, 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California Current System. *CalCOFI Rep.*, (32): 1-7.
- Lux. F.E. 1971. *Age determination of fishes*. Fishery Leaflet 637 U.S. Department of Commerce. Seattle, Washington. USA.
- Madrid-Vera, J.M., 1998. Aspectos de ecología, las pesquerías y la biografía de los peces costeros de Michoacán y Colima, México. Tesis doctoral, Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona, 247p.
- Mendenhall, W., 1987. *Introducción a la probabilidad y la estadística*. Ed. Grupo Editorial Iberoamérica, México, 628p.
- Nava-Ortega, R.A., E. Espino-Barr, M. Puente-Gómez, E. G. Cabral-Solís y A. Garcia-Boa, 2006. Aspectos poblacionales de la sierra *Scomberomorus* sierra de la costa de Colima, México. *Memorias del III Foro Científico de Pesca Ribereña*. Puerto Vallarta, Jal., 63-64 p.
- Nédélec, C. y J. Prado, 1990. Definición y clasificación de la diversas categorías de artes de pesca. *FAO, Fish. Tech. Pap. (Documento Técnico de Pesca)* 222, 87 p.

- Nelson, R.C. y C.S. Manooch III, 1982. Growth and mortality of red snapper in the West Central Atlantic Ocean and Northern Gulf of Mexico. *Transactions of the Am. Fish Sci.* 111:465-475.
- Niklas, K.J. 1994. *Plant Allometry: The scaling of form and process.* The University of Chicago Press. Chicago, Illinois, USA.
- NOAA, 1991. *Our living oceans. The first annual report on the status of U.S. living marine resources.* Dept. Of Commerce. 123p.
- Odum, E.P., 1982. *Ecología.* Ed. Interamericana 3ª ed. México, 639p.
- Palleiro-Nayar, J.S., 1991. La pesquería del erizo rojo *S. franciscanus* y la comunidad de los mantos de *Macrocystis*. *Annual Conference 1993. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations.* 11p.
- Pauly, D., 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 39(2):175-192.
- Pauly, D., 1984. *Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators.* ICLARM Stud. Rev.8, 344p.
- Pauly, D. y N. David, 1980. A Basic Program for the objective extraction of growth parameters from length frequency data. Draft. ICLARM, Philippines, 20p.
- Pereiro, J.A., 1982. Modelos al uso en dinámica de poblaciones marinas sometidas a explotación. *Informe Técnico del Instituto Español de Oceanografía No.1., España,* 255p.
- Pitcher, T.J. y P.J.B. Hart, 1982. *Fisheries ecology.* Croom Helm and Am. Ed., 414p.
- Podestá, G.P.; J.A. Browder y J.J. Hoey, 1993. Exploring the association between swordfish catch rates and thermal fronts on U.S. longline grounds in the western North Atlantic. *Continental Shelf Research* 13 (2/3): 253-277.
- Puente-Gómez, M., E. Espino-Barr, E.G. Cabral-Solís y A. Garcia-Boa, 2006. Aspectos reproductivos de la langosta *Panulirus inflatus* (Bouvier, 1895), en la costa sur de Jalisco, México. *Memorias de resumen, XIV Congreso Nacional de Oceanografía y I Reunión Internacional de Ciencias Marinas, Universidad de Colima, Manzanillo, Colima,* 622-625.
- Püter, A., 1920. Studien über physiologische Ähnlichkeit. VI. Wachstumsähnlichkeiten. *Pflüger Arch. Ges. Physiol.* 180: 298-340.
- Ricker, W.E., 1948. Methods of estimating vital statistics of fish population. *Science Ser. 15, Ind. Un. Publ., USA,* 101p.
- Ricker, W.E., 1954. Stock and recruitment. *J.Fich. Res. Board Can.,* 11:559-623.
- Ricker, B.W., 1971. *Methods for assessments of production in freshwaters.* I.B.P. Handbook No.3 Oxford, 348p.
- Ricker, W.E., 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can., (191):* 382p.

- Ricker, W.E., 1977. The historical development. Chap. 1, 1-26p. *In*: Guland, J.A. (Ed.), Fish population dynamics. John Wiley & Sons, London, 372p.
- Robinson, M.A., 1984. Tendencias y perspectivas de la pesca mundial. FAO Circular de Pesca No.772., Roma, 16p.
- Rodríguez de la Cruz, M.C., 1988. Los recursos pesqueros de México y sus pesquerías. Secretaría de Pesca. 300p.
- Rodríguez-Gutiérrez, M., 1992. Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces. AGT Ed., 79 p.
- Rothschild, B.J., 1977. Fishing effort. 96-115pp. *En*: Guland, J.A. (Ed.), Fish population dynamics. John Wiley & Sons, London, 372p.
- Royce, W.F., 1972. Introduction to the fishery sciences. Academic Press, New York, 351 p.
- Ruiz-Durá, M.F., 1990. Recursos pesqueros de las costas de México. Ed. Limusa, México, 208p.
- Santana-Hernández, H.; R. Macías-Zamora y A.L. Vidaurri-Sotelo, 1996. Relación entre la abundancia de peces de pico y la temperatura del agua del Pacífico Mexicano. *Ciencia Pesquera* 13: 62-65.
- Safran, P., 1992. Theoretical analysis of the weight-length relationship in fish juveniles. *Mar. Biol.* 112, 545-551
- Saucedo-Lozano, M., 2000. Alimentación natural de juveniles de *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922) y *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) (Lutjanidae: Perciformes ) en la costa de Jalisco y Colima, México. Tesis MC, PICP, Universidad de Colima, 68p.
- Schaefer, M., 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean. *Bull. IATTC / Bol. CIAT*, 2: 247-268.
- Schlichting, C.D. y Pigliucci, M. 1998. Phenotypic evolution: A reaction norm perspective. Sinauer Associates Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts, USA.
- Sevilla, M.L., 1983. Biología pesquera. Ed. CECSA. México, D.F., 100 p.
- Sokolov, V y M.I. Wong R., 1973. Programa general para la investigación de los peces pelágicos del Golfo de California, Prog. De Investi. Y Fom. Pesq. PNUD/FAO. México. CEP, 3:51p.
- Sparre, P. y S. C. Venema, 1995. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1 - Manual. FAO Doc. Tec. de Pesca 306/1, Roma, 420p.
- Sverdrup, H.U.; M.W. Johnson y R.H. Fleming, 1970. The oceans, their physics, chemistry, and general biology. Prentice-Hall, Inc. U.S.A., 1087p.
- Taylor, C.C. 1958. Cod growth and temperature. *J. Conseil*, 23(3):366-370

- Taylor, C.C. 1960. Temperature, growth and mortality – the Pacific cockle. *J. Conseil*, 26(1):117-124.
- von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *Human Biol.*, 10(2):181-213.
- Zar, J.H., 1996. *Biostatistical analysis*. 3<sup>rd</sup> ed. Prentice Hall. USA., 662p.