

José de la Cruz Agüero  
Origen y distribución de la ictiofauna de la Laguna de San Ignacio, Baja California Sur, México  
Ciencia Ergo Sum, vol. 7, núm. 2, julio, 2000  
Universidad Autónoma del Estado de México  
México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10401810>



*Ciencia Ergo Sum*,  
ISSN (Versión impresa): 1405-0269  
[ciencia.ergosum@yahoo.com.mx](mailto:ciencia.ergosum@yahoo.com.mx)  
Universidad Autónoma del Estado de México  
México

¿Cómo citar?

Fascículo completo

Más información del artículo

Página de la revista

[www.redalyc.org](http://www.redalyc.org)

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Origen y distribución de la ictiofauna de la Laguna de San Ignacio, Baja California Sur, México

JOSÉ DE LA CRUZ AGÜERO\*

Recepción: 14 de junio de 1999

Aceptación: 03 de septiembre de 1999

## Origin and Distribution of the Ichthyofauna of the Lagoon of San Ignacio, Baja California Sur, Mexico

**Abstract.** *San Ignacio Lagoon is a coastal lagoon in the west coast of Mexico that belongs to the largest protected area of the country: El Vizcaino Biosphere Reserve. Despite the outstanding ecological, bio-economical and landscape features of the zone, management of its resources is absent because there are few studies about them. The ichthyofauna has been studied to an alpha taxonomic level, but the ichthyological resources have several fields to be studied. The present work reviews the geological history and theoretical models for explaining the zoogeographical relationships, distribution and origin of inhabitant fishes of the lagoon. A conceptual model is presented to explain the origin and zoogeographic affinities of the ichthyofauna of San Ignacio Lagoon.*

## Introducción

Los sistemas costeros de lagunas, esteros y bahías de la costa occidental del noroeste de México constituyen un área de particular interés zoogeográfico dentro del océano Pacífico oriental, debido a su compleja historia geológica y a la confluencia de los sistemas de corrientes de California y Norecuatorial, que han producido un complejo de características ambientales y climáticas que se traducen en una amplia variedad de hábitats para las especies marinas (De la Cruz-Agüero *et al.*, 1994).

La Laguna de San Ignacio, ubicada en la costa occidental de Baja California Sur, México, es una laguna costera que por sus propiedades bioeconómicas es considerada como uno de los polos de desarrollo a futuro de la región, además

de localizarse en el área protegida más grande del país: la Reserva de la Biosfera El Vizcaino (Ortega y Arriaga, 1991). Las actividades pesqueras, ecoturísticas y su capacidad industrial (vía la explotación de sal) aunados a los valores del paisaje y su relevancia ecológica, confirman su potencial socioeconómico así como sus necesidades de manejo y conservación.

No obstante la existencia de la declaratoria de Reserva, de los estudios que condujeron a la misma y de los programas de operación y manejo del área,<sup>1</sup> existen recursos que no cuentan con antecedentes de evaluación que permitan establecer las estrategias y políticas para su administración (De la Cruz Agüero *et al.*, 1996).

Particularmente, en la Laguna de San Ignacio los estudios sobre la ictiofauna se reducen a las colectas realizadas por Clark Hubbs a finales de la década de los cuarenta –que le llevaron a describir una subespecie del género *Exesper* (Hubbs, 1952)–; al inventario ictiológico producto de recolectas sistemáticas y del análisis de las dietas de las aves marinas del área, publicada por Danemann y De la Cruz-Agüero (1993),

\* Becario COFAA-IPN, CONACYT. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Colección Ictiológica. Apartado Postal 592, La Paz, Baja California Sur, C. P. 23000 México. Tel.: (112) 253 44 ext. 2425. Correo electrónico: jcruz@redipn.ipn.mx

Se agradece al Dr. José Luis Castro-Aguirre por los comentarios y fuentes facilitadas, al Dr. Gorgonio Ruiz Campos por la revisión crítica a una versión inicial del manuscrito. Al M. en C. José Luis Ortiz Galindo y al Ocean. Gerardo González Barba por sus comentarios que contribuyeron a mejorar el presente trabajo. Los apoyos de la COFAA-IPN y el Conacyt y las sugerencias y opiniones de dos revisores anónimos. Al colega Gustavo D. Danemann, "Sanignaciano" de siempre.

1. Véase Diario Oficial de la Federación, 1998; Ortega *et al.*, 1988; Ortega y Arriaga, 1991; Ortega y Castellanos, 1995.

y al estudio de los hábitos alimentarios del tiburón *Heterodontus francisci* efectuado por Segura *et al.* (1997).

La caracterización ictiogeográfica de la región noroeste de México ha sido, a través del tiempo, materia de controversia.<sup>2</sup> Recientemente se ha confirmado para la costa oeste de Baja California lo especulado por Hubbs (1960a) que indica que en oposición a la idea de un límite zoogeográfico puntual (*e. g.* Bahía Magdalena: Briggs, 1974) existen áreas faunísticas discontinuas con presencia y mezcla de especies templado-frías en las zonas de surgencias y templado-cálidas y tropicales en los cuerpos de agua litorales de la costa occidental bajacaliforniana.<sup>3</sup>

En este trabajo se presenta un modelo conceptual establecido a partir de las hipótesis de la historia geológica y biogeográfica de la región, para explicar el origen y la fenomenología de las afinidades ictiogeográficas de las especies que habitan la Laguna de San Ignacio, B.C.S., México.

## I. Antecedentes

Los estudios de los recursos biológicos de la zona son, como en el caso de la ictiofauna, escasos y se circunscriben principalmente a mamíferos y aves marinas que habitan temporal o permanentemente la laguna, especialmente la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) y el águila pescadora (*Pandion haliaetus*) (Jones y Swartz, 1984; Reitherman y Storrer, 1981; Danemann y Guzmán, 1992). Recientemente se realizó un estudio sobre la ficoflora de la Laguna (Núñez, 1996) que añade información a la reportada sobre el particular por Dawson (1948; 196 y 1962).

## II. Material y métodos

La información utilizada para la elaboración del presente trabajo tiene como base las contribuciones al conocimiento de la ictiofauna de la Laguna de San Ignacio publicadas por Danemann y De la Cruz-Agüero (1993) y De la Cruz-Agüero y Cota (1998). En estos trabajos se muestra la información sobre el número de especímenes recolectados, intervalos de talla, números de catálogo de la serie CICIMAR-CI (Colec-

ción Ictiológica del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, México) y de las afinidades zoogeográficas de las especies. Todos los registros ictiofaunísticos consignados en estas referencias y su información curatorial asociada, los cuales fundamentan este análisis, se encuentran catalogados y sistematizados en la base de datos de la CICIMAR-CI.<sup>4</sup>

El único antecedente conocido de recolectas en el área fue realizado por Clark Hubbs en 1948, sin embargo no se publicó nada al respecto y los registros supuestos no fueron localizados (Danemann y De la Cruz Agüero, 1993). Particularmente, la información sobre la distribución geográfica de las especies proviene de la propia base de datos de la CICIMAR-CI, en la cual se condensa la información disponible publicada de manera arbitrada (literatura “no gris” *sensu* Collette, 1990), acerca de las especies de peces que habitan la zona económica exclusiva del Pacífico mexicano. Escapa a los alcances y propósitos del presente enumerar las citas contenidas en la CICIMAR-CI,<sup>5</sup> pero de manera general deben mencionarse los siguientes trabajos como referencias recomendadas sobre el particular: Walford, 1974; Anónimo, 1976; Castro-Aguirre, 1978; Eschmeyer *et al.*, 1983; Allen y Robertson, 1994 y Fischer *et al.*, 1995.

Las recolectas de peces se hicieron de acuerdo con lo establecido en Danemann y De la Cruz-Agüero (1993), siguiendo los lineamientos tradicionales para la captura de ictiofauna de ambientes lagunares, los cuales se describen con mayor detalle en De la Cruz-Agüero *et al.* (1994 y 1996). En estos últimos trabajos se detallan los procesos de preservación, identificación y catalogación de los especímenes recolectados.

La terminología histórico-geológica se presenta según los criterios de Seyfert y Sirkin (1973), siguiendo las hipótesis propuestas por Hausback (1984), Lonsdale (1989) y Spencer y Normark (1989) sobre el origen y evolución tectónica de la región noroeste de México. De Lankford (1977) se han tomado los criterios para la clasificación y origen geológico del complejo lagunar. El análisis zoogeográfico se sustenta en las hipótesis de Briggs (1974), con algunas modificaciones en sus criterios límite-faunísticos, considerándose en la discusión a las dos grandes regiones biogeográficas con influencia en el área de estudio:

a) Región de California, con sus dos provincias: de San Diego (denominada en adelante PS y en la que se incluye la Laguna de San Ignacio) y de Cortés (PC).

b) Región del Pacífico Oriental con las provincias Mexicana (PM) y Panámica (PP) (ver figura 1). La caracterización ecológica de los peces está basada en Thomson *et al.* (1979).

La Laguna de San Ignacio se localiza entre los 26°38' y 27°00' de latitud norte y los 113°06' y 113°18' de longitud

2. Ekman, 1953; Hubbs, 1960a y 1974; Walker, 1960; Briggs, 1974; Rosenblatt, 1974; Thomson *et al.*, 1979.

3. Danemann y De la Cruz Agüero, 1993; De la Cruz Agüero *et al.*, 1994; De la Cruz Agüero *et al.*, 1996; Rosales Casián, 1996.

4. Se hace notar que estos registros ictiofaunísticos de la Laguna de San Ignacio son los únicos sustentados con ejemplares catalogados en colección a nivel mundial.

5. Esta base de datos eventualmente se podrá consultar en línea <http://www.cicimar.ipn.mx> la cual está disponible a solicitud con el autor.

oeste. Una descripción e ilustración del área de estudio pueden consultarse en Danemann y De la Cruz-Agüero (1993).

### III. Resultados y discusión

#### 1. Afinidades y distribución

El inventario ictiofaunístico conocido de la Laguna de San Ignacio se compone de 107 especies, incluidas en 89 géneros, 54 familias y 21 órdenes (cuatro especies identificadas a nivel género y dos de validez taxonómica cuestionable se omiten en la discusión; ver Danemann y De la Cruz-Agüero 1993 y De la Cruz-Agüero y Cota, 1998).

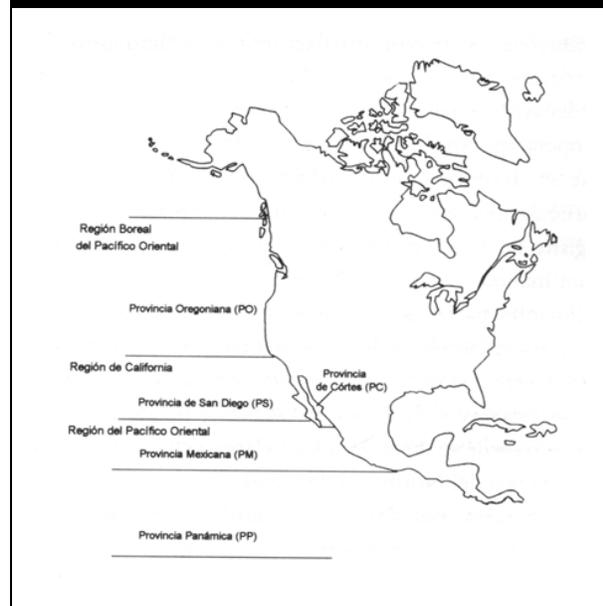
De las 101 especies consideradas, y de acuerdo con su distribución en el océano Pacífico oriental, 57 pueden ser reconocidas como tropicales, 42 templado-cálidas y dos con una distribución amplia en el océano Pacífico (de Alaska a Chile). 41 especies de este total se distribuyen indistintamente en las cuatro provincias zoogeográficas del noroeste de México. De las especies consideradas como templadas, 31 se distribuyen dentro de la región de California, de las que 13 son exclusivas de la Provincia de San Diego. Esta región californiana incluye en sus dos provincias (PS y PC) a 79 especies, nueve de ellas pueden catalogarse como especies disjuntas: distribuidas sólo en el Alto Golfo (al norte de Bahía de Los Ángeles, B. C.: 29° N) y en las lagunas costeras de la costa occidental de la península de Baja California.

Por otra parte, ocho especies no han sido registradas en la Provincia de Cortés, cinco en la Provincia Panámica y una en la Provincia Mexicana (*Seriola lalandi*). Las especies *Urolophus maculatus*, *Orthopristis reddingi* y *Exesper asper* actualmente sólo se conocen en aguas mexicanas, desde Laguna Ojo de Liebre al Golfo de California.

A partir de otros estudios publicados, se establece que la Laguna de San Ignacio comparte 40 especies con Bahía de San Quintín, B. C.: 30° N (Rosales-Casián, 1996), 37 con el complejo lagunar Ojo de Liebre, B. C. S.: 28° N (De la Cruz-Agüero *et al.*, 1996) y 71 con el área de Bahía Magdalena, B. C. S.: 24° N (De la Cruz-Agüero *et al.*, 1994). De esta forma, la mezcla de especies de distinta afinidad zoogeográfica a lo largo de la península de Baja California<sup>6</sup> ubican a la Laguna de San Ignacio como el *punto de transición* de los conjuntos ictiofaunísticos del noroeste de México: 42% de las especies con afinidad templada y 57% tropicales.

Globalmente, la afinidad ictiofaunística de la Laguna de San Ignacio se corresponde con la regionalización zoogeográfica propuesta por Briggs (1974): 80% de las especies ahí recolectadas se han localizado en la Provincia de Cortés, 55% en la Provincia Mexicana y 48% en la Provincia Panámica.

FIGURA 1. REGIONES Y PROVINCIAS ZOOGEOGRÁFICAS DEL OCEANO PACIFICO ORIENTAL CONSIDERADAS EN EL TEXTO (SENSU BRIGGS, 1974).



Del presente elenco ictiofaunístico de la Laguna de San Ignacio, ocho especies recientemente fueron citadas por primera vez para la Laguna o incluso para la PS, de las cuales: *Raja equatorialis*, *Arius platypogon*, *Synodus scituliceps*, *Alphestes immaculatus*, *Menticirrhus nasus*, *Diplectrum rostrum*, y *Stellifer erycimba* amplían su distribución conocida hacia el norte y *Oxyjulis californica* la extiende hacia el sur (De la Cruz Agüero y Cota, 1998); recientemente las especies *Urolophus maculatus*, *Orthopristis chalcus*, *O. reddingi* y *Sphoeroides lispus* han sido registradas al norte de la Laguna de San Ignacio (Cota *et al.*, 1998). Cabe hacer notar que en el caso de otras siete especies citadas por Danemann y De la Cruz-Agüero (1993), no fue advertida la novedad de su registro en el área y, por tanto, de la ampliación de su ámbito geográfico (De la Cruz Agüero y Cota, 1998).

De las 25 especies que se distribuyen desde la Laguna hacia el sur (Ecuador-Perú), las siguientes especies alcanzan aquí su límite septentrional: *Alphestes immaculatus*, *Anchoa lucida*, *Anchoa magdalenae*, *Arius platypogon*, *Bagre panamensis*, *Bairdiella icistia*, *Bothus constellatus*, *Citharichthys gilberti*, *Diplectrum rostrum*, *Diplectrum pacificum*, *Menticirrhus undulatus*, *Menticirrhus nasus*,

6. El balance de elementos se establece a los 28° N con 50% de las especies de afinidad templada y 34% tropicales (De la Cruz-Agüero *et al.*, 1996) y prácticamente se diluye en 30° N, es decir con la predominancia de un componente: 81% templados-6% tropicales (Rosales-Casián, 1996).

*Opistognathus punctatus*, *Raja equatorialis*, *Stellifer erycimba*, *Synodus scituliceps*, *Trachinotus rhodopus* y *Urolophus maculatus*.

La presencia de elementos tropicales en los cuerpos de agua de la costa occidental se explica en términos de su batimetría, su mayor insolación y el aislamiento de las corrientes frías y zonas de surgencias de aguas abiertas aledañas, lo cual propicia la generación de regímenes de temperatura por encima de la isoterma de los 20°C, con lo que se favorece la permanencia de elementos tropicales. Particularmente en la Laguna de San Ignacio, se tiene un registro de 22.1°C promedio anual, con un máximo de 29°C y un mínimo de 16.5°C (Núñez, 1996).

Por otra parte, la presencia de elementos subtropicales, templados y aun boreales en la laguna (por ejemplo, *Fundulus parvipinnis*, *Hypsoblennius gentilis*, *Prionotus stephanophrys*, *Sardinops sagax* y *Sygnathus leptorhynchus*) puede considerarse un *continuum* de su distribución a lo largo de la costa occidental de América del Norte, condicionado por las propiedades de la Corriente de California que, además de sus características físico-químicas, proporciona un medio de transporte y dispersión a los peces mientras forman parte del meroplanton (Castro-Aguirre y Torres-Orozco, 1993).

Del presente conjunto de especies, 21 pueden clasificarse como propias del ambiente pelágico (pelágicos de aguas superficiales de dentro y fuera de la costa) y 80 asociadas a los fondos: 22 de zonas rocosas y 58 de fondos arenosos (bentónicos costeros, estuarinos y de la plataforma, *sensu* Thomson *et al.*, 1979).

## 2. Origen de la ictiofauna

Se han propuesto diversas hipótesis para explicar el origen y evolución de la ictiofauna del noroeste de México, particularmente del Golfo de California y más recientemente del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas.<sup>7</sup> Estos planteamientos se fundamentan en la historia geológica y climatológica de la región, así como en las teorías de dispersión-centros de origen y vicarianza. Las hipótesis para explicar el origen de la ictiofauna de la Laguna de San Ignacio, apoyadas en los mismos principios, se resumen en:

1. Desplazamientos hacia el sur de ictiofauna de afinidad templada desde las provincias Oregoniana y de San Diego durante el Pleistoceno (*relictos glaciares pleistocénicos*).

2. Desplazamientos septentrionales de ictiofauna con afinidad tropical del Golfo de California y Pacífico oriental

tropical durante el Pleistoceno (*relictos interglaciares pleistocénicos*).

3. Desplazamientos recientes de norte-sur-norte condicionados por fenómenos de oscilación climática, propiciando flujos genéticos esporádicos (*especies inmigrantes del reciente*).

4. Transporte de especies continentales durante el proceso tectónico formativo de la península de Baja California y Golfo de California (*transporte del terciario*).

5. Fenómenos de especiación con selección de genotipos similares en el Alto Golfo y costa occidental de la península a partir de especies de estirpe tropical (*especiación alopatría*).

6. Transgresión de especies templadas por inmersión isotérmica (*submergencia isotérmica*).

El establecimiento de cualquiera de estas hipótesis (o su combinación) requiere una revisión de los planteamientos acerca del desarrollo geológico y tectónico de la región. En este contexto, y de acuerdo con una simplificación de lo establecido por diversos autores<sup>8</sup> la península de Baja California estuvo unida al macizo continental mexicano hasta el Mioceno superior (hace 13 a 15 millones de años = m.a.), formando parte de la placa de Norteamérica. Subsecuentemente y por fenómenos de subducción, el margen continental se incrustó en la placa del Pacífico, pasando a formar parte de ella debido a la presencia de una zona de colisión entre las dos placas mencionadas. Durante el Plioceno-Mioceno tardío (5-8 m.a.) tuvo lugar un desplazamiento relativo a éstas, debido a movimientos en las fallas localizadas dentro del margen continental de la actual península de Baja California, originándose el Golfo de California. Pervio a estos procesos tectónico-geomorfológicos, al menos desde finales del Terciario (65-60 m.a) y hasta el Reciente, existen evidencias cíclicas de calentamiento-enfriamiento del planeta y de migración norte-sur de la banda tropical, la cual se ubicó durante el Plioceno (>2 m.a.) en 27°N (Durham, 1959; en Briggs, 1974).

Una característica importante de la vida pleistocénica (<2 m.a.) resulta la amplia dispersión de plantas y animales en respuesta a pulsaciones climáticas, denominadas estadios interglaciares, y al establecimiento de nuevas conexiones entre continentes e islas (Seyfert y Sirkin, 1973).

Particularmente para la región de la costa oeste de América, existe el registro de oscilaciones climáticas durante el Holoceno, con evidencias a partir del análisis de isótopos de oxígeno (O<sub>18</sub>) de que las temperaturas imperantes hace 7,500-4,000 años eran más altas que las actuales. Sin embargo, gradualmente han ocurrido episodios fríos alternantes entre 3600 y 600 años antes del presente, después de los cuales el clima se tornó relativamente más cálido (Hubbs, 1960b; Hubbs y Roden 1964).

7. Por ejemplo, Hubbs, 1960a; Walker, 1960; Rosenblatt, 1967; Castro-Aguirre y Torres-Orozco, 1993; Castro Aguirre, *et al.*, 1995; Castro Aguirre y Balart, 1996.

8. Véase Karig y Jensky, 1972; Moore, 1973; Hausback, 1984; Lonsdale, 1989; Spencer y Normark, 1989.

El nivel medio del mar también ha experimentado variaciones, producto de estas pulsaciones y oscilaciones climáticas. En el Pleistoceno, durante el último glaciador (wisconsiniano), el nivel del mar bajó hasta 130 m, exponiendo la plataforma continental a procesos terrestres y atmosféricos; la erosión que acompañó a estos procesos aportaría los sedimentos de las modernas lagunas costeras (Seyfert y Sirkin, 1973). Durante el Holoceno el nivel del mar subió y se inició la conformación del relieve costero por la influencia de la energía del mar, lo que propició el inicio de los procesos de barrera de las lagunas costeras modernas (Lankford, 1977).

La costa de la península del Vizcaíno, adyacente a la Laguna de San Ignacio, tiene registrada una serie importante de niveles marinos pleistocénicos que corresponden a los estadios interglaciares, localizándose al menos cuatro invasiones del mar durante el Cuaternario. Estas terrazas erosionadas por el oleaje han sido detectadas con niveles de línea de costa de hasta 190 m de elevación, algunas correspondientes al interglaciador sangamoniano: 80-120 mil años (Ortlieb, 1978, 1979, 1981; en Padilla *et al.*, 1991).

De acuerdo con el origen geológico y con los procesos que dieron lugar a sus barreras arenosas, la Laguna de San Ignacio se clasifica como una laguna de tipo I (*sensu* Lankford, 1977): de erosión diferencial, formada por procesos erosivos de origen terrestre-atmosférico del wisconsiniano; surgida de un valle inundado durante el Holoceno con barrera arenosa y sin escasos escurrimientos. La salinidad presenta un gradiente hipersalino y su morfología y batimetría se han modificado por procesos litorales. Isla Ana, su barrera arenosa fue formada por estos procesos costeros en los últimos cinco mil años con el nivel del mar actual (Lankford, 1977).

Considerando lo anterior, y recapitulando las propuestas sobre el origen de la ictiofauna de la región, los fenómenos de submergencia isotérmica<sup>9</sup> no parecen adecuados para explicar la presencia de las especies templado-cálidas discontinuas entre la Laguna San Ignacio y el Alto Golfo de California: *Anisotremus davidsoni*, *Atherinops affinis*, *Exespes asper*, *Hypsopsetta guttulata*, *Hypnus gilberti*, *Ophidion scrippsae*, *Scorpaena guttata*, *Paralichthys californicus* y *Pleuronichthys verticalis*, debido a la distribución somera de la mayoría de estas especies, la distancia y barreras batimétricas y térmicas implicadas en el caso del Alto Golfo de California y su llegada más plausible a la Laguna, vía transporte larvario por la corriente de California.

Los fenómenos de especiación alopátrica de poblaciones discontinuas de peces marinos, son difíciles de interpretar bajo el concepto biológico de especie (Rosenblatt, 1967). Sólo mediante procesos de hibridación, por ejemplo, se consi-

tataría si la diferenciación morfológica está correlacionada con el aislamiento genético y el grado de reversión o integridad genética de tal variación morfológica. Por otra parte, en aquellas poblaciones localizadas a lo largo de un gradiente latitudinal y sin intercambio genético, se presentan frecuencias genéticas diferenciales de una manera más o menos azarosa en respuesta únicamente a condiciones locales, es decir, sin el desarrollo de clinales en caracteres merísticos y morfométricos. Así, el aislamiento y el tiempo favorecen una estructura poblacional fragmentable y por consiguiente la evolución de nuevas especies por selección o deriva genética (Rosenblatt, 1963; Myers, 1997).

En el presente caso, no obstante que las especies discontinuas de la costa occidental de Baja California y el Alto Golfo no presentan diferencias significativas entre ellas (Rosenblatt, 1967), ni evidencias que indiquen fenómenos de especiación alopátrica vicariante (excepción hecha de la subespecie *E. asper earli* en Hubbs, 1952), una hipótesis de selección sobre los mismos genotipos no encuentra soporte en las diferencias del régimen climático y oceanográfico entre ambas costas.

Todo lo anterior, aunado a las barreras batimétricas, térmicas, topográficas y oceanográficas señaladas por Hubbs (1960a) y Castro-Aguirre y Torres-Orozco (1993) entre el Golfo de California y la costa occidental de la península (que propician el aislamiento de sus elencos ictiofaunísticos) indican que la interrupción del flujo genético a niveles significativos entre las poblaciones ha ocurrido recientemente (Pleistoceno-Reciente), descartándose por tanto la propuesta de separación vicariante durante el Mioceno-Plioceno (transporte del Terciario).

La evidencia geológica presentada sobre la formación y origen de la Laguna de San Ignacio y las oscilaciones climáticas documentadas en la región durante los últimos 10 mil años, la magnitud del descenso térmico pleistocénico de entre 4° y 6°C respecto del régimen actual (Emiliani, 1961), el endemismo concentrado en especies de estirpe tropical dentro del Golfo de California, así como la presencia de elementos indopacíficos en el sur de la península, no resultan compatibles con la propuesta de un enfriamiento pleistocénico extenso del noroeste de México y, por consiguiente, de la circunvalación del Cabo San Lucas por elementos norteños y su confinamiento posterior en el Alto Golfo (Hubbs, 1960a; Walker, 1960; Hubbs y Roden, 1964). Lógicamente, lo anterior permite descartar una colonización pleistocénica de la Laguna (relictos pleistocénicos: glaciares e interglaciares).

9. Documentados por ejemplo para *Sebastes* spp. entre el área de la Bahía de Monterrey, California y las zonas de surgencias de Baja California (Hubbs, 1960a).

Por el contrario, el desarrollo geológico y tectónico del noroeste de México, el endemismo reducido y concentrado en especies típicas de los litorales rocosos en el Golfo de California, la integridad genética de las especies discontinuas, el prácticamente nulo endemismo en la costa occidental y el origen geológico de la Laguna de San Ignacio soportan la propuesta del origen Holocénico-Reciente de la ictiofauna de la Laguna, por inmigración de las áreas adyacentes (especies inmigrantes del Reciente).

Hipotéticamente, este fenómeno de inmigración se presentó por medio de una *colonización meropláncónica*, con fenómenos de selección de aquellas especies adaptadas al régimen de la Laguna y por el contacto entre las aguas adyacentes a la península, a través de *canales interpeninsulares*.

### 3. Colonización meropláncónica

Las especies con estadios larvarios planctónicos tienen un mayor potencial para traspasar las barreras biogeográficas y, en teoría al menos, las especies con estadios larvarios prolongados pueden extender su ámbito de distribución, colonizando zonas inaccesibles para los estadios adultos. Si bien para este propósito los fenómenos de inmigración son importantes, el proceso clave es el establecimiento de poblaciones con distribución primaria (*sensu* Walker, 1960), el cual a su vez está condicionado por factores ecológicos. De esta forma, el origen de la fauna de cualquier área es el resultado de la especiación (a escala de tiempo evolutivo), de la colonización (a escala de tiempo ecológico) y de fenómenos de extirpación y extinción de las especies (Myers, 1997).

En este sentido, el grado de endemismo en los sistemas marinos puede ser indicativo de la importancia de las barreras biogeográficas. Comparativamente, el endemismo del Golfo de California es menor al de otras áreas del océano Pacífico oriental (por ejemplo, Islas Galápagos; Rosenblatt, 1967). Alrededor de una quinta parte del total de las especies, incluyendo cuatro géneros monotípicos, es endémica del Golfo (Walker, 1960), y la mayor parte de ellas están concentradas en grupos característicos de zonas rocosas, territorialistas y de poca vagilidad (Rosenblatt, 1967). Por el contrario, en las lagunas de la costa oeste de Baja California (entre las que se incluye Laguna de San Ignacio) prácticamente no existen especies endémicas; con la excepción de *Anchovia magdalenae*, recientemente reconocida como especie válida (P. Whitehead com. pers., 1992) y de *Paraclinus walkeri* (Hubbs, 1952).

Aunque sin la evidencia completa respecto a la biología larvaria de los peces de las Provincias de Cortés, Mexicana y Panámica y de la variabilidad estacional de la ictiofauna de la Laguna de San Ignacio, se esperaría que las especies compartidas por el Alto Golfo y la costa occidental pre-

sentaran periodos larvarios prolongados o estadios adultos pelágicos. Sin embargo, en este inventario se encuentran algunas especies que no presentan una o ambas de estas condiciones biológicas para considerarlas colonizadoras meropláncónicas potenciales.

La evidencia actual se sustenta en la composición ictio geográfica de la Laguna (cuya similitud de especies con la Provincia de Cortés es del 80%), en la proporción (20%) de elementos de diferente afinidad recientemente registrados a esa latitud (27° N) y en la serie histórica del ictioplancton realizada dentro del Plan CalCoFI, en la cual se han encontrado, al menos, 35 de los taxa registrados en Laguna San Ignacio, con afinidades zoogeográficas templada, subtropical y tropical (Moser *et al.*, 1993; 1994).

Así, de forma alternada y de acuerdo a la naturaleza de las oscilaciones climáticas, las especies de afinidades templada y tropical alcanzarían las aguas del cuerpo lagunar a partir del Holoceno y establecerían poblaciones reproductoras (con distribución primaria) sólo aquellas capaces de adaptarse a las propiedades bióticas y abióticas del hábitat lagunar.

### 4. Canales interpeninsulares

El contacto o las invasiones periódicas de aguas del Pacífico hacia el Golfo de California quizá datan desde la propia formación del Golfo, de acuerdo con lo establecido por Molina-Cruz (1994) para explicar los depósitos de radiolarios del área de San Felipe-Isla Tiburón, del periodo Terciario (Mioceno).

En un contexto geológico más reciente, se ha propuesto la existencia de canales interpeninsulares pleistocénicos de comunicación Pacífico-Golfo de California (por ejemplo, Beal, 1948 citado en Walker, 1960) para explicar el origen de la fauna templada del Alto Golfo (Walker, 1960; Hubbs, 1960a; Rosenblatt, 1967) y subtropical del complejo Bahía Magdalena-Almejas (Castro-Aguirre y Torres Orozco, 1993). Sin embargo, Briggs (1974) discute acerca de la improcedencia de tales canales, argumentando sobre la base de una disminución en el nivel del mar ocurrida en el Pleistoceno y de los datos presentados por Durham y Allison (1960; en Briggs, 1974) sobre la integridad geológica de la península de Baja California desde el Pleistoceno.

Las actuales evidencias sobre las invasiones del mar en el Cuaternario documentadas por Padilla *et al.* (1991) y la omisión por parte de Briggs (1974) respecto de los estadios interglaciares Pleistocénicos que elevaron el nivel del mar durante los mismos (por ejemplo, sangamoniano), si bien no confirman la presencia de los canales interpeninsulares, al menos descalifican la argumentación vertida sobre su inexistencia (Briggs, 1974).

Aun sin la evidencia geológica completa, la integridad genética de las especies discontinuas y el componente endémico del Alto Golfo pueden explicarse por medio de la hipótesis de la existencia de canales interpeninsulares pleistocénicos sobre llanos arenosos, someros o con una dinámica que impidió, al mismo tiempo, el paso de especies con poblaciones primarias asociadas al sustrato rocoso (como *Blenniidae*, *Chaenopsidae*, *Tripterygiidae*) y de aquellas asociadas a sustratos blandos que alcanzan tallas relativamente grandes (por ejemplo, la “totoaba” *Totoaba macdonaldi* e incluso el cetáceo *Phocoena sinus*) lo que propició el paso de especies *no colonizadoras del meroplancton*.

Por sus características topográficas y geomorfológicas, los llanos de La Paz en 24° de latitud norte (N) (Beal, 1948; citado por Walker, 1960), de Vizcaíno o del Berrendo (27°-28° N) y el de San Pedro (28°30' N) pudieran representar,

dentro de la geografía actual, relictos de los supuestos paleocanales.

La información disponible permite establecer el modelo descrito de origen de los peces de la Laguna de San Ignacio, por colonización e intercambio ictiofaunístico con los sistemas marinos adyacentes, basado parcialmente en la historia geológica de la región y en la dispersión de las especies, condicionada por los fenómenos de oscilación climática y del desarrollo larvario de las especies. Sin embargo, existe la necesidad de realizar estudios morfométricos y genéticos de las especies alopatricas del noroeste de México, de la distribución del ictioplancton de las Provincias de Cortés, Mexicana y Panámica (*sensu* Briggs, 1974), así como de los paleoambientes de la península de Baja California. Esto permitirá perfeccionar la conceptualización del origen y desarrollo de la ictiofauna y sus relaciones biogeográficas. 



## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, G. R. y Robertson, D. R. (1994). *Fishes of the Tropical Eastern Pacific*. University of Hawaii Press, Honolulu.
- Anónimo (1976). *Catálogo de peces marinos mexicanos*. Secretaría de Industria y Comercio, Instituto Nacional de Pesca. México, D. F.
- Briggs, J. C. (1974). *Marine Zoogeography*. McGraw-Hill, New York.
- Castro-Aguirre, J. L.
- \_\_\_\_\_ (1978). *Catálogo de los peces marinos que penetran a las aguas continentales de México, con aspectos zoogeográficos y ecológicos*. INP, Serie Científica. México, D. F.
- \_\_\_\_\_ y Torres-Orozco, R. (1993). “Consideraciones acerca del origen de la ictiofauna de Bahía Magdalena-Almejas, un sistema lagunar de la costa occidental de Baja California Sur, México”, en *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*. 38: 67-73.
- \_\_\_\_\_; Balart, E. F. y Arvizu, M. J. (1995). “Contribución al conocimiento del origen y distribución de la ictiofauna del Golfo de California, México”, en *Hidrobiológica*. 5 (1-2): 57-78.
- \_\_\_\_\_ y Balart, E. F. (1996). “Contribución al conocimiento del origen y relaciones de la ictiofauna de aguas profundas del Golfo de California, México”, en *Hidrobiológica*. 6 (1-2): 67-76.
- Collette, B. B. (1990). “Problems with Gray Literature in Fishery Science”, en Jonh Hunter (ed.) *Writing for Fishery Journals*. American Fisheries Society, Bethesda. pp. 27-31.
- Cota-Gómez, V. M.; De la Cruz-Agüero, J. y Arellano, M. M. (1998). “Distributional Notes on Some Marine Fishes Collected on Southern Baja California, Mexico”, en *Bulletin of Marine Coastal Research*. 27 (1): 103-105.
- Danemann, G. D. y Guzmán, J.
- \_\_\_\_\_ (1992). “Notes on the Birds of San Ignacio Lagoon, Baja California Sur, México”, en *Western Birds*. 23: 11-19.
- \_\_\_\_\_ (1993). “Ichthyofauna of San Ignacio Lagoon, Baja California Sur, México”, en *Ciencias Marinas*. 19(3): 333-341.
- Dawson, E. Y.
- \_\_\_\_\_ (1948). “Resultados preliminares de un reconocimiento de las algas marinas de la costa Pacífico de México”, en *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. 7: 167-215.
- \_\_\_\_\_ (1961). “A Guide to the Literature and Distributions of Pacific Benthic Algae from Alaska to the Galapagos Islands”, en *Pacific Science*. 15: 371-461.
- \_\_\_\_\_ (1962). “Marine Red Algae of Pacific Mexico. VII. Ceramiales: Ceramiales, Delesseriaceae”, en *Allan Hancock Pacific Expeditions*. 26 (2): 1-207.
- De la Cruz-Agüero, J.
- \_\_\_\_\_; Galván, M. F.; Abitia, C. A.; Rodríguez, R. J. y Gutiérrez, S. F. J. (1994).

- “Lista sistemática de los peces marinos de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México”, en *Ciencias Marinas*. 20(1): 17-31.
- \_\_\_\_\_; Arellano, M. M. y Cota, G. V. (1996). “Lista sistemática de los peces marinos de las lagunas Ojo de Liebre y Guerrero Negro, B. C. S. y B. C., México”, en *Ciencias Marinas*. 22(1): 111-128.
- \_\_\_\_\_; y Cota, G. V. (1998). “Ictiofauna de la Laguna de San Ignacio, B. C. S., México: nuevos registros y ampliaciones de ámbito”, en *Ciencias Marinas*. 24(3): 353-358.
- Diario Oficial de la Federación*. Presidencia de la República. 30 de Noviembre de 1988.
- Ekman, S. (1953). *The Zoogeography of the Sea*. Sidgwick and Jackson, Londres.
- Emiliani, C. (1961). “Cenozoic Climatic Changes as Indicated by the Stratigraphy and Chronology of Deep-Sea Cores of Globigerina-Ooze Facies”, en *Annals of the New York Academy of Sciences*. 95 (1): 521-536.
- Eschmeyer, W. N.; Herald, E. S. y Hammann, H. (1983). *A Field Guide to Pacific Coast Fishes of North America*. Houghton Mifflin Company, Boston.
- Fischer, W.; Krupp, F.; Schneider, W.; Sommer, C.; Carpenter, K. E. y Niem, V. H. (Eds.). (1995). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental*. Volúmenes II y III. Vertebrados - Partes 1 y 2. FAO, Roma. pp. 647-1813.
- Hausback, B. P. (1984). “Cenozoic Volcanic and Tectonic Evolution of Baja California Sur, Mexico”, en Frizzell, V. A. (ed.) *Geology of the Baja California Peninsula: Pacific Section*. S.E.P.M. 39: 219-236.
- Hubbs, C.
- \_\_\_\_\_. (1952). “A Contribution to the Classification of the Blennioid Fishes of the Family Clinidae, with a Partial Revision of the Eastern Pacific Forms”, en *Stanford Ichthyological Bulletin*. 4(2): 41-165.
- \_\_\_\_\_. (1960a). “The Marine Vertebrates of the Outer Coast. Symposium: The Biogeography of Baja California and Adjacent Seas. Part II. Marine Biotas”, en *Systematic Zoology*. 9 (3-4): 134-147.
- \_\_\_\_\_. (1960b). “Quaternary Paleoclimatology of the Pacific Coast of North America”, en *CalCoFI Reports*. Vol. VII: 105-112.
- \_\_\_\_\_. (1974). “Book Review of Marine Zoogeography by Jonh C. Briggs”, en *Copeia*. 1974 (4): 1002-1005.
- \_\_\_\_\_. y Roden, G. I. (1964). “Oceanography and Marine Life Along the Pacific Coast of Middle America”, en *Handbook of middle American indians*. University of Texas Press, Austin. pp. 143-186.
- Jones, M. L. y Swartz, S. L. (1984). “Demography and Phenology of Gray Whales and Evaluation of Whale-Watching Activities in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, México”, en Jones, M. L.; Swartz, S. L. y Leatherwood, S. (eds.). *The Gray Whale Eschrichtius Robustus*. Academic Press, New York.
- Karig, D. E. y Jensky, W. (1972). “The Proto-Gulf of California”, en *Earth and Planet Science Letters*. 17: 169-174.
- Lankford, R. R. (1977). “Coastal Lagoons of México their Origin and Classification”, en Wiley, M. (ed.) *Estuarine Processes. Vol. II. Circulation, Sediments and Transfer of Material in the Estuary*. Academic Press, New York. pp. 183-216.
- Lonsdale, P. (1989). “Geology and Tectonic History of the Gulf of California”, en Winterer, E. L.; Hussong, D. M. y Decker, R. W. (eds.) *The Eastern Pacific Ocean and Hawaii. The Geology of North America, Vol. N*. Geological Society of America, Boulder. pp. 499-521.
- Molina-Cruz, A. (1994). “Biostratigrafía y significado paleocenoigráfico de los radiolarios de la protoboca del Golfo de California”, en *Ciencias Marinas*. 20 (4): 441- 465.
- Moore, D.G. (1973). “Plate-edge Deformation and Crustal Growth, Gulf of California Structural Province”, en *Geological Society of America Bulletin*. 84: 1883-1906.
- Moser, H. G.;
- \_\_\_\_\_. Charter, R. L.; Smith, P. E.; Ambrose, D. A.; Charter, S. R.; Meyer, C. A.; Sandknop, E. M. y Watson, W. (1993). “Distributional Atlas of Fish Larvae and Eggs in the California Current Region: Taxa with 1000 or More Total Larvae, 1951 through 1984”, en *Calcofi Atlas*. 31:1- 233.
- \_\_\_\_\_. (1994). “Distributional Atlas of Fish Larvae in the California Current Region: Taxa With Less than 1000 Total Larvae, 1951 through 1984”, en *Calcofi Atlas*. 32: 1- 181.
- Myers, A. A. (1997). “Biogeographic Barriers and the Development of Marine Biodiversity”, en *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 44 (2): 241-248.
- Núñez, L. R. (1996). *Estructura de la comunidad de macroalgas de la Laguna de San Ignacio, B. C. S., México (1992-1993)*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S., México.
- Ortega, R. A.;
- \_\_\_\_\_. Arriaga, L.; León, J. L.; Troyo, E.; Coria, R.; González, A.; Galina, P.; Álvarez, S.; Sevín, R.; Rodríguez, R.; Tejas, A.; Llinas, J.; Maravilla, O.; Breceda, A.; Bojórquez, A.; Gallina, S. y Jiménez, M. L. (1988). *Estudio integral de la reserva de la biosfera el Vizcaíno Ojo de Liebre, Baja California Sur*. Informe técnico SEDUE. La Paz, B. C. S.
- \_\_\_\_\_. y Arriaga, L. (eds.) (1991). *La Reserva de la Biosfera El Vizcaíno en la Península de Baja California*. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A. C. La Paz, B. C. S.
- \_\_\_\_\_. Castellanos, V. A. (eds.) (1995). *Estrategia para el manejo de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno*, B. C. S., México. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, B. C. S.
- Padilla, G.; Pedrín, S. y Troyo-Diéguez, E. (1991). “Geología”, en Ortega, A.

- y Arriaga, L. (eds.) *La Reserva de la Biosfera El Vizcaíno en la Península de Baja California*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, s. c. La Paz, B. C. S. pp. 71-93.
- Reitherman, B. y Storrer, J. (1981). *A Preliminary Report on the Reproductive Biology and Ecology of the Whale Island Osprey (Pandion Haliaeetus) Population, San Ignacio Lagoon*, B.C.S. Research Associates of the Western Foundation of Vertebrate Zoology. Los Angeles, CA.
- Rosales Casián, J. A. (1996). "Ictiofauna de la Bahía de San Quintín, Baja California, México y su costa adyacente", en *Ciencias Marinas*. 22 (4): 443-458.
- Rosenblatt, R. H.
- \_\_\_\_\_ (1963). "Some Aspects of Speciation in Marine Fishes", en Harding, J. P. y Tebble, N. (eds.) *Speciation in Sea, A Symposium*. Systematic Association Publication No. 5. pp. 171-180.
- \_\_\_\_\_ (1967). "The Zoogeographic Relationships of the Marine Shore Fishes of Tropical America", en *Studies in Tropical Oceanography*. 5: 579-592.
- \_\_\_\_\_ (1974). "Book Review of Marine Zoogeography by John C. Briggs", en *Science*. 186: 1028.
- Segura-Zarzosa, J. C.; Abitia, C. L. y Galván, M. F. (1997). "Observaciones sobre la alimentación del tiburón *Heterodontus francisci* Girard, 1854 (Chondrichthyes: Heterodontidae), en Laguna de San Ignacio, Baja California Sur, México", en *Ciencias Marinas*. 23 (1): 111-128.
- Seyfert, C. K. y Sirkin, L. A. (1973). *Earth History and Plate Tectonics: an Introduction to Historical Geology*. Harper and Row, New York..
- Spencer, J. E. y Normark, W. R. (1989). "Neogene Plate-Tectonics Evolution of the Baja California Sur Continental Margin and the Southern Gulf of California, Mexico", en Winterer, E. L.; Hussong, D. M. y Decker, R.W. (eds.) *The Eastern Pacific Ocean and Hawaii. The Geology of North America*. Geological Society of America, Boulder. pp. 489-497.
- Thomson, D. A., Findley, L. T. y Kerstitch, A. (1979). *Reef Fishes of the Sea of Cortez*. John Wiley and Sons, New York.
- Waldford, L. A. (1974). *Marine Game Fishes of the Pacific Coast from Alaska to the Ecuador*. University of California Press, Berkeley.
- Walker, B. W. (1960). "The Distribution and Affinities of the Marine Fish Fauna of the Gulf of California. Symposium: Biogeography of Baja California and Adjacent Seas. Part II. Marine Biotas", en *Systematic Zoology*. 9 (3-4): 123-113.