



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS
OTOLITOS DE DORADO (*Coryphaena hippurus*)
PARA LA IDENTIFICACIÓN DE STOCKS**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS
MARINOS**

PRESENTA

VANESSA GEORGINA PELAYO GONZALEZ

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DE 2018



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 23 del mes de Noviembre del 2018 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

“ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS OTOLITOS DE DORADO

(*Coryphaena hippurus*) PARA LA IDENTIFICACIÓN DE STOCKS”

Presentada por el alumno:

PELAYO
Apellido paterno

GONZÁLEZ
materno

VANESSA GEORGINA
nombre(s)

Con registro:

A	1	7	0	8	8	5
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA


Director(a) de Tesis


DRA. SOFÍA ORTEGA GARCÍA


DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA


DR. ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ


DR. RUBÉN RODRÍGUEZ GONZÁLEZ


DR. ULIANOV JAKES COTA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 26 del mes de Noviembre del año 2018

El (la) que suscribe QFB. VANESSA GEORGINA PELAYO GONZÁLEZ Alumno (a) del Programa
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A170885 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DRA. SOFÍA ORTEGA GARCÍA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS OTOLITOS DE DORADO

(Coryphaena hippurus) PARA LA IDENTIFICACIÓN DE STOCKS"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: vanessagpelayo@gmail.com - sortega@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

QFB. VANESSA GEORGINA PELAYO GONZÁLEZ

Nombre y firma del alumno

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	II
GLOSARIO	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT.....	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES.....	6
3. JUSTIFICACIÓN.....	10
4. HIPÓTESIS.....	11
5. OBJETIVOS	11
5.1 Objetivo general.....	11
5.2 Objetivos específicos	11
6. ÁREAS DE ESTUDIO.....	12
6.1 Océano Pacífico Oriental	12
6.2 Océano Atlántico	12
7. MATERIAL Y MÉTODOS.....	15
7.1 Obtención de los otolitos sagittae.....	15
7.2 Análisis químico por Espectroscopía de Fotoelectrones Inducidos por Rayos X (XPS).....	16
7.3 Análisis químico por Espectrometría de masas de Isótopos Estables	16
7.4 Análisis estadísticos.....	17
8. RESULTADOS	18
8.1 Análisis químico por Espectroscopía de Fotoelectrones Inducidos por Rayos X (XPS).....	18
8.2 Espectrometría de Masas de Isótopos Estables (IRMS)	26
8.3 Análisis Multivariado, Discriminante y Dendograma	30
9. DISCUSIÓN	35
9.1 Propuesta metodológica para determinar la composición química de los núcleos de los otolitos sagittae de <i>C. hippurus</i>	35
9.2 Comparación de la “Huella Química” entre los stocks del Océano Pacífico Oriental y el Océano Atlántico.	35
9.3 Comparación de la “Huella Química” entre muestras provenientes del Océano Pacífico Oriental.....	39
10. CONCLUSIONES	41
11. RECOMENDACIONES.....	42
12. BIBLIOGRAFÍA	43

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Áreas de captura de *Coryphaena hippurus*. () Cabo San Lucas, BCS, México; () El Golfo Dulce, Costa Rica; () Manta, Ecuador; () El Limón, Costa Rica. 12
- Figura 2.** Esquema del flujo de corrientes y promedio de temperatura en el OPO (Kessler, 2006; Pennington et al, 2006). 14
- Figura 3.** (1) Corte longitudinal de la cabeza de Dorado. (2 y 3) Localización de los otolitos. (3) Extracción de los otolitos..... 15
- Figura 4.** Comparación gráfica de las relaciones Mg:Ca de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México **(CSL)**; El Golfo Dulce, Costa Rica **(CR)**; Manta, Ecuador **(EC)**; El Limón, Costa Rica **(OA)**). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado de los valores de probabilidad de las pruebas de Kruskal-Wallis y Test de Turkey y Kramer..... 19
- Figura 5.** Comparación gráfica de las relaciones Sr:Ca de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México **(CSL)**; El Golfo Dulce, Costa Rica **(CR)**; Manta, Ecuador **(EC)**; El Limón, Costa Rica **(OA)**). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado de los valores de probabilidad de las pruebas de Kruskal-Wallis y Test de Turkey y Kramer..... 20
- Figura 6.** Comparación gráfica de las relaciones P:Ca de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México **(CSL)**; El Golfo Dulce, Costa Rica **(CR)**; Manta, Ecuador **(EC)**; El Limón, Costa Rica **(OA)**). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado de los valores de probabilidad de las pruebas de Kruskal-Wallis y Test de Turkey y Kramer..... 21
- Figura 7.** Comparación gráfica de las relaciones Na:Ca de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México **(CSL)**; El Golfo Dulce, Costa Rica **(CR)**; Manta, Ecuador **(EC)**; El Limón, Costa Rica **(OA)**). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado de los valores de probabilidad de las pruebas de Kruskal-Wallis y Test de Turkey y Kramer..... 22
- Figura 8.** Comparación gráfica de las relaciones S:Ca de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México **(CSL)**; El Golfo Dulce, Costa Rica **(CR)**; Manta, Ecuador **(EC)**; El Limón, Costa Rica **(OA)**). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado del valor de probabilidad de la prueba estadística de Mann-Whitney..... 23
- Figura 9.** Comparación gráfica de las relaciones Si:Ca de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México **(CSL)**; El Golfo Dulce, Costa Rica **(CR)**; Manta, Ecuador **(EC)**; El Limón, Costa Rica **(OA)**). Se presentan los valores promedio y la desviación

estándar. Resultado del valor de probabilidad de la prueba estadística de Mann-Whitney..... 24

Figura 10. Comparación gráfica de las razones isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México **(CSL)**; El Golfo Dulce, Costa Rica **(CR)**; Manta, Ecuador **(EC)**; El Limón, Costa Rica **(OA)**). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado del valor de probabilidad de las pruebas de Kruskal-Wallis y Test de Turkey y Kramer. 27

Figura 11. Comparación gráfica de las razones isotópicas de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México **(CSL)**; El Golfo Dulce, Costa Rica **(CR)**; Manta, Ecuador **(EC)**; El Limón, Costa Rica **(OA)**). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado del valor de probabilidad de las pruebas de Kruskal-Wallis y Test de Turkey y Kramer. 28

Figura 12. Comparación gráfica de los promedios y la desviación estándar de las razones isotópicas de carbono y oxígeno de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México **(CSL)**; El Golfo Dulce, Costa Rica **(CR)**; Manta, Ecuador **(EC)**; El Limón, Costa Rica **(OA)**)..... 29

Figura 13. (a) Esquema del análisis discriminante de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México **(CSL)**; El Golfo Dulce, Costa Rica **(CR)**; Manta, Ecuador **(EC)**; El Limón, Costa Rica **(OA)**); (b) Resultado del valor de probabilidad del análisis MANOVA y (c) resultados de los valores del Test de asignación predictiva. ... 31

Figura 14. (a) Esquema del análisis discriminante de las 3 áreas del OPO (Cabo San Lucas, México **(CSL)**; El Golfo Dulce, Costa Rica **(CR)**; Manta, Ecuador **(EC)**); (b) Resultado del valor de probabilidad del análisis MANOVA y (c) resultados de los valores del Test de asignación predictiva. 32

Figura 15. Resultado del valor de probabilidad del análisis MANOVA entre las áreas del OPO (Cabo San Lucas, México **(CSL)**; El Golfo Dulce, Costa Rica **(CR)**; Manta, Ecuador **(EC)**) y el Océano Atlántico (El Limón, Costa Rica **(OA)**). 33

Figura 16. Dendograma de las 4 áreas analizadas (Cabo San Lucas, México **(CSL)**; El Golfo Dulce, Costa Rica **(CR)**; Manta, Ecuador **(EC)**; El Limón, Costa Rica **(OA)**)..... 33

GLOSARIO

Dorado: Nombre común con el que se conoce a los peces de cualquiera de las dos especies del género *Coryphaena* (*C. hippurus* y *C. equiselis*).

Epipelágico: Organismos que viven dentro de la zona fótica, desde la superficie hasta la termoclina, usualmente entre los 0 y los 200 m.

Huella química: Conjunto de elementos e isótopos cuyas concentraciones son específicas para cada organismo de determinada zona.

EMIE: Espectrometría de Masas de Isótopos estables.

OPO: Océano Pacífico Oriental (desde los 22° N a los 0° N, y de los 109° O hasta las costas del continente americano).

Otolito: Estructura ósea localizada en el oído interno de los peces cuya composición cristalina está constituida en un 99% por carbonato de calcio (CaCO_3) en el arreglo molecular de aragonita

Pesca deportiva: Actividad que se realiza para capturar peces desde una embarcación mediante el uso del arte de pesca conocido como caña de pescar,.

Población: Grupo de organismos de la misma especie que habitan en un área geográfica restringida y que tienen la capacidad de reproducirse con cualquier otro miembro de dicho grupo.

Stock: Grupo semi discreto intraespecífico de individuos que se aparean al azar con integridad temporal o espacial

Surgencia: Movimiento vertical de agua profunda rica en nutrientes hacia la superficie.

XPS: Espectroscopia de Fotoelectrones Inducidos por Rayos X. Técnica analítica de superficies.

RESUMEN

El dorado (*Coryphaena hippurus*) es una especie epipelágica que habita en las aguas tropicales y subtropicales de los océanos Atlántico, Pacífico e Índico, desde los 41° N hasta los 35° S, donde está limitado por la isoterma de los 20°C. A pesar de ser un recurso con alto potencial de explotación, no existen planes de manejo de la pesquería. Una de las principales dificultades para el diseño de planes de manejo ha sido el desconocimiento de la identidad, la abundancia y el grado de relación de las unidades poblacionales que están siendo aprovechadas.

El término stock es utilizado para identificar y delimitar a una unidad poblacional específica para propósitos de administración pesquera. Recientemente la composición química de los otolitos de los peces se ha utilizado como herramienta para el reconocimiento de marcadores naturales y la identificación de stocks. Los otolitos se encuentran en el aparato vestibular del oído del pez y están compuestos en un 99% por carbonato de calcio (CaCO_3), sin embargo, guardan en su matriz un porcentaje mínimo de elementos traza, los cuales son utilizados como marcadores ambientales. El núcleo de los otolitos es la región más analizada para la discriminación de stocks, ya que se forma en las primeras fases de vida de los peces, y la concentración de ciertos elementos e isótopos sirve como una huella química característica del ambiente donde los estadios tempranos de vida se desarrollaron. Con el objetivo de valorar el uso de esta propiedad para la identificación y diferenciación de stocks de dorado, se emplearon las técnicas de Espectroscopia de Electrones Inducidos por Rayos X (XPS) y Espectrometría de Masas de Isótopos Estables en otolitos sagittae provenientes de organismos capturados en tres regiones del Océano Pacífico Oriental y una proveniente del Océano Atlántico. Se cuantificaron los elementos Ca, Mg, Sr, P, S, Na y Si, así como los isótopos de ^{13}C y ^{18}O . El análisis multivariado de varianza (MANOVA) indicó diferencias significativas en la huella química entre áreas de muestreo, siendo Ecuador la que mostró las diferencias mayores. El análisis discriminante mostró que los elementos Mg, Na y Si, así como los isótopos de ^{18}O fueron determinantes en la discriminación de los grupos geográficos analizados, con un 96% de clasificación correcta.

Los resultados sugieren variabilidad en la huella química asociada a la localidad geográfica de captura del dorado, lo que podría coadyuvar para la identificación y discriminación de unidades poblacionales de esta especie en el Océano Pacífico Oriental.

Palabras clave: *Coryphaena hippurus*; stock; otolitos; XPS; Isótopos Estables.

ABSTRACT

Dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) is an epipelagic species which inhabits on the tropical and subtropical waters of the Atlantic, Pacific and Indian Oceans, from 41° N to 35° S, where it is limited by the isotherm of 20° C. Given that this species is considered in high market demand, stock management is complicated by limited information concerning stock identification, population abundance and the degree to which the stocks mix regionally.

Stock is a population unit for a specific management purpose in the fisheries practices. Recently the estimation of the chemical composition of otoliths of fish has been used as a tool to recognize of characteristic natural markers and stock identification. The otoliths are found in the vestibular apparatus of the ear of the fish and are composed 99% for calcium carbonate (CaCO₃). However, they keep a minimum percentage of trace elements in their matrix, which are used as environmental markers. The core of otoliths is the most analyzed region for stocks discrimination, because it is created in the first stages of life, and in this way the concentration of certain elements and isotopes serves as a chemical fingerprint, which is characteristic of the environment where these stages were developed. Using this property to identify stocks of dolphinfish, we employed the techniques of X-ray Induced Electron Spectroscopy (XPS) and Stable Isotope Mass Spectrometry on sagitta otolith core collected from three regions in the Eastern Pacific Ocean and one from the Atlantic Ocean, The elements Ca, Mg, Sr, P, S, Na and Si were quantified, as well as the isotopes of ¹³C and ¹⁸O. MANOVA analysis indicated significant differences between sampling areas; Ecuador presented the greatest discrepancy. The discriminant analysis showed that the elements Mg, Na and Si, as well as the isotopes of ¹⁸O were decisive for the segregation of the geographic groups analyzed, with 96% correct classification.

Results suggest there is variability in the chemical composition associated with the geographic location of the dolphinfish landings. This may be attributed to stock identification within the Eastern Pacific Ocean.

Key words: *Coryphaena hippurus*; stock; otoliths; XPS; Stable isotopes.

1. INTRODUCCIÓN

El dorado, *Coryphaena hippurus*, también conocido como dolphinfish, mahi-mahi, lampuga o perico, es un depredador epipelágico habitante de los mares tropicales y subtropicales de los océanos Atlántico, Pacífico e Índico (Palko *et al.*, 1982; Oxenford & Hunte, 1983). En general se le encuentra entre los 40° latitud norte y 40° de latitud sur en ambos hemisferios (Palko *et al.*, 1982; Oro, 1999).

En el Océano Pacífico Oriental (OPO) se distribuye desde San Diego, California (Estados Unidos), hasta Antofagasta (Chile), con mayor abundancia en el Pacífico Centro-Oriental (Solano-Sare *et al.*, 2008).

A nivel mundial, este recurso es explotado por la pesca comercial y deportiva a lo largo de su distribución, y en los últimos años la captura se ha incrementado notablemente superando las 115 mil toneladas (FAO, 2014). En el Océano Pacífico occidental, destacan las flotas japonesa y taiwanesa (Kojima, 1965, Wu *et al.*, 2001), mientras que, en el Mar Mediterráneo, es capturado principalmente por la flota artesanal, que utiliza objetos flotantes como atractores para su concentración (Massutí *et al.*, 1999). En las islas del Caribe el dorado aporta importantes volúmenes de captura (Beardsley, 1967; Mahon & Oxenford, 1999) y en Florida y Carolina del Norte representan una de las principales pesquerías comerciales (Rose & Hassler, 1968; Schwenke & Buckel, 2008).

En el OPO, los países latinoamericanos que registran las mayores capturas son Ecuador, Perú, Panamá y Guatemala, debido a la gran demanda que tiene el dorado en Estados Unidos y en los países de la Unión Europea (FAO, 2010). En Perú y Ecuador, este recurso es explotado principalmente por las pesquerías palangreras artesanales, las cuales aportan alrededor del 90% de la captura total de dorado en el OPO (Aires-da-Silva *et al.*, 2014). En Ecuador, más del 65% de las descargas de pelágicos mayores son de dorado, contribuyendo con el 35 al 40% de las exportaciones a Estados Unidos (Martínez-Ortiz & Zúñiga-Flores, 2012).

En México, este recurso está considerado dentro de las especies reservadas para la flota deportiva, dentro de una franja de 50 millas náuticas a partir de la

línea base desde la cual se mide el mar territorial. Teniendo como límite de captura 2 dorados por pescador por día (NOM-017-PESC-1994). No obstante, es capturado incidentalmente por las flotas palangrera y atunera (Santana-Hernández, 2001, Martínez-Rincón, 2009; DOF, 2012). En la Carta Nacional Pesquera (CNP) publicada en el 2000, esta especie estaba considerada como una parte importante de las capturas incidentales de la flota artesanal en el océano Pacífico, así como un recurso con potencial para la pesca deportiva (DOF, 2000). Sin embargo, en las versiones más recientes de la CNP, el estatus de esta especie es el de cercano al máximo sustentable, con potencial marginal de desarrollo; por lo que se sugiere la necesidad de determinar la magnitud del aprovechamiento por parte de las flotas artesanales y definir su porcentaje (DOF, 2004).

Diferentes análisis realizados sobre las capturas de esta especie en las zonas tropicales y subtropicales, han reflejado una clara estacionalidad en los picos máximos de abundancia de las capturas, lo que ha dado origen a hipótesis que sugieren la existencia de diferentes poblaciones, así como migraciones de ellas asociadas a diversos parámetros ambientales (Zuñiga-Flores *et al.*, 2008).

Para evaluar un recurso es necesario conocer aspectos tanto de su biología básica como pesquera, y dicho conocimiento es indispensable para definir los modelos y esquemas más adecuados para su explotación y manejo. Por ejemplo, la elección de modelos multi-flotas o modelos multi-stocks dependiendo de la estructura poblacional y el grado de explotación de la especie en una región particular (López-Martínez *et al.*, 1999).

El término “stock” define las unidades de trabajo básicas sobre las cuales se evalúa el estado de las pesquerías y se implementan políticas de gestión orientadas a la explotación sustentable (Begg & Waldman, 1999). En la actualidad no existe una definición de stock aceptada por unanimidad, ya que depende del enfoque metodológico, y por tal motivo surgen diferentes conceptos de stock, como el stock genético, el stock fenotípico, el stock reproductivo, por mencionar algunos (Begg *et al.*, 1999; Abaunza *et al.*, 2008). Sin embargo, todos estos estudios deben apuntar a identificar entidades biológicamente significativas que puedan mejorar los modelos de evaluación del estado del recurso y la eficiencia de su gestión. Para propósito de este estudio, se

seleccionó la definición de stock como un grupo semi discreto intraespecífico de individuos que se aparean al azar con integridad temporal o espacial (Begg *et al.*, 1999). Este grupo se caracteriza por tener una dinámica interna homogénea, cuyas interacciones con otros grupos son limitadas y por lo tanto la explotación de uno tendrá un impacto limitado sobre los demás (Begg & Waldman, 1999). En general, esta definición es similar a la definición de población con la diferencia de que el stock se refiere esencialmente a los recursos explotados comercialmente comprendidos en las estrategias de las gestiones pesqueras (Begg & Waldman, 1999).

La identificación de stocks es un campo interdisciplinario que implica el reconocimiento de unidades con características auto sostenibles dentro de las poblaciones naturales. Dichas unidades pueden ser identificadas sobre la base de enfoques biológicos (estudios fisiológicos, de comportamiento, morfométricos, citogenéticos y bioquímicos), oceanográficos (características físico-químicas) o administrativos (política y economía) (Pita *et al.*, 2016).

El estudio de la composición elemental de los otolitos se utiliza para diferenciar stocks (Edmonds *et al.*, 1989; Thresher *et al.*, 1994; Severin *et al.*, 1995). En los últimos años ha habido un aumento en el interés de la determinación de la composición química de estructuras calcificadas por su naturaleza metabólicamente inerte. Esta característica se ha observado en los otolitos, y existe evidencia de que las espinas, vértebras y escamas de los peces también cumplen con este supuesto (Campana & Thorrold, 2001). Sin embargo, los otolitos brindan una información cronológica superior a otras estructuras, por lo que tienen un gran potencial para reconstruir la historia ambiental individual de un organismo (Panfili & Troadec, 1993; Secor *et al.*, 1995). La composición elemental de los otolitos también se ha utilizado para precisar rutas migratorias (Secor *et al.*, 1995; Thorrold *et al.*, 1997), reconstruir patrones de temperatura (Patterson *et al.*, 1993; Townsend *et al.*, 1995), validar estimaciones de edad a través de fechado con radioquímica (Campana, 1990; Kalish, 1990), detectar anadromía (Kalish, 1990; Halden *et al.*, 1995) así como reconocer marcas a través de lantánidos (Ennevor & Beames, 1993). Estas técnicas pueden proporcionar una mayor evidencia de la estructura poblacional que tal vez no son detectadas por otras técnicas per se (Kerr & Campana, 2014).

Los otolitos de los peces teleósteos son cuerpos policristalinos compuestos en un 99% por carbonato de calcio (CaCO_3) precipitado casi en su totalidad en la forma de aragonita (Degens *et al.*, 1969), y un 0.1% de elementos traza, los cuales se depositan dentro de una matriz orgánica (Campana, 1999).

La concentración de algunos elementos e isótopos en los otolitos puede considerarse como una “huella química”, es decir, una marca ambiental sobre el organismo con la cual es posible separar grupos de peces que han estado expuestos a diferentes variables ambientales, debido a las conductas migratorias o a su distribución en determinadas etapas de su desarrollo (Kerr & Campana, 2014). Bajo este concepto, existen una serie de técnicas analíticas las cuales se basan en la espectroscopia de rayos X y la espectrometría de masas, y que pueden acoplarse a otros métodos, para ser empleadas en la determinación de la composición química de los otolitos. (Campana, 2005).

La aplicación de métodos analíticos en los otolitos para la identificación y discriminación de stocks se sustenta en dos supuestos; el primero que es una estructura inerte, es decir, que el material depositado no es reabsorbido ni removido a través del tiempo (Campana & Neilson, 1985). El segundo supuesto es que los elementos incorporados reflejan las propiedades fisicoquímicas del ambiente que el pez experimentaba al momento de la deposición, sin embargo se debe tener en cuenta que la regulación fisiológica de cada organismo influye en la concentración de determinados componentes de la red cristalina (Kalish, 1989; Fowler, *et al.*, 1995; Farrell & Campana, 1996; Sturrock, *et al.*, 2012).

Generalmente para este tipo de estudios se utilizan los otolitos sagittae debido a que son más grandes que los otros otolitos del mismo pez (Pierce *et al.*, 1991), lo que permite una mejor observación de su morfología y facilita su manipulación (Casselman, 1990). Así mismo, el núcleo del otolito sagitta se forma en las primeras etapas de vida y el tiempo de exposición a las variables ambientales es limitado, por lo que esta huella química guarda las características ambientales del área al momento del desarrollo de dichas etapas, lo que es utilizado para la diferenciación de stocks (Campana, 2005).

Los otolitos sagittae de *C. hippurus* se han utilizado para estudios de edad y crecimiento a través del conteo de marcas, así como para la diferenciación de

stocks en los litorales brasileños por medio del análisis de su contorno (Massutí & Morales-Nin, 1999; Morales-Nin *et al.*, 1999; Duarte-Neto *et al.*, 2008). Los otolitos del dorado tienen la particularidad de ser extremadamente pequeños en relación al tamaño del pez (e.g., 2.6 mm para un pez de 1100 mm de longitud estándar), por lo que la cantidad de muestra que se puede obtener por pez es reducida y requiere la adecuación de la metodología acorde a la sensibilidad del equipo analítico que se utiliza para poder lograr un análisis preciso (Oxendford & Hunte, 1983).

Diferentes técnicas para estimar la composición química de los otolitos requieren cantidades de muestra, que en muchos casos son mayores de la que se puede obtener de un otolito, debido a que se someten a un procesamiento previo al análisis, ya sea realizando un corte para obtener una parte específica del otolito o sometiéndolos a una digestión química para liberar los componentes de interés (Thresher, 1999). Los equipos basados en laser (como por ejemplo la Espectroscopia de Fotoelectrones Inducidos por Rayos X) sólo requieren la eliminación de posibles contaminantes debido a que el análisis se lleva a cabo a nivel de superficie, mientras que los diferentes acoplamientos con espectrometría de masas (como con Isótopos Estables) requieren de una descomposición ácida de la muestra (Thresher, 1999).

En este trabajo se emplearon las técnicas de Espectroscopia de Fotoelectrones Inducidos por Rayos X (XPS) y la Espectrometría de Masas de Relaciones Isotópicas (EMRI) para comparar la composición elemental e isotópica de los núcleos de los otolitos sagittae de dorado (Ca, Mg, Sr, P, S, Na y Si, así como los isótopos de ^{13}C y ^{18}O) de tres áreas del OPO y una del Océano Atlántico.

2. ANTECEDENTES

Aunque todavía no hay estudios que lo demuestren, se ha considerado que el dorado capturado por los países del OPO pertenece a un mismo stock, esto atribuido al comportamiento estacional del recurso (Gutiérrez *et al.*, 2012).

Características particulares del dorado se han estudiado a lo largo de su distribución en el océano Pacífico. Por ejemplo en la parte central y oriental, la abundancia y reproducción estacional han sido asociadas a la conducta migratoria, y las variaciones en la abundancia también pueden estar relacionadas con la divergencia genética entre las poblaciones (Kraul, 1999; Lasso & Zapata, 1999).

La distribución de la captura a lo largo del año en distintas zonas sugiere que podrían existir dos subpoblaciones en el OPO, una subpoblación oceánica que se desplaza estacionalmente hacia la costa, y otra subpoblación residente costera (Aires-da-Silva *et al.*, 2014).

Díaz-Jaimes *et al.* (2006) en el Pacífico Mexicano, trataron de probar diferencias poblacionales a través de la secuenciación de 751pb del gen ND1 mitocondrial, encontrando homogeneidad genética espacial y temporal en Baja California Sur, Sinaloa, Sonora y Chiapas.

Rocha-Olivares *et al.* (2006), utilizando RFLPs para el gen ND1 mitocondrial, detectaron heterogeneidad genética para el Pacífico Mexicano y Hawaii. En tanto que Bobadilla-Jiménez (2007) con el uso de microsatélites también encontró heterogeneidad en la misma área, reflejando la presencia de una estructura genética propia de cada una de las poblaciones evaluadas, a pesar de la cercanía geográfica. Resultados similares fueron obtenidos por Rosales-Morales (2007), con el análisis del gen de la hormona de crecimiento, sugiriendo una relación entre las distancias geográficas y las distancias genéticas. Finalmente Tripp-Valdez *et al.* (2010), empleando microsatélites, demostraron una alta variación y un flujo génico en el Golfo de California. Los análisis arrojaron una sutil, pero significativa heterogeneidad espacial y temporal, teniendo en cuenta que algunos factores biológicos u oceanográficos pueden limitar el flujo génico.

Chang *et al.* (2013) utilizando estimaciones de edad y crecimiento como una herramienta para la identificación de stocks, menciona que los peces capturados en Hawái pueden provenir de las mismas poblaciones que los peces que se capturan en Ecuador, Colombia y Panamá, sugiriendo la existencia de al menos dos stocks en el Pacífico. También un estudio comparativo en tallas de dorados capturados en la zona del Pacífico Nororiental en tres épocas del año sugieren la presencia de distintas subpoblaciones (Madrid & Beltrán-Pimienta, 2001).

Estudios de marcado en el Pacífico occidental han mostrado que la especie tiende a ser residente en un área limitada, ya que la mayoría de los individuos que se marcaron alrededor de objetos flotantes fueron recapturados cerca de los mismos. Los aspectos conductuales y demográficos en tiempo y espacio definidos favorecen la existencia de una estructura poblacional que puede presentar heterogeneidad genética (Kingsford & Defries, 1999).

A nivel mundial la aplicación de técnicas basadas en la microquímica de otolitos ha sido ampliamente utilizada para el estudio de la biología ambiental de peces y para la identificación de stocks de especies comerciales (Kerr & Campana, 2014). En la última década esta técnica se ha extendido a lo largo de Latinoamérica, aplicándose a especies marinas o anádromas de las costas de los océanos Atlántico y Pacífico (Volpedo & Fernandez -Cirelli, 2006; Volpedo *et al.*, 2007; Albuquerque *et al.*, 2010; Albuquerque *et al.*, 2012, Mai *et al.*, 2014; Avigliano *et al.*, 2016). Su implementación se basa en la premisa de que el otolito contiene un registro de los elementos presentes en el ambiente y que no existe reabsorción de los mismos (Campana, 1999; Campana *et al.*, 2000; Volpedo & Fernández-Cirelli, 2004). Este método permite obtener resultados confiables para la discriminación de stocks pesqueros debido a que la concentración de ciertos elementos e isótopos, puede usarse como un marcador biológico para discriminar entre grupos de peces que han pasado al menos parte de sus vidas en diferentes ambientes. (Campana *et al.*, 1994; Campana *et al.*, 1995; Campana, 1999; Thresher, 1999).

La composición química de las estructuras calcificadas en los organismos está influenciada por varios factores, entre los que se encuentran las características físico-químicas del agua (e.g., salinidad), las condiciones ambientales (temperatura), las fuentes alimenticias y la fisiología del pez (Kalish, 1991;

Kennedy *et al.*, 1997; Thorrold *et al.*, 1997; Campana, 1999; Secor & Rooker, 2000; Elsdon & Gillanders, 2002; Sturrock *et al.*, 2012). Sin embargo, investigaciones recientes también sugieren que las diferencias genéticas entre las poblaciones de los peces pueden ser un factor determinante en la absorción de elementos en los otolitos (Clarke *et al.*, 2011).

Las técnicas empleadas para la estimación de la composición química de los otolitos tienen la ventaja de requerir un número de muestras menor (se obtienen resultados representativos utilizando menos de 30 ejemplares) en comparación con otras técnicas tradicionales para la diferenciación de stocks. Así mismo, la preparación previa de la muestra incluye un proceso simple y la cuantificación de elementos traza tiene un alto grado de precisión y son elaboradas en un periodo de tiempo relativamente corto (Volpedo *et al.*, 2007).

La Espectroscopía Fotoelectrónica de Rayos X (XPS) es un método de análisis de superficies (capas más externas del sólido alrededor de 10nm) el cual proporciona información sobre la composición elemental, es decir, el estado químico de cada elemento, la posición de los átomos con respecto a la estructura cristalina del material, la homogeneidad superficial y permite el análisis cuantitativo y cualitativo de todos los elementos, excepto del hidrógeno (Feliu, 2010).

Por otro lado la espectrometría de masas de relación isotópica (IRMS) es una técnica especializada que se utiliza para proporcionar información sobre los orígenes geográficos, químicos y biológicos de las sustancias, debido a que depende de las abundancias y proporciones relativas de los isótopos de los elementos que componen el material (Muccio & Jackson, 2009).

La selección del "mejor" instrumento para el análisis dependerá de los elementos de interés (Campana *et al.*, 1997), ya que ningún instrumento individual mide con precisión y exactitud todos los elementos que se pretenden examinar (Thresher, 1999).

Un ejemplo de la aplicación de estas metodologías para identificación de stocks de especies comerciales es reportado por Thresher *et al.* (1994), quienes a través del equipo EPMA analizaron la composición química de los núcleos de los otolitos de *Nemadactylus macropterus* capturado en el Pacífico occidental.

EPMA detectó seis elementos en los otolitos de esta especie, que van desde Ca (aproximadamente el 40% en peso) hasta Cl y S presentes en una concentración de 100 ppm. Los elementos en el núcleo de los otolitos difirieron significativamente entre los sitios muestreados. El análisis multivariado definió los sitios geográficamente adyacentes en tres grupos, con una tasa de clasificación exitosa del 78%, por lo que se concluyó que el análisis reflejaba la estructura de la población reproductiva, y que debido a la tasa de migración entre estas poblaciones se restringía la diferenciación genética entre ellas.

En contraste, Proctor *et al.* (1995) analizaron los núcleos de los otolitos de atún (*Thunnus maccoyii*) recolectados en Nueva Zelanda, utilizando el equipo de micro-PIXE, el cual detectó una serie de elementos traza (Cu, Zn y Br) en el nivel de 1 ± 5 ppm. Sin embargo, los resultados no indicaron diferencias significativas para ningún elemento. Notaron que esto podría sugerir que todos los peces se derivan de un área de desove común, lo que concuerda con la biología conocida de la especie. Esto implica que el medio ambiente pelágico es lo suficientemente homogéneo como para que las diferencias regionales en la composición sean muy pequeñas, o bien, que la deposición de los elementos examinados no sea ambientalmente significativa.

Para investigar el movimiento trasatlántico (Mar Mediterráneo y Océano Atlántico Occidental) y la conducta en el área de crianza del atún aleta azul del Atlántico (*Thunnus thynnus*), Rooker *et al.* (2008) utilizaron isótopos estables de carbono y oxígeno de los otolitos. El $\delta^{18}\text{O}$ fue mayor en el Mar Mediterráneo en relación con sus contrapartes occidentales, mientras que el $\delta^{13}\text{C}$ fue relativamente similar entre ambas áreas de crianza, y ambos isótopos mostraron variabilidad temporal. El éxito de la clasificación para las zonas de crianza oriental y occidental fue relativamente alto (87%) indicando que aproximadamente el 60% del atún aleta azul juvenil provenía de las costas de Estados Unidos, por lo que los hallazgos de este estudio sugieren que estas pesquerías dependen de los migrantes del Mar Mediterráneo.

3. JUSTIFICACIÓN

Para evaluar un stock es necesario conocer aspectos tanto de su biología básica, como su respuesta a la pesca y a las variables ambientales en el espacio y el tiempo. El dorado tiene gran importancia ecológica por ser depredador tope afectando el ecosistema a través de la cadena alimenticia, e importancia económica por ser componente importante de distintas pesquerías, tanto ribereña como deportiva (Beltrán, 1995; Carrasco-Águila *et al.*, 2012; Damián-Guillén *et al.*, 2010; Miranda-Carrillo *et al.*, 2010). Sus características biológicas (crecimiento acelerado, fecundidad alta, talla de primera madurez corta, etc.) convierten al dorado en un blanco atractivo para la explotación, y hacen suponer que puede soportar una pesquería comercial dirigida (Kraul, 1999; Zuñiga-Flores, 2009).

Aunque los resultados no son concluyentes, existe evidencia de diferencias genéticas dentro de su amplia distribución, lo cual indica que la especie puede presentar subpoblaciones a lo largo de su distribución (Oxenford & Hunte, 1986; Cimmaruta *et al.*, 1998), sugiriendo que habrá la necesidad de diferentes esquemas en su administración pesquera. Téllez y Caballero (2014) sugieren que podrían existir dos sub-poblaciones, una costera y otra oceánica para esta región.

Debido a que la identificación y discriminación de stocks es un campo interdisciplinario, es necesario llevar a cabo diferentes estudios como el presente que permitan reconocer los marcadores naturales de los peces, como es la huella química de los otolitos, con lo cual se podría coadyuvar a entender la dinámica poblacional de esta especie en el OPO y sobre la base de esto proporcionar elementos técnicos y científicos necesarios para establecer las medidas de regulación más adecuadas.

4. HIPÓTESIS

La composición química del núcleo de los otolitos sagittae de *Coryphaena hippurus* capturado en regiones diferentes de los Océanos Pacífico Oriental y Atlántico, permitirá distinguir las singularidades de los ambientes natales y de crianza de los peces, propiedad que coadyuvará la diferenciación de posibles stocks.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Estimar la composición química del núcleo de los otolitos sagittae de *Coryphaena hippurus*, para establecer si esta metodología puede implementarse para discriminar stocks de esta especie en el Océano Pacífico Oriental.

5.2 Objetivos específicos

- Proponer las metodologías adecuadas para estimar la composición química del núcleo del otolito sagitta de *Coryphaena hippurus*.
- Comparar la “Huella Química” entre stocks de dorado incuestionables (Océano Pacífico Oriental y Océano Atlántico).
- Comparar la “Huella Química” de la especie a partir de muestras provenientes de regiones diferentes del Océano Pacífico Oriental (Cabo San Luchas, BCS, México; Golfo Dulce, Costa Rica y Manta, Ecuador).

6. ÁREAS DE ESTUDIO.

En la figura 1 se señalan las cuatro localidades donde fue capturado *C. hippurus*, de las cuales tres se encuentran en el Pacífico Oriental y la última localidad en la costa centroamericana del Atlántico Occidental.

6.1 Océano Pacífico Oriental

- Cabo San Lucas, Baja California Sur, México ($22^{\circ}53'23''\text{N}$, $109^{\circ}54'56''\text{O}$)
- Manta, Ecuador ($0^{\circ}57'43.6''\text{S}$ $80^{\circ}42'45.7''\text{O}$).
- El Golfo Dulce, Costa Rica ($8^{\circ}35'00''\text{N}$ $83^{\circ}16'00''\text{O}$).

6.2 Océano Atlántico

- El Limón, Costa Rica ($9^{\circ}59'00''\text{N}$ $83^{\circ}02'00''\text{O}$).

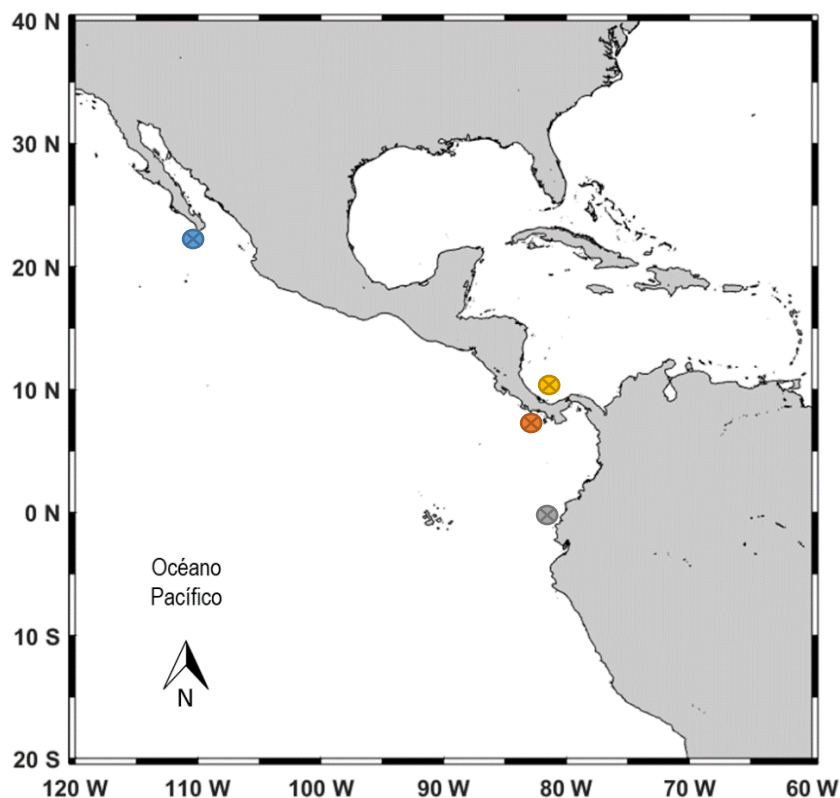


Figura 1. Áreas de captura de *Coryphaena hippurus*. (⊗) Cabo San Lucas, BCS, México; (●) El Golfo Dulce, Costa Rica; (●) Manta, Ecuador; (●) El Limón, Costa Rica.

En el OPO se definen tres tipos de masas de agua: la masa de agua Superficial Tropical, con alta temperatura y baja salinidad; la masa de agua Superficial Subtropical, que es generalmente cálida pero con temperatura variable y baja salinidad; la masa de agua Superficial Ecuatorial, que parece ser una lengüeta de agua fría con salinidad moderada; y las aguas superficiales de la Corriente de California y Humboldt, las cuales son frías y con baja salinidad (Wyrtki, 1966). Las corrientes fronterizas del este del Pacífico son las de Perú y California, así como las Corrientes Ecuatoriales Norte y Sur, la Subcorriente Ecuatorial y la Contracorriente Norecuatorial (Kessler, 2002, 2006).

El Pacífico Tropical Oriental se distingue por la fuerza del viento que está fuertemente influenciada por la topografía del continente americano. La circulación del agua se caracteriza por remolinos permanentes y la surgencia significativa en el ecuador (Kessler, 2006).

El viento asociado con la Zona de Convergencia Intertropical produce crestas largas y depresiones que unen las corrientes del Pacífico central (Corriente Ecuatorial del Sur, Contracorriente Norecuatorial y Corriente Norecuatorial) (Kessler, 2006).

El Domo de Costa Rica está asociado a la acción conjunta del movimiento de la Contracorriente Norecuatorial, la Corriente Costera de Costa Rica y la Corriente Ecuatorial Norte y a la circulación ciclónica en la Bahía de Panamá con el desplazamiento hacia el norte de la Zona de Convergencia Intertropical (Fiedler, 2002; Kessler, 2006).

La Corriente Ecuatorial del Sur fluye desde regiones costeras del norte de Perú y Ecuador hacia el Pacífico Occidental (Fiedler, 2002). La divergencia del transporte de Ekman desplaza el agua de la superficie hacia el oeste y hacia los hemisferios produciendo el sistema de surgencia ecuatorial. El afloramiento drena cada vez más el agua e impulsa las capas superiores de la Corriente de Cromwell a medida que fluye hacia el este (Kessler, 2006).

En la figura 2 se puede observar el flujo y localización de las corrientes, así como la temperatura superficial promedio del OPO.

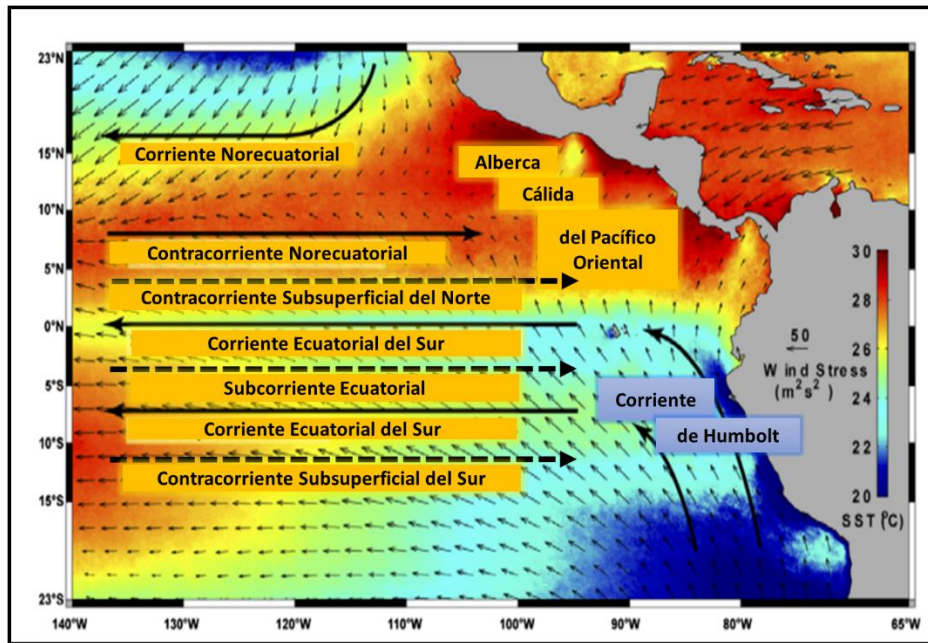


Figura 2. Esquema del flujo de corrientes y promedio de temperatura en el Océano Pacífico Oriental (Kessler, 2006; Pennington *et al.*, 2006).

En el Océano Atlántico Occidental, específicamente en el Mar Caribe, el agua es una mezcla de derrames amazónicos y del río Orinoco, aunado con aguas superficiales del Atlántico ecuatorial (Corriente de Guyana). Está influenciado por la Corriente del Norte de Brasil y la Corriente Ecuatorial Norte, moviéndose a través de pasajes entre las islas de las Antillas, además del flujo de agua superficial de la Corriente del Caribe hacia el oeste (Hellweger & Gordon, 2002).

7. MATERIAL Y MÉTODOS

7.1 Obtención de los otolitos sagittae

Las muestras de Costa Rica (El Golfo Dulce y El Limón) y Ecuador (Manta) se obtuvieron de organismos capturados por la flota comercial, y los de México (Cabo San Lucas) por la flota de pesca deportiva a través del desarrollo de los proyectos SIP20170615 y SIP20180525. De cada pez se obtuvieron las mediciones de longitud furcal y peso, y se registró el sexo.

Posteriormente se realizó un corte transversal en la cabeza del organismo, se localizaron los otolitos y se extrajeron con ayuda de unas pinzas (Figura 3). Los otolitos fueron limpiados con agua destilada y almacenados en viales.

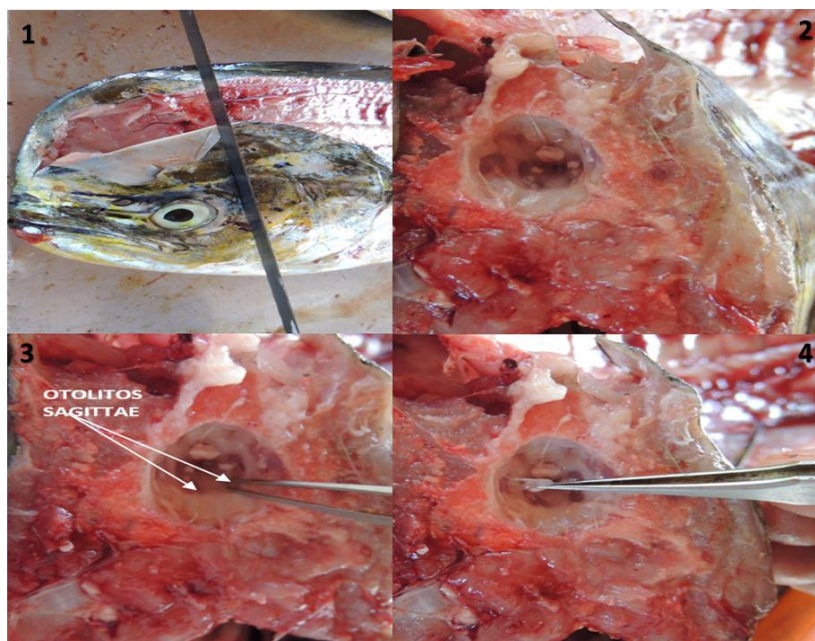


Figura 3. (1) Corte longitudinal de la cabeza de Dorado. (2 y 3) Localización de los otolitos. (3) Extracción de los otolitos.

7.2 Análisis químico por Espectroscopía de Fotoelectrones Inducidos por Rayos X (XPS).

Para determinar la huella química de los otolitos por Espectroscopía de Fotoelectrones Inducidos por Rayos X se utilizó un espectrómetro marca ThermoFisher Scientific, modelo K-Alpha, el cual cuenta con una fuente de rayos X de Alka monocromada o monoenergizada. Previo al análisis, los otolitos completos se fijaron en la platina del equipo empleando película adhesiva de Cu de doble cara y se colocaron en la pre-cámara del equipo a una presión de vacío de 10^{-009} mBar por 12 horas. Posteriormente fueron transferidos a la cámara de análisis del equipo, dejando estabilizar la presión por espacio de 2 horas hasta recuperar la presión nominal de $10^{-0.010}$ mBar. Transcurrido el tiempo se inició el análisis de las estructuras (si había efecto de carga se utilizó el sistema de compensación de carga Flood gun).

Se utilizó un tamaño de haz, Spot Size, de 150 micras, el cual se dirigió directamente al núcleo de los otolitos. En el área de análisis del otolito se obtuvieron los espectros generales y los de alta resolución para los elementos Ca, C, O, Mg, Sr, S, Si, P y Na. La energía de paso que fue empleada para obtener los espectros generales y de alta resolución fue de 200 y 40 eV, respectivamente. A partir de los espectros de cada una de las muestras se realizó la identificación y la cuantificación elemental con ayuda del programa Advantage v9.8.

7.3 Análisis químico por Espectrometría de masas de Isótopos Estables

Para determinar la composición isotópica, a cada otolito, se le extrajo el núcleo y estos fueron pesados en una microbalanza (marca Mettler Toledo, modelo MX5). El núcleo se extrajo con ayuda de un capilar hueco ajustado a una jeringa, se colocó en un vial y se limpiaron con agua destilada. Finalmente se dejaron secar y se colocaron en viales de polietileno previamente etiquetados.

Posteriormente, los núcleos, así como los estándares (NBS19-Limestone) se colocaron en tubos de ensayo (con tapa de rosca y de superficie de caucho de butilo para inyección) y después se transportaron a la bandeja de muestras (la

cual debe estar a 73 °C). Se llevó a cabo la configuración del instrumento para realizar la purga (GasBench + PAL Flush Fill viales con helio) aproximadamente por 6 minutos. Una vez transcurrido el tiempo, se les añadió 0.5 ml de ácido fosfórico A.C.S. (marca Fermont) a cada tubo y se configuró el equipo para el proceso de análisis (tiempo de reacción de 60 minutos; presión de 13-14 psi en el medidor GasBench; presión de 50 psi en el regulador del tanque; temperatura del bloque de muestra de 73°C; temperatura de la columna capilar de 70°C; gas de referencia es CO₂; y finalmente el método de encendido y apagado CO₂_On-Off.met con una desviación estándar <0.05) con ayuda del programa ISODAT 3.0.

7.4 Análisis estadísticos

Para normalizar el contenido de los elementos en el núcleo, las unidades se transformaron a moles y se estimaron las relaciones elemento:calcio (mmol/mol) de acuerdo a lo establecido por Campana (2005).

Para observar de forma comparativa el contenido de los elementos entre las zonas estudiadas, se realizaron gráficas de barras por elemento analizado con ayuda de los programas Excel y R.

Para cada elemento cuantificado se realizó la comparación estadística entre las áreas aplicando la prueba de normalidad de Kolmogorov- Smirnov, así como la prueba de homogeneidad de varianzas de Barlett. A través de la estadística no paramétrica se utilizaron las pruebas de Mann-Whitney y Kruskal- Wallis, y para identificar la relación de similitud entre las regiones (comparación pareada), se aplicaron los análisis de Tukey y Kramer (Nemeyi) como pruebas a posteriori.

Finalmente para visualizar la segregación de las huellas químicas de los otolitos de las 4 zonas estudiadas, se realizó el análisis multivariado MANOVA (basado en la prueba de normalidad multivariada de Royston) y discriminante. Además se realizaron las pruebas de asignación predictiva para corroborar la clasificación correcta de los grupos y un dendograma para observar el grado de conexión entre ellos.

8. RESULTADOS

De Cabo San Lucas, México (**CSL**); El Golfo Dulce, Costa Rica (**CR**) y Manta, Ecuador (**EC**) fueron colectados 10 pares de los otolitos sagittae, y 9 pares de otolitos de peces del Océano Atlántico (**OA**) provenientes de El Limón, Costa Rica.

Debido a que XPS es una técnica analítica no destructiva, un solo otolito del par fue requerido para ambos procesos analíticos (elemental e isotópica).

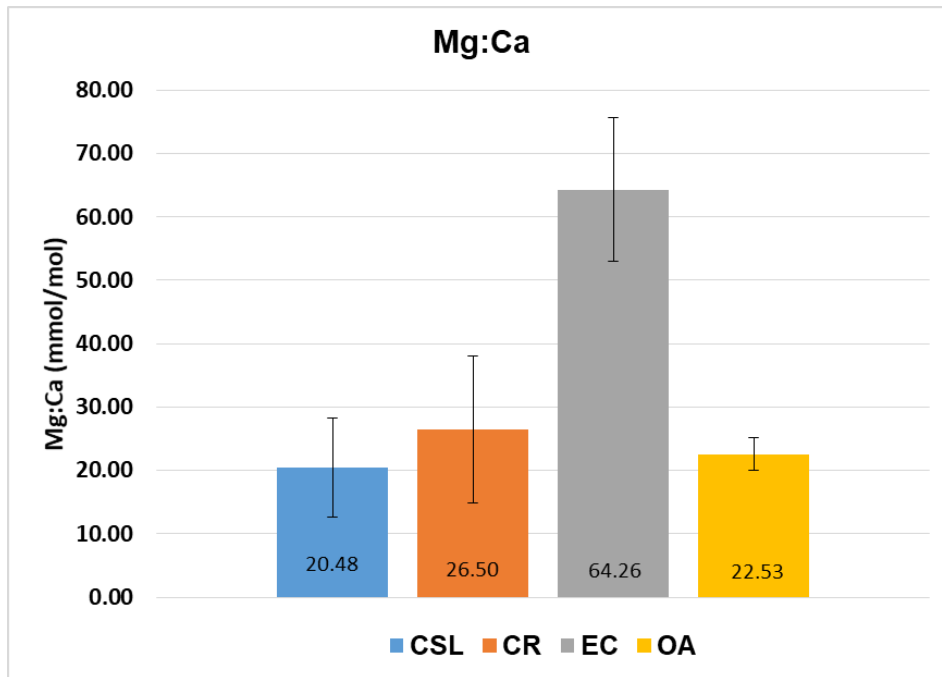
8.1 Análisis químico por Espectroscopía de Fotoelectrones Inducidos por Rayos X (XPS)

De los espectros generales se obtuvieron los porcentajes en peso de los elementos Ca, C, O, Mg, Sr, S, Si, P y Na.

Los valores de cada relación elemento:calcio se representan gráficamente junto con sus desviaciones estándar en las figuras (4-7), así como los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis y la de Nemeyi.

Debido a que los elementos silicio y azufre solo se encontraron en dos de las cuatro áreas analizadas, la comparación entre ambas zonas se realizó a través de la prueba estadística de Mann-Whitney (Figuras 8 y 9).

Magnesio (Mg)



Kruskal-Wallis

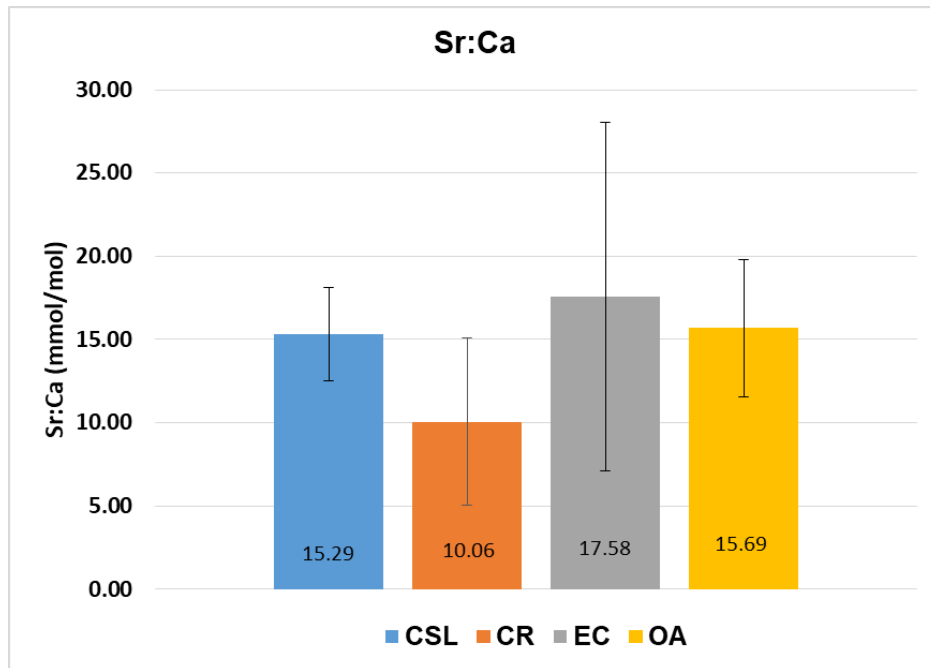
$$p = 9.9e-05$$

Test de Tukey y Kramer

	CR	CSL	EC
CSL	0.915	-	-
EC	0.004	0.002	-
OA	0.908	1	0.0007

Figura 4. Comparación gráfica de las relaciones Mg:Ca de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México (**CSL**); El Golfo Dulce, Costa Rica (**CR**); Manta, Ecuador (**EC**); El Limón, Costa Rica (**OA**)). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado de los valores de probabilidad de las pruebas de Kruskal-Wallis y Test de Turkey y Kramer.

Estroncio (Sr)

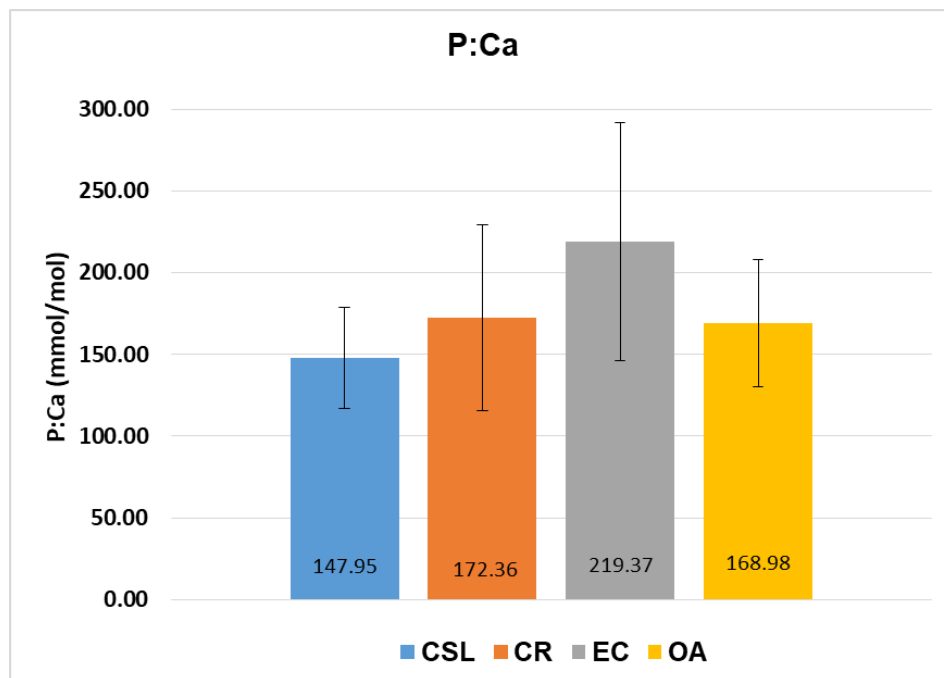


Kruskal-Wallis
 $p = 0.08$

Test de Tukey y Kramer			
	CR	CSL	EC
CSL	0.180	-	-
EC	0.130	1.000	-
OA	0.190	1.000	1.000

Figura 5. Comparación gráfica de las relaciones Sr:Ca de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México (**CSL**); El Golfo Dulce, Costa Rica (**CR**); Manta, Ecuador (**EC**); El Limón, Costa Rica (**OA**)). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado de los valores de probabilidad de las pruebas de Kruskal-Wallis y Test de Turkey y Kramer.

Fósforo (P)

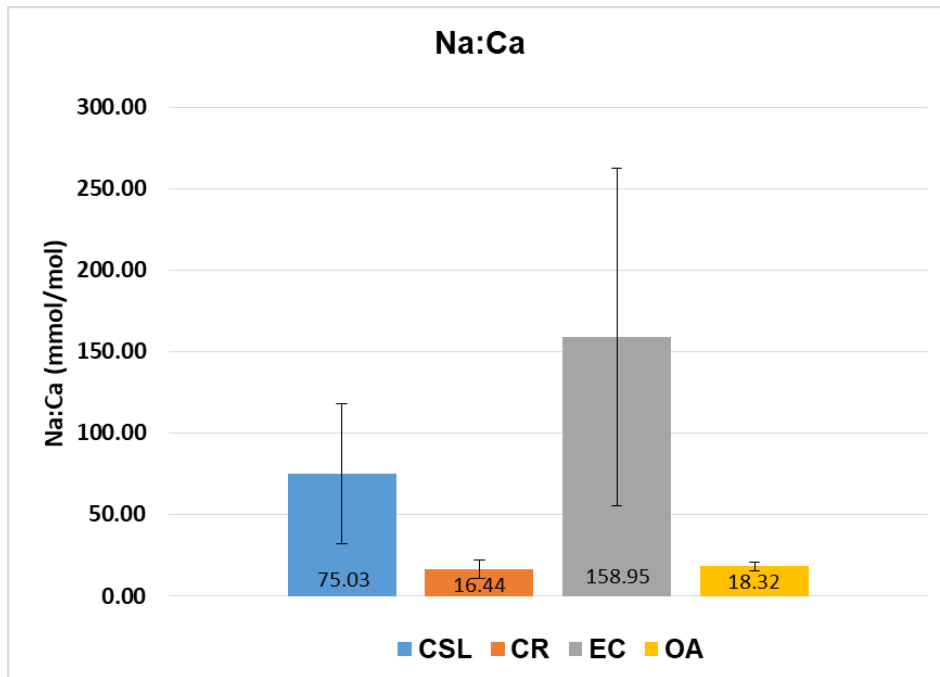


Kruskal-Wallis
 $p = 0.07$

Test de Tukey y Kramer			
	CR	CSL	EC
CSL	0.880	-	-
EC	0.240	0.070	-
OA	1.000	0.900	0.280

Figura 6. Comparación gráfica de las relaciones P:Ca de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México (**CSL**); El Golfo Dulce, Costa Rica (**CR**); Manta, Ecuador (**EC**); El Limón, Costa Rica (**OA**)). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado de los valores de probabilidad de las pruebas de Kruskal-Wallis y Test de Turkey y Kramer.

Sodio (Na)

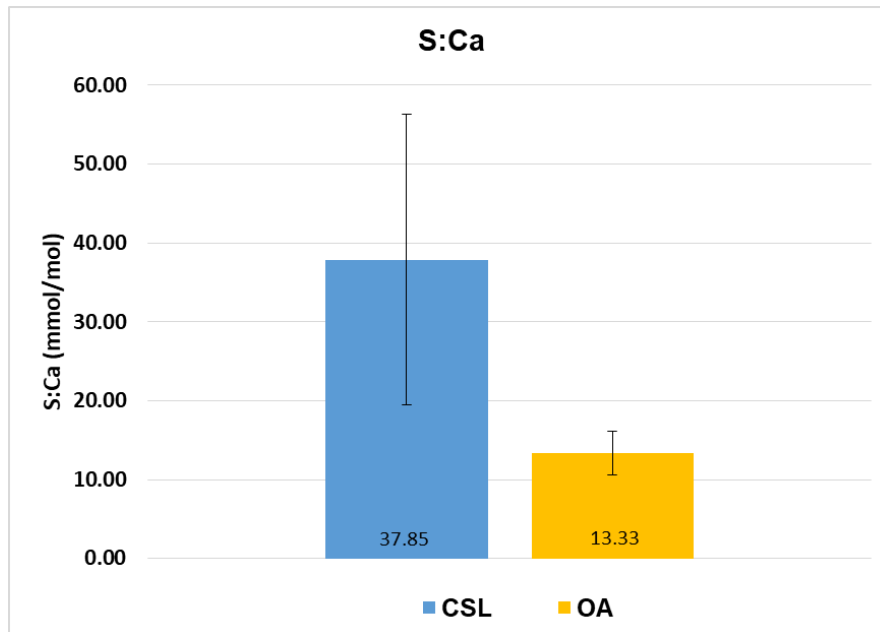


Kruskal-Wallis
 $p = 1.1E-05$

Test de Tukey y Kramer			
	CR	CSL	EC
CSL	0.010	-	-
EC	8E-05	0.824	-
OA	0.974	0.048	0.001

Figura 7. Comparación gráfica de las relaciones Na:Ca de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México (**CSL**); El Golfo Dulce, Costa Rica (**CR**); Manta, Ecuador (**EC**); El Limón, Costa Rica (**OA**)). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado de los valores de probabilidad de las pruebas de Kruskal-Wallis y Test de Turkey y Kramer.

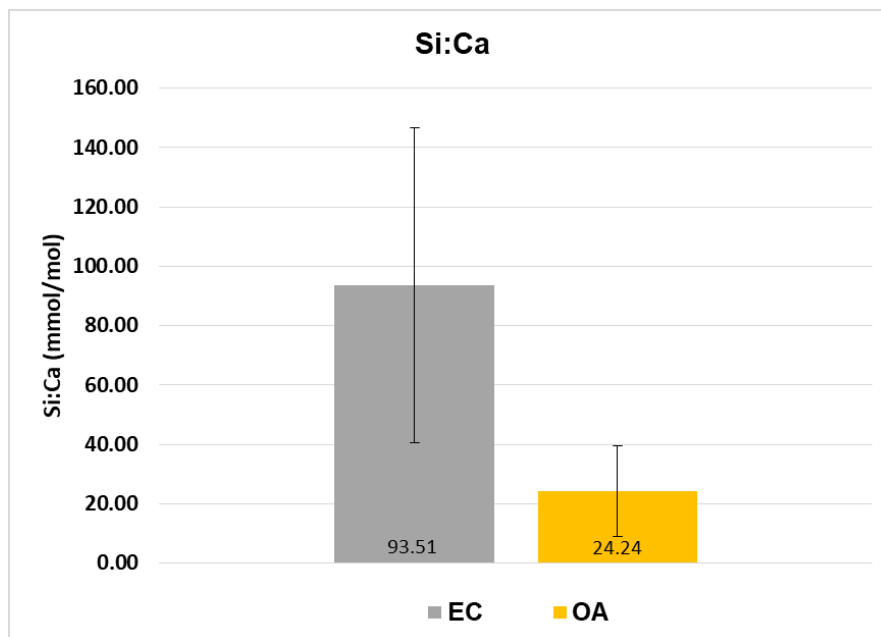
Azufre (S)



Mann-Whitney
$p = 0.0002$

Figura 8. Comparación gráfica de las relaciones S:Ca de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México (**CSL**); El Golfo Dulce, Costa Rica (**CR**); Manta, Ecuador (**EC**); El Limón, Costa Rica (**OA**)). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado del valor de probabilidad de la prueba estadística de Mann-Whitney.

Silicio (Si)



Mann-Whitney
$p = 0.003$

Figura 9. Comparación gráfica de las relaciones Si:Ca de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México **(CSL)**; El Golfo Dulce, Costa Rica **(CR)**; Manta, Ecuador **(EC)**; El Limón, Costa Rica **(OA)**). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado del valor de probabilidad de la prueba estadística de Mann-Whitney.

En las gráficas de las relaciones elementales y las pruebas estadísticas podemos observar lo siguiente:

- Cabo San Lucas, México (**CSL**): En esta zona la concentración de estroncio presentó una alta similitud con la del OA. Además, estas dos áreas fueron las únicas donde se encontró azufre, con diferencias significativas entre ellas, donde CSL tuvo mayor concentración y variabilidad. En cuanto al sodio, los resultados indicaron que las concentraciones en CSL y Ecuador presentaron similitud. El magnesio y el fósforo, en esta área mostraron concentraciones equiparables a las de CR y OA.
- Costa Rica (**CR**): El estroncio en esta zona tuvo la mayor segregación con respecto a las otras tres. Las concentraciones de los elementos magnesio y fósforo son semejantes a las estimadas en CSL y OA. Finalmente, el sodio, no presentó diferencias significativas entre las áreas de CR y OA.
- Ecuador (**EC**): Esta zona exhibió la mayor concentración de todos los elementos con respecto a las otras tres. Para los elementos magnesio, fósforo y sodio, EC tuvo la mayor diferencia y variabilidad, además de que fue la única del OPO que presentó el elemento silicio.
- El Limón, Costa Rica (**Océano Atlántico, OA**): En esta región las concentraciones de magnesio y fósforo fueron equiparables a las de CSL y CR. La concentración del elemento estroncio fue similar a la concentración estimada para la zona de CSL, de igual manera la concentración de sodio a la de CR. Finalmente cabe destacar que OA fue la única zona de las cuatro estudiadas que presentó tanto azufre como silicio.

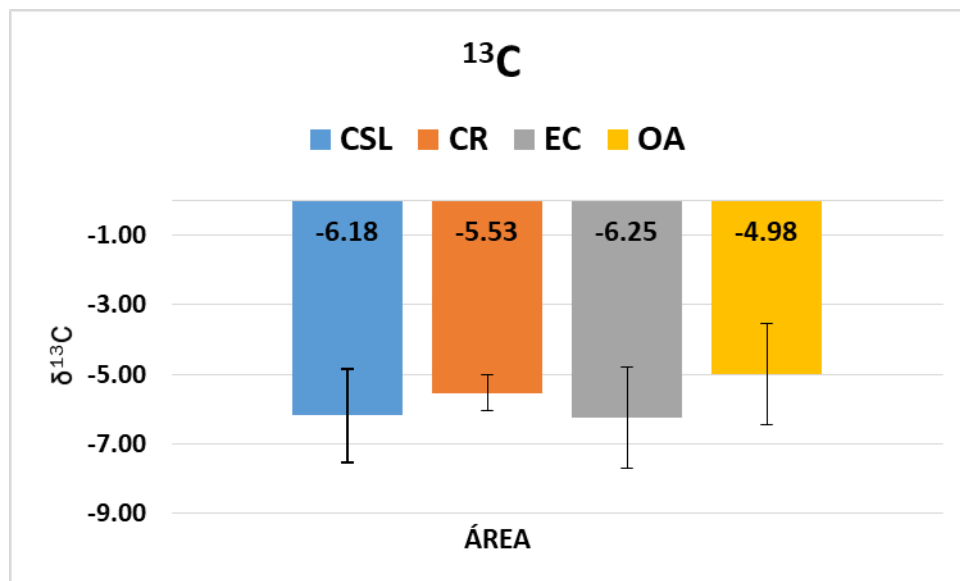
De los cuatro elementos (Mg, P, Sr, y Na) que se presentaron en las cuatro regiones (CSL, CR, EC y OA), sólo las relaciones Mg:Ca y Na:Ca fueron significativamente diferentes. Por otro lado, el azufre que se presentó solamente en CSL y el silicio que se registró únicamente en EC, y ambos elementos presentaron diferencias significativas con respecto a las concentraciones estimadas en el OA.

En general, se observó un patrón latitudinal descendente del ecuador hacia el norte en los elementos de magnesio y fósforo en las localidades del OPO, mientras que para los elementos estroncio y sodio, la región de CR tuvo una concentración significativamente menor con respecto a las otras dos zonas del OPO analizadas.

8.2 Espectrometría de Masas de Isótopos Estables (IRMS)

Los valores promedio de cada relación isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ con sus respectivas desviaciones estándar para cada zona analizada se presentan en las figuras 10-11. Posteriormente en la figura 12 se muestra la gráfica de la relación de ambos isótopos donde se incluyen sus respectivas desviaciones estándar de cada uno por zona.

Isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)



Kruskal-Wallis

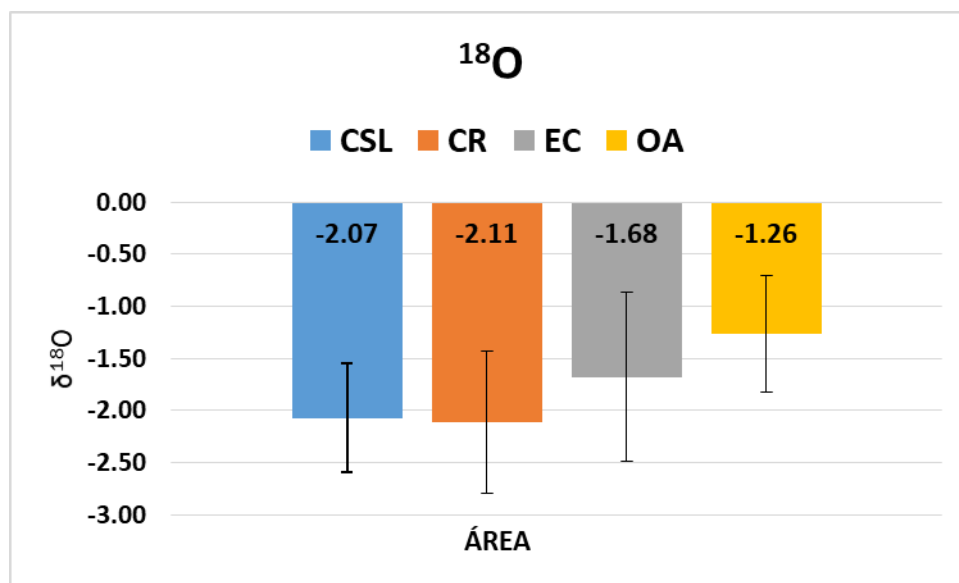
$p = 0.02$

Test de Tukey y Kramer

	CR	CSL	EC
CSL	0.696	-	-
EC	0.961	0.918	-
OA	0.181	0.020	0.063

Figura 10. Comparación gráfica de las razones isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México (**CSL**); El Golfo Dulce, Costa Rica (**CR**); Manta, Ecuador (**EC**); El Limón, Costa Rica (**OA**)). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado del valor de probabilidad de las pruebas de Kruskal-Wallis y Test de Turkey y Kramer.

Isótopos de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$)



Kruskal-Wallis

$p = 0.014$

Test de Tukey y Kramer

	CR	CSL	EC
CSL	0.977	-	-
EC	0.219	0.137	-
OA	0.072	0.044	0.927

Figura 11. Comparación gráfica de las razones isotópicas de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México (**CSL**); El Golfo Dulce, Costa Rica (**CR**); Manta, Ecuador (**EC**); El Limón, Costa Rica (**OA**)). Se presentan los valores promedio y la desviación estándar. Resultado del valor de probabilidad de las pruebas de Kruskal-Wallis y Test de Turkey y Kramer.

Relación de los isótopos $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

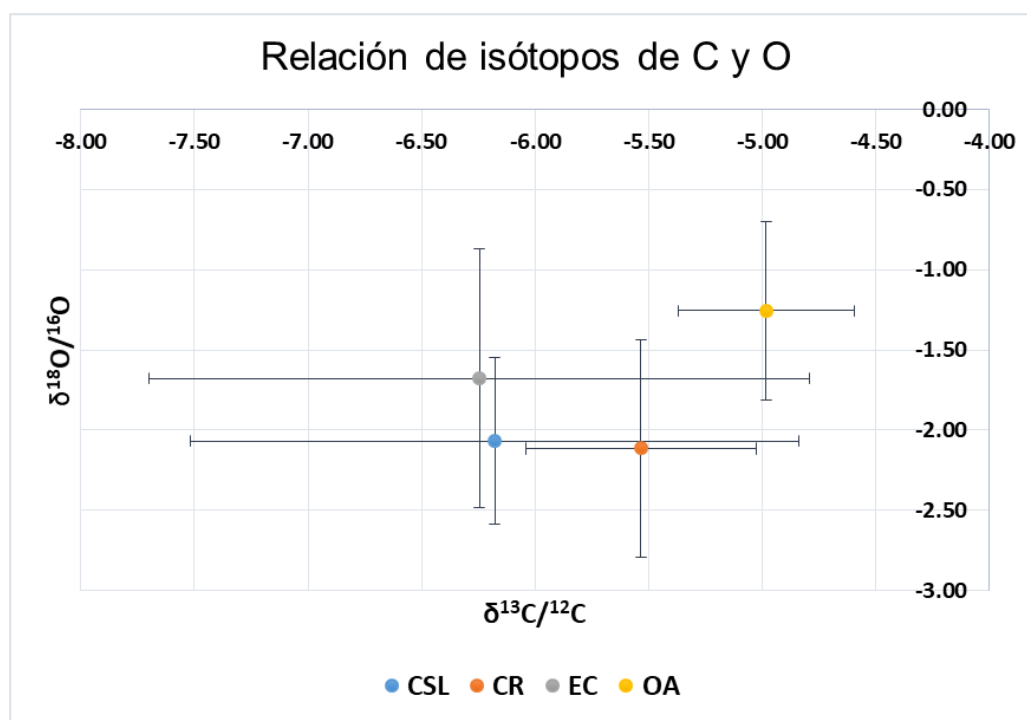


Figura 12. Comparación gráfica de los promedios y la desviación estándar de las razones isotópicas de carbono y oxígeno de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México (**CSL**); El Golfo Dulce, Costa Rica (**CR**); Manta, Ecuador (**EC**); El Limón, Costa Rica (**OA**)).

Se encontraron diferencias significativas en los valores de las razones isotópicas de carbono y oxígeno. Particularmente, las tres regiones del OPO presentaron diferencias significativas en el $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ con respecto a la localidad del OA, pero no entre ellas.

En cuanto a los isótopos de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) se observó un aparente patrón latitudinal, mostró que las razones isotópicas de las regiones de CSL y CR, así como las de EC y OA no son significativamente diferentes respectivamente.

Finalmente en la comparación de la relación de ambos isótopos, se observó un traslape en las barras de desviación estándar de las tres zonas del OPO y una

clara segregación de la zona del OA. También se pudo percibir que las regiones de CSL y EC presentan mayor semejanza entre sí con respecto a la región de CR, es decir, EC difiere en ambos isótopos con CR, y CSL sólo en el isótopo de carbono.

8.3 Análisis Multivariado, Discriminante y Dendograma

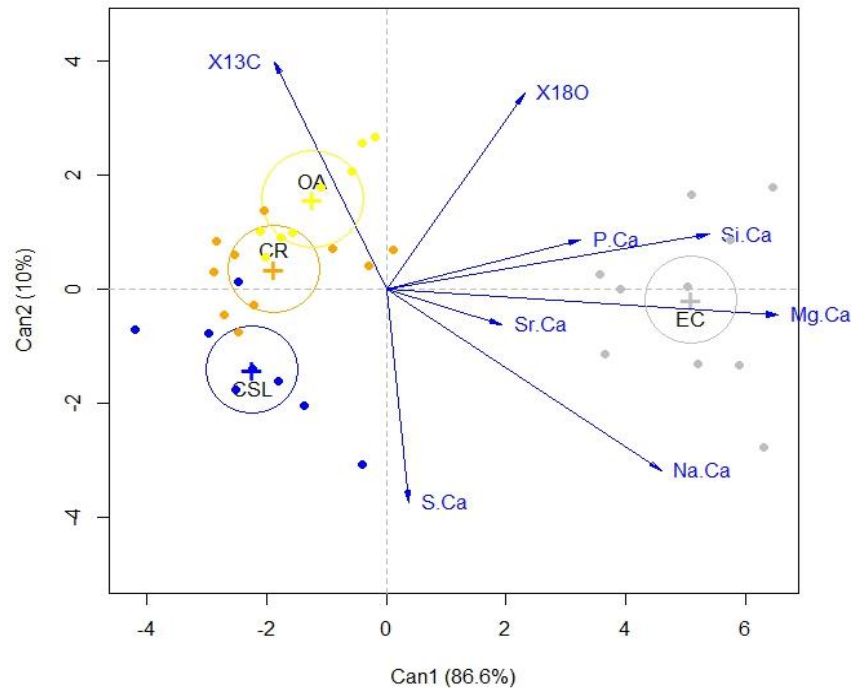
En las figuras 13 y 14 se muestran los resultados del análisis multivariado MANOVA, así como el gráfico del análisis discriminante con más del 97% de la varianza explicada en las dos primeras funciones canónicas. En la figura 13 se incluye en el análisis a las 4 áreas estudiadas y en la figura 14 sólo las áreas dentro del OPO. Para cada caso se presentan las tablas de asignación predictiva así como el porcentaje de clasificación correcta.

Posteriormente en la figura 15 se exponen los resultados de los análisis MANOVA donde se comparó cada zona del OPO con el OA. Y finalmente en la figura 16 se esquematiza el dendograma en el cual se consideraron las 4 regiones analizadas.

Análisis Discriminante de las 4 áreas

MANOVA: $p=8.29 \text{ e-}13$

(a)



(b)

Elemento:Ca	Coeficientes estándar	
	Can 1	Can 2
Mg:Ca	0.728	-0.12
Sr:Ca	0.305	0.456
P:Ca	0.328	0.517
S:Ca	-0.295	-0.486
Na:Ca	0.514	-0.858
Si:Ca	0.653	0.487
¹³ C	-0.443	0.282
¹⁸ O	0.666	0.519

(c)

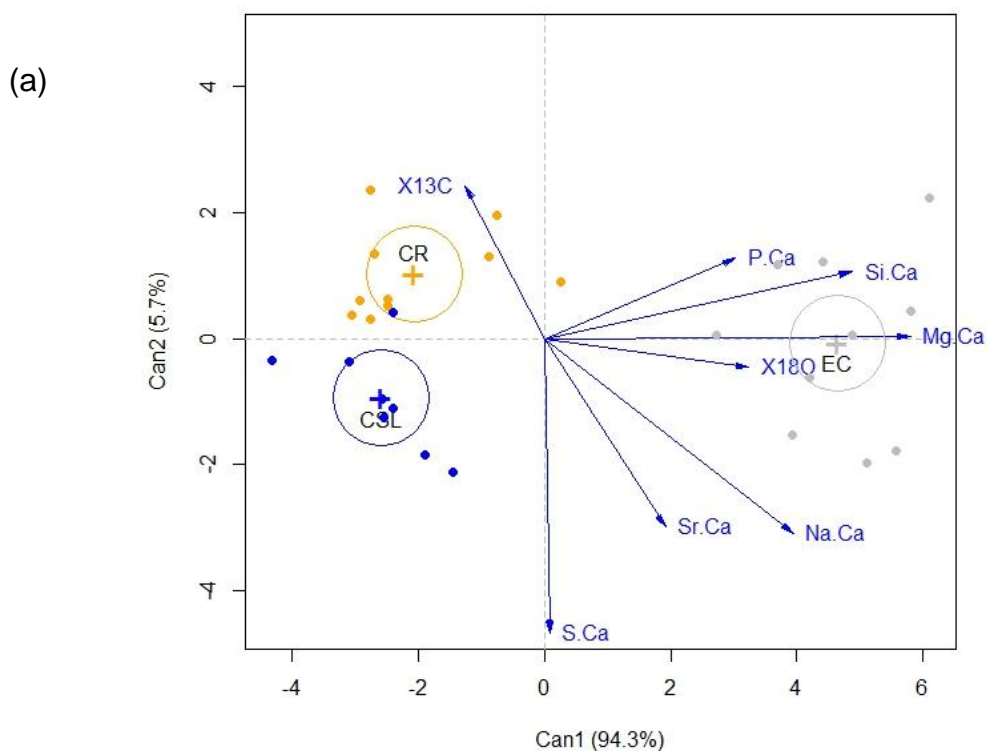
	Test de asignación predictiva			
	CR	CSL	EC	OA
CR	9	0	0	1
CSL	0	10	0	0
EC	0	0	10	0
OA	2	0	0	6

Figura 13. (a) Esquema del análisis discriminante de las 4 áreas (Cabo San Lucas, México (**CSL**); El Golfo Dulce, Costa Rica (**CR**); Manta, Ecuador (**EC**); El Limón, Costa Rica (**OA**)); (b) Resultado de los coeficientes del análisis discriminante y (c) Resultados de los valores del Test de asignación predictiva.

Porcentaje de objetos correctamente clasificados: 89.47%

Análisis Discriminante de las 3 áreas del OPO

MANOVA: $p= 5.53e-09$



(b)

Elemento:Ca	Coeficientes estándar	
	Can 1	Can 2
Mg:Ca	0.532	-0.033
Sr:Ca	0.622	0.084
P:Ca	0.772	0.522
S:Ca	-0.443	-0.677
Na:Ca	0.259	-0.687
Si:Ca	1.022	0.349
¹³ C	-0.605	0.345
¹⁸ O	0.842	0.015

(c)

	Test de asignación predictiva		
	CR	CSL	EC
CR	10	0	0
CSL	1	9	0
EC	0	0	10

Figura 14. (a) Esquema del análisis discriminante de las 3 áreas del OPO (Cabo San Lucas, México (**CSL**); El Golfo Dulce, Costa Rica (**CR**); Manta, Ecuador (**EC**)); (b) Resultado de los coeficientes estándar del análisis discriminante y (c) Resultados de los valores del Test de asignación predictiva.

Porcentaje de objetos correctamente clasificados: 99%

Análisis MANOVA entre las áreas del OPO vs O. Atlántico

MANOVA			
	CR	CSL	EC
OA	0	0	3.55E-05

Figura 15. Resultado del valor de probabilidad del análisis MANOVA entre las áreas del OPO (Cabo San Lucas, México (**CSL**); El Golfo Dulce, Costa Rica (**CR**); Manta, Ecuador (**EC**)) y el Océano Atlántico (El Limón, Costa Rica (**OA**)).

Dendograma

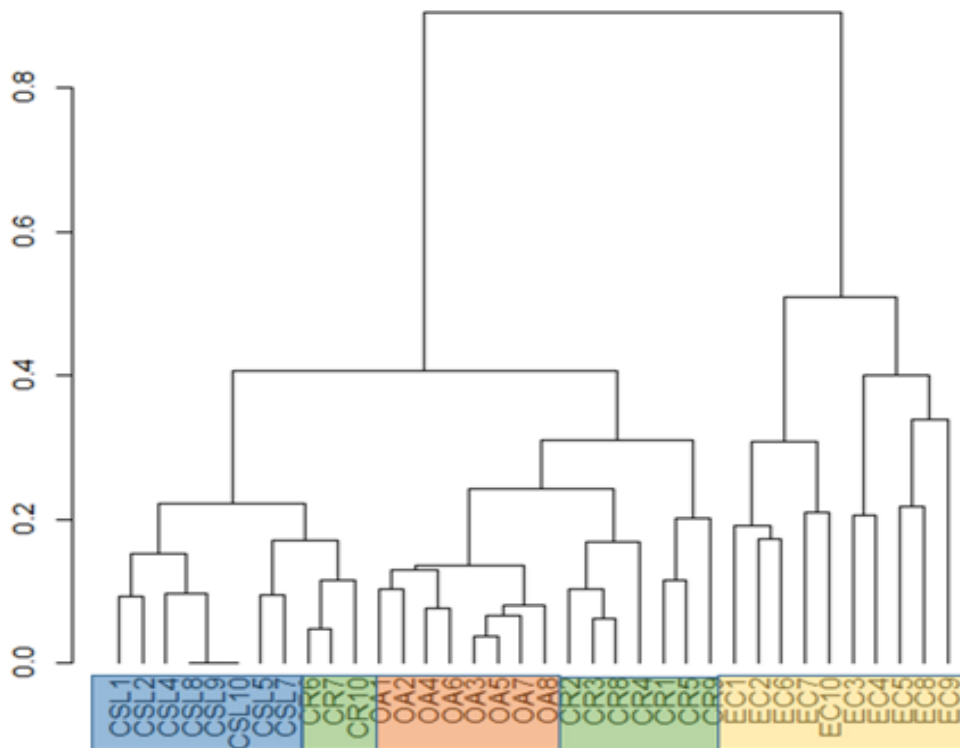


Figura 16. Dendograma de las 4 áreas analizadas (Cabo San Lucas, México (**CSL**); El Golfo Dulce, Costa Rica (**CR**); Manta, Ecuador (**EC**); El Limón, Costa Rica (**OA**)).

En el análisis discriminante que incluye las cuatro áreas se observó que los elementos magnesio, sodio y silicio, así como los isótopos de ^{18}O son los que influyen más en la discriminación de las zonas. Ecuador fue la región que tuvo una mayor separación con respecto a las otras tres, en cambio, las regiones de Costa Rica de ambos océanos presentaron traslape.

En el análisis discriminante considerando únicamente las tres regiones analizadas del OPO, se observa una separación, encabezada por Ecuador con una mayor segregación, siendo el silicio y los isótopos de ^{18}O las variables más influyentes.

Por otro lado, la comparación estadística de cada área del OPO con respecto a OA, los resultados de los análisis MANOVA mostraron diferencias significativas.

Finalmente en el esquema del dendograma se aprecian dos grandes grupos; el primero integrado por CSL, CR y OA, y el segundo por EC. Aquí es importante resaltar que las muestras provenientes de Costa Rica presentaron emparejamiento en su composición química con las del OA y una mínima relación o similitud con la región de CSL.

9. DISCUSIÓN

9.1 Propuesta metodológica para determinar la composición química de los núcleos de los otolitos sagittae de *C. hippurus*

Las estimaciones elementales se realizaron a través de los equipos de XPS e IRMS, ya que tuvieron la sensibilidad suficiente para mesurar cationes metálicos e isótopos de carbono y oxígeno. Además que de acuerdo con Campana *et al.* (1997) los instrumentos basados en láser, rayos X y espectrometría de masas son los más precisos en sus mediciones.

Cabe destacar que cada núcleo se obtenía en uno o dos trozos muy pequeños, por lo que su manipulación se facilitó y que el equipo de XPS mostró la ventaja adicional de que al ser una técnica no destructiva permitió que una misma muestra fuera analizada por ambos equipos, es decir, para el análisis de elementos e isótopos sólo fue requerido un otolito por organismo.

9.2 Comparación de la “Huella Química” entre los stocks del Océano Pacífico Oriental y el Océano Atlántico.

El estudio de la composición elemental de los otolitos para identificar y diferenciar stocks (Edmonds *et al.*, 1989; Thresher *et al.*, 1994; Severin *et al.*, 1995), es la base de los resultados aquí presentados, potencialmente factible para el dorado. Sin embargo, al utilizar el núcleo de los otolitos de peces cuyas tallas pudieran implicar o suponer que pueden provenir o haberse desarrollado en otras zonas diferentes de donde fueron capturados, dificulta la asociación directa e inequívoca a características fisicoquímicas de cualquier área de muestreo (en este estudio principalmente a áreas dentro del OPO), dada la capacidad migratoria de este organismo en respuesta a la variación ambiental tanto estacional como interanual, así como a su amplia distribución del área de desove y crianza de dorado en el OPO (Carey *et al.*, 1981; Palko *et al.*, 1982; Norton, 1999; Ortiz-Astudillo, 2013).

No obstante a lo anteriormente señalado, para propósitos de este estudio se maneja el supuesto de que el dorado presenta grupos de fidelidad geográfica a las áreas seleccionadas, dadas las condiciones favorables del ambiente para la

reproducción, alimentación y crecimiento que permiten la congregación de individuos de esta especie.

La variabilidad en la huella química en el núcleo de los otolitos de los peces capturados en áreas diferentes presentó diferencias estadísticas significativas en los análisis multivariados, lo que sugiere que los peces analizados desarrollaron sus primeras fases de vida en zonas con diferentes características fisicoquímicas entre sí.

Los elementos ponderados (Ca, Mg, Sr, S y Na) en el núcleo de los otolitos sagittae de *C. hippurus* tanto del océano Pacífico como del Atlántico están entre los elementos disueltos más abundantes en el agua de mar. Diversos estudios han demostrado que las concentraciones de los principales elementos presentes en el océano tienen una relación generalmente positiva con las concentraciones en el otolito, y que a su vez estos están en mayor proporción dentro de la red cristalina (Goldberg, 1965; Thresher, 1999).

En el océano, los elementos como Ca, Sr y Mg muestran perfiles conservadores, es decir, reflejan la salinidad ambiental la cual está íntimamente relacionada con las variables de temperatura y precipitación. En los resultados obtenidos, aunque se observó un ligero gradiente latitudinal en la relación Mg:Ca, y la diferencia entre las regiones de CSL, CR y OA no fue significativa. Lo anterior puede deberse a que un cambio de 2°C en la temperatura afecta menos del 5% la concentración de Mg en el equilibrio termodinámico aragonita-océano (Meibom *et al.*, 2007). Sin embargo Ecuador presentó la mayor concentración de Mg siendo significativamente diferente, esto puede ser efecto de las surgencias particularmente que se dan en la región, aumentando la concentración de partículas disueltas al llevar a la superficie sedimentos profundos y al ser una zona de poca precipitación lo que no favorece la dilución del agua de mar (Kessler, 2006).

La ausencia de diferencias significativas en las concentraciones del elemento estroncio puede deberse a que en el Pacífico tropical las concentraciones de dicho elemento son equiparables (De-Villiers, 1999; Povinec *et al.*, 2005).

Si bien se ha sugerido que el Sr refleja con mayor fidelidad los cambios en la salinidad que en la temperatura (Campana, 1999). Existe una controversia sobre

dicha premisa debido a la amplia gama de proporciones Sr:Ca observadas entre especies y hábitats, incluso dentro de un régimen de salinidad dado. Por lo tanto, para explicar las relaciones de Sr en función al Ca se toman en cuenta los siguientes supuestos: a) las relaciones Sr: Ca más bajas se dan principalmente en individuos de crecimiento acelerado (Sadovy & Severin, 1994); b) el efecto de la temperatura es evidente en larvas que residen en bajas temperaturas pero no en larvas de temperatura media y alta (Otake *et al.*, 1994; Tzeng, 1996); c) existe una tendencia de aumento de la relación Sr: Ca con la edad de los peces (Radtke & Targett, 1984; Radtke, 1987; Sadovy & Severin, 1992; Proctor *et al.*, 1995); d) variaciones anuales Sr: Ca que están en fase con los ciclos de temperatura (Sadovy & Severin, 1992, 1994; Fuiman & Hoff, 1995) y que la deposición de Sr no está en función de la tasa de calcificación (Kalish, 1989; Gallahar & Kingsford, 1992). El dorado cumple con los supuestos de tener un crecimiento acelerado y de que la distribución de las larvas se encuentra en temperaturas tropicales, por lo que la semejanza de las concentraciones de estroncio encontradas podría estar justificada (Oxenford, 1999; Ortiz, 2013).

Los elementos como P y Si muestran perfiles de tipo nutriente (agotamiento en la superficie con enriquecimiento a mayores profundidades en la columna de agua) (Bruland, 1983). Tal es el caso de las áreas examinadas, es decir, en la región de Costa Rica se encuentra la zona productiva del Domo de Costa Rica y por el océano Atlántico las aguas ricas en nutrientes del Orinoco, sin dejar de mencionar el fenómeno de surgencia en Ecuador y las aguas frías de la corriente de California (Hellweger & Gordon, 2002; Kessler, 2006).

En cuanto al sodio al ser el principal catión componente del agua de mar, su variabilidad puede estar relacionada con los patrones de precipitación. Es decir, en la latitud de Costa Rica, la precipitación es mayor que en la zona ecuatorial y del trópico de cáncer (Libes, 2009). Por tal motivo las bajas concentraciones encontradas en Costa Rica podría deberse a la dilución del agua de mar propiciada por la precipitación, lo cual justificaría las diferencias (CSL y EC vs CR y OA) y semejanzas (CSL y EC, así como CR y OA) encontradas en las regiones.

La razón por la cual la zona de Ecuador tuvo la mayor segregación con respecto a las demás, podría deberse a que en la región oceánica del Pacífico Tropical

oriental consta de dos subregiones (la alberca cálida y la lengüeta de aguas frías a lo largo del ecuador) que se distinguen por su hidrografía y dinámica propia (Wyrski, 1966; Longhurst, 1998).

En general las concentraciones elementales en el agua de mar varían en al menos 16 órdenes de magnitud, por lo que en aquellos elementos en los que la composición del otolito refleja la composición elemental del agua se puede esperar un amplio rango de concentraciones (Johnson *et al.*, 1992). Además, la varianza en torno a los valores medios es alta, lo que sugiere la presencia de diferencias interespecíficas de la especie, aunado a las limitaciones de las metodologías aplicadas, los factores fisicoquímicos de salinidad, pH, concentración del oxígeno disuelto, entre otros (Mayer *et al.*, 1994).

Adicionalmente se ha documentado que la concentración en el ambiente de un elemento no es necesariamente un buen indicio de su disponibilidad para el otolito. En general, los iones disueltos que están libres de ligandos son las únicas especies químicas disponibles para ser absorbidas por las branquias o el intestino (Knezovich, 1994). Además de que para los peces las concentraciones plasmáticas de Ca y otros iones principales son aproximadamente un tercio de las aguas marinas (Olsson *et al.*, 2008).

Por otro lado, los resultados de las razones isotópicas de ^{13}C están dentro de los valores reportados para los carbonatos de los otolitos, que va desde -9 a +1‰ (Romanek *et al.*, 1992). Las similitudes entre las muestras del OPO y la diferencia con la del OA puede deberse a que se ha observado que la dieta, la ontogenia y la genética afectan hasta cierto punto la composición química de los otolitos (Thorrold & Swearer, 2009).

Las similitudes de la huella isotópica de ^{13}C podría sugerir que las larvas se alimentan de las mismas presas (Gutiérrez *et al.*, 2012; Aires-da-Silva *et al.*, 2014). Sin embargo los organismos capturados en la región del OA, al tener una ontogenia y una dieta distinta, la huella isotópica debiera diferir con la del océano Pacífico. Cabe mencionar que específicamente para estudios de delimitación de stocks, se deben tener en cuenta que los peces pueden ocupar el mismo hábitat pero alimentarse de presas diferentes, y que dicha alteración hacia niveles

tróficos superiores promoverán el enriquecimiento del $\delta^{13}\text{C}$ en los otolitos (Gray, 2002).

Finalmente las diferencias encontradas en los $\delta^{18}\text{O}$ recaen en que este isótopo guarda una relación estrecha con la temperatura, la precipitación y por ende la concentración de oxígeno disuelto en el agua de mar (Aggarwal & Kawamura, 2008). Diversos reportes indican que la mayor concentración de oxígeno disuelto se encuentra a latitudes bajas en el océano Atlántico, así como la precipitación en las regiones de Costa Rica y CSL presentan $\delta^{18}\text{O}$ similares y difieren con el reportado para Ecuador (Aggarwal & Kawamura, 2008; Libes, 2009).

En este trabajo, la comparación de las huellas químicas entre cada una de las áreas del océano Pacífico con la del Atlántico mostraron diferencias significativas. Como se había mencionado, cada huella química es resultado de las variables intrínsecas y externas del organismo, sin embargo el grado en que dichos factores afectan la captación elemental en los otolitos permanece parcialmente sin resolver (Campana, 2005; Tanner *et al.*, 2016).

9.3 Comparación de la “Huella Química” entre muestras provenientes del Océano Pacífico Oriental

Los elementos se cuantificaron a través del análisis químico del núcleo de los otolitos sagittae de dorado, por lo que dichas estimaciones se refieren a los primeros meses de vida de los organismos, sobre todo considerando que el dorado llega a alcanzar de 40 a 60 cm de longitud furcal en edades de 0.2 a 0.6 años (Morales-Nin *et al.*, 1999). Además, los resultados de las pruebas multivariadas, así como de las representaciones gráficas del análisis de discriminantes y de cluster, arrojaron diferencias significativas entre las tres zonas estudiadas del OPO, por lo que esta segregación recaería en las características intrínsecas y extrínsecas de la etapa larval de dorado.

Como se mencionó anteriormente, los estudios genéticos aplicados a lo largo del Pacífico oriental han mostrado que podría haber alguna estructura genética en su distribución, lo cual influye de manera directa en la absorción de elementos e isótopos en los otolitos (Campana, 2005; Rocha-Olivares *et al.*, 2006).

La distribución espacial de las larvas de dorado, aunque muy amplia, es irregular o en agregaciones, y estas agregaciones se han localizado en aguas costeras del sur de Costa Rica, Colombia y Panamá (Ortiz, 2013). Una de las principales características de esta zona es que está influenciada por la Corriente Costera de Costa Rica y a la vez se llevan a cabo procesos locales propios del Domo de Costa Rica, lo cual pudiera estar permitiendo que las larvas sean retenidas o concentradas en torno a este fenómeno (Kessler, 2006).

De igual manera se han localizado centros de concentración larval ubicados en aguas oceánicas en la zona ecuatorial (Kent *et al.*, 2013), las cuales pudieran estar siendo afectadas por la Corriente Surecuatorial que fluye desde regiones costeras del norte de Perú y Ecuador hacia el Pacífico Occidental, de tal forma que las larvas estarían siendo desplazadas por esta corriente hacia el occidente (Fiedler, 2002; Kessler, 2006).

Por otro lado en el Pacífico Nororiental se registró que la mayor concentración de larvas de *C. hippurus* se ubicó en aguas del Golfo de California frente a las costas de Sinaloa (Sánchez, 2008).

Todo lo anterior puede ser reflejado en la composición química de los otolitos de dorado bajo el supuesto de que las larvas pueden permanecer el tiempo suficiente para que las características fisicoquímicas del entorno (retención de larvas debido a los fenómenos de mesoescala) así como su alimentación restringida y genética intervengan en el desarrollo del organismo.

Además, dado que *C. hippurus* es una especie altamente migratoria, también tiene rasgos hogareños restringidos, los cuales también pueden favorecer la existencia de una estructura poblacional en stocks diferenciados (Beltrán-Pimienta, 2000). Es decir, la capacidad de regresar al lugar de desove puede permitir que los organismos capturados en las áreas de estudio efectivamente hayan nacido ahí, a pesar de que en su etapa adulta hayan migrado a otras regiones distantes. Lo anterior respalda los resultados encontrados en este trabajo, en el cual se encontraron diferencias significativas en las huellas químicas de las zonas examinadas.

10. CONCLUSIONES

- La variabilidad en la huella química asociada a la localidad geográfica de captura de dorado presentaron diferencias significativas en los análisis multivariados, lo que sugiere que los peces analizados desarrollaron sus primeras fases de vida en zonas con características fisicoquímicas heterogéneas entre sí.
- Los resultados sugieren variabilidad en la huella química asociada a la localidad geográfica de captura del dorado, lo que podría coadyuvar para la identificación y discriminación de stocks de dorado en el OPO.
- La metodología propuesta resultó ser adecuada para el análisis de la composición química de los núcleos de los otolitos sagittae de dorado (*C. hippurus*) a través de los equipos de XPS e IRMS, ya que estos equipos tuvieron la sensibilidad necesaria para cuantificar nueve elementos de los cuales de dos ellos se obtuvieron las razones isotópicas (C y O).

11. RECOMENDACIONES

- Comparar la huella química de larvas o juveniles capturados en el mismo lugar donde se obtuvieron los adultos. De esta manera, se podría estimar si el stock que se explota en ese lugar se reproduce en el mismo, y por lo tanto coadyuvar a la discriminación de stocks de esta especie en zonas aledañas del Pacífico Oriental.
- Realizar muestreos del agua de mar donde son capturados los organismos, esto para tener un punto de referencia sobre las concentraciones elementales estimadas.

Las recomendaciones anteriores también podrían brindar información sobre el proceso de calcificación e intercambio iónico que se da en los otolitos, ya que dependiendo de los resultados se podría inferir si este proceso es fiel a la variabilidad ambiental o si la fisiología propia del dorado influye en la deposición de los carbonatos y en qué grado.

12. BIBLIOGRAFÍA

Abaunza, P., Murta, A. G., Campbell, N., Cimmaruta, R., Comesaña, A. S., Dahle, G. & Magoulas, A. 2008. Stock identity of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the Northeast Atlantic and Mediterranean Sea: Integrating the results from different stock identification approaches. *Fisheries Research*, 89(2), 196-209.

Aggarwal, S. G., & Kawamura, K. 2008. Molecular distributions and stable carbon isotopic compositions of dicarboxylic acids and related compounds in aerosols from Sapporo, Japan: Implications for photochemical aging during long-range atmospheric transport. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D14).

Aires-da-Silva, A., Lennert-Cody, C.E., Maunder, M.N., Román-Verdesoto, M., Minte-Vera, C., Vogel, N.W., Martínez-Ortiz, J., Carvajal, J.M., Guerrero, P.X., and Sondheimer, F. 2014. Preliminary results from IATTC collaborative research activities on dorado in the eastern Pacific Ocean and future research plan. Document SAC-05-11b. Inter-American Tropical Tuna Commission, Scientific Advisory Committee, Fifth Meeting: 1-27.

Albuquerque, C. Q. D., Miekeley, N., & Muelbert, J. H. 2010. Whitemouth croaker, *Micropogonias furnieri*, trapped in a freshwater coastal lagoon: a natural comparison of freshwater and marine influences on otolith chemistry. *Neotropical Ichthyology*, 8(2), 311-320.

Albuquerque, C. Q., Miekeley, N., Muelbert, J. H., Walther, B. D., & Jaureguizar, A. J. 2012. Estuarine dependency in a marine fish evaluated with otolith chemistry. *Marine Biology*, 159(10), 2229-2239.

Avigliano, E., Jawad, L. A., & Volpedo, A. V. 2016. Assessment of the morphometry of saccular otoliths as a tool to identify triplefin species (Tripterygiidae). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96(5), 1167-1180.

Beardsley, G.L. Jr. 1967. Age, growth, and reproduction of the dolphin, *Coryphaena hippurus*, in the Straits of Florida. *Copeia*, (2): 441-451.

- Begg, G. A., & Waldman, J. R. 1999. An holistic approach to fish stock identification. *Fisheries research*, 43(1-3), 35-44.
- Begg, G. A., Friedland, K. D., & Pearce, J. B. 1999. Stock identification and its role in stock assessment and fisheries management: an overview. *Fisheries Research*, 43(1-3), 1-8.
- Beltrán, P. R. 1995. Análisis sobre las capturas de dorado en Mazatlán, Sinaloa. *Informe Técnico, Instituto Nacional de Pesca, CRIP-Mazatlán, Sinaloa, México*. 14 p.
- Beltrán-Pimienta, R. 2000. Contribución al conocimiento de la pesquería y la biología poblacional del Dorado (*Coryphaena hippurus*, Linnaeus 1758) de las costas de Sinaloa, Nayarit y Baja California Sur, México, durante 1997. Tesis de Maestría. UAN, México. 54 p.
- Bobadilla-Jiménez, M. 2007. Estructura genética del pez dorado (*Coryphaena hippurus*) en distintas escalas geográficas del Pacífico Nororiental. Tesis. 83 p. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. México.
- Bruland KW. 1983. Trace elements in sea-water. In: Riley JP, Chester R (eds) *Chemical oceanography*, Vol 8. Academic Press, New York, p 157-220.
- Campana, S. E. (2005). Otolith elemental composition as a natural marker of fish stocks. In *Stock identification methods* (pp. 227-245).
- Campana, S. E. 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 188, 263-297.
- Campana, S. E., & Neilson, J. D. 1985. Microstructure of fish otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42(5), 1014-1032.
- Campana, S. E., & Thorrold, S. R. 2001. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations?. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(1), 30-38.
- Campana, S. E., Annand, M. C., & McMillan, J. I. 1995. Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations. *Transactions of the American Fisheries Society*, 124(1), 131-138.

Campana, S. E., Chouinard, G. A., Hanson, J. M., Frechet, A., & Bratney, J. 2000. Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks. *Fisheries Research*, 46(1-3), 343-357.

Campana, S. E., Fowler, A. J., & Jones, C. M. 1994. Otolith elemental fingerprinting for stock identification of Atlantic cod (*Gadus morhua*) using laser ablation ICPMS. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51(9), 1942-1950.

Campana, S. E., Thorrold, S. R., Jones, C. M., Günther, D., Tubrett, M., Longerich, H., Jackson, S., Halden, N. M., Kalish, J. M., Piccoli, P., de Pontual, H., Troadec, H., Panfili, J., Secor, D. H., Severin, K. P., Sie, S. H., Thresher, R., Teesdale, W. J., and Campbell, J. L. 1997. Comparison of accuracy, precision and sensitivity in elemental assays of fish otoliths using the electron microprobe, proton-induced X-ray emission, and laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54: 2068–2079.

Campana, S.E. 1990. How reliable are growth back-calculation based on otoliths?, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 47 (1990), pp. 2219–2227.

Carey, F. G. y B. H. Robinson. 1981. Daily patterns in the activities of swordfish, *Xiphias gladius*, observed by acoustic telemetry. *Fisheries Bulletin* 79 (2): 277-292.

Carrasco-Águila, M.A., R. Macías-Zamora, A.L. Vidaurri-Sotelo, O. MirandaCarrillo. 2012. Análisis del recurso dorado (*Coryphaena hippurus*) en torneos de pesca deportiva en tres puertos del Pacífico centro Mexicano, de 2000 a 2010. En: Espino-Barr., E., M.A. Carrasco-Águila, S. Sarmiento-Náfate, O. Miranda-Carrillo (Ed). Memorias del VI foro científico de pesca ribereña. Instituto Nacional de la Pesca. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 293-294.

Casselman, J. M. 1990. Growth and relative size of calcified structures of fish. *Transactions of the American Fisheries Society*, 119(4), 673-688.

Chang, S. K., G. DiNardo, J. Farley, J. Brodziak, y Z. L. Yuan, 2013. Possible stock structure of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in Taiwan coastal waters

and globally based on reviews of growth parameters. *Fisheries Research*, 147: 127-136.

Cimmaruta, R.; iaconelli, M.; nascetti, G.; bullini, L. 1998. Genetic diversity in Mediterranean large pelagic fish populations. *Biología Marina Mediterranea* 5(3): 300-310.

Clarke, L.M., Thorrold, S.R., Conover, D.O., 2011. Population differences in otolith chemistry have a genetic basis in *Menidia menidia*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 68 (1), 105e114.

Damián-Guillén, M., S. R. Soriano-Velázquez, C. E. Ramírez Santiago, and D. E. Acal-Sánchez. 2010. Captura incidental de la flota artesanal tiburonera del puerto de Zihuatanejo, Guerrero. In Proceedings of the symposium: V foro científico de pesca ribereña; Boca del Río, Mexico, 7–9 September (E. Espino-Barr, M. A. Carrasco-Águila, E. Romero-Hernández, H. Aguirre-Villaseñor, and O. Miranda-Carrillo, eds), p. 45–46. Instituto Nacional de Pesca, México City, México.

De Villiers, S. 1999. Seawater strontium and Sr/Ca variability in the Atlantic and Pacific oceans. *Earth and Planetary Science Letters*, 171(4), 623-634.

Degens, E. T., Deuser, W. G., & Haedrich, R. L. 1969. Molecular structure and composition of fish otoliths. *Marine biology*, 2(2), 105-113.

Díaz Jaimes, P., M. Uribe-Alcocer, S. Ortega-Garcia & J. Dominique-Durand. 2006. Spatial and temporal mitochondrial DNA genetic homogeneity of dolphinfish populations (*Coryphaena hippurus*) in the eastern central Pacific. *Fisheries Research*, 80(2-3): 333-338.

DOF. 2000. Acuerdo por el que se publica la Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. México. 17 de agosto de 2000.

DOF. 2004. Acuerdo mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. México. 15 de marzo de 2004.

DOF. 2012. Acuerdo mediante el cual se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Agosto 2012.

Duarte-Neto, P., R. Lessa, B. Stosic, E. Morize, 2008. The use of sagittal otoliths in discriminating stocks of common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) of northeastern Brazil using multishape descriptors. *Oxford Journals*, 1144–1152.

Edmonds, J. S., Moran, M. J., Caputi, N., & Morita, M. 1989. Trace element analysis of fish sagittae as an aid to stock identifications: pink snapper (*Chrysophrys auratus*) in western Australian waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46(1), 50-54.

Elsdon, T. E., & Gillanders, B. M. 2002. Interactive effects of temperature and salinity on otolith chemistry: challenges for determining environmental histories of fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59(11), 1796-1808.

Ennevor, B. C., & Beames, R. M. 1993. Use of lanthanide elements to mass mark juvenile salmonids. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(5), 1039-1044.

FAO. 2010. Estadísticas de pesca y acuicultura. <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstat/es>

FAO. 2014. Estadísticas de pesca y acuicultura. FAO. <http://www.fao.org/3/a-i3757s.pdf>

Farrell, J., & Campana, S. E. 1996. Regulation of calcium and strontium deposition on the otoliths of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Comparative Biochemistry and Physiology-A-Physiology*, 115(2), 103-110.

Feliu Jr, S. 2010. Caracterización química de nanosuperficies. Introducción a la espectroscopia foto electrónica de rayos X (XPS). *Técnicas de laboratorio*, (356), 838-843.

Fiedler, P. C. 2002. Environmental change in the eastern tropical Pacific Ocean: review of ENSO and decadal variability. *Marine Ecology Progress Series*, 244, 265-283.

Fowler, A.J., Campana, S.E., Jones, C.M., Thorrold, S.R., 1995. Experimental assessment of the effect of temperature and salinity on elemental composition of otoliths using solution-based ICPMS. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 52, 1421e1430.

- Fuiman, L. A., & Hoff, G. R. 1995. Natural variation in elemental composition of sagittae from red drum. *Journal of Fish Biology*, 47(6), 940-955.
- Gallahar, N. K., & Kingsford, M. J. 1992. Patterns of increment width and strontium: calcium ratios in otoliths of juvenile rock blackfish, *Girella elevata* (M.). *Journal of Fish Biology*, 41(5), 749-763.
- Goldberg, E.D., 1965. Minor elements in seawater. In: Riley, J.P., Skirrow, G. (Eds.), *Chemical Oceanography*, vol. 1. Acad. Press, New York, 712 pp.
- Gray, J. S. 2002. Species richness of marine soft sediments. *Marine Ecology Progress Series*, 244, 285-297.
- Gutiérrez, E. J.; bernal, A. M.; Díaz, V. 2012. Análisis integral de la pesquería de dorado (*Coryphaena hippurus*) en el océano pacífico colombiano en el contexto del Corredor Marino del Pacífico Este Tropical -CMAR-En: Puentes V. y Moncaleano A. (Eds). Sistema de Gestión Regional para el Uso Sostenible de los Recursos Pesqueros del Corredor Marino del Pacífico Este Tropical (CMAR). Resultados de Gestión en Colombia. Bogotá.
- Halden, N. M., Babaluk, J. A., Campbell, J. L., & Teesdale, W. J. 1995. Scanning proton microprobe analysis of strontium in an arctic charr, *Salvelinus alpinus*, otolith: implications for the interpretation of anadromy. *Environmental Biology of Fishes*, 43(4), 333-339.
- Hellweger, F. L., & Gordon, A. L. 2002. Tracing Amazon river water into the Caribbean Sea. *Journal of Marine Research*, 60(4), 537-549.
- Johnson KS, Coale KH, Jannasch HW. 1992. Analytical chemistry in oceanography. *Analytical Chemistry*, 64:1065-1075
- Kalish J. M. 1990. Use of otolith microchemistry to distinguish progeny of sympatric anadromous and non-anadromous salmonids. *Fisheries Bulletin*, 88: 657-666.
- Kalish, J. M. (1991). ^{13}C and ^{18}O isotopic disequilibria in fish otoliths: metabolic and kinetic effects. *Marine Ecology Progress Series*, 75(2-3), 191-203.

- Kalish, J. M. 1989. Otolith microchemistry: validation of the effects of physiology, age and environment on otolith composition. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 132(3), 151-178.
- Kennedy, B.D., Folt, C.L., Blum, J.D., Chamberlain, C.P., 1997. Natural isotope markers in salmon. *Nature*. 387, 766e767.
- Kent, J., G.; Jenkins y S. Acevedo. 2013. Temporal and spatial patterns in ichthyoplankton assemblages in bay and open coastal environments. *Journal of Fish Biology*, 82: 408-429.
- Kerr, L. A., & Campana, S. E. 2014. Chemical composition of fish hard parts as a natural marker of fish stocks. In *Stock Identification Methods (Second Edition)* (pp. 205-234).
- Kessler, W. S. 2002. Mean three-dimensional circulation in the northeast tropical Pacific. *Journal of Physical Oceanography*, 32(9), 2457-2471.
- Kessler, W. S. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69: 181-217.
- Kingsford, M.J. & DeFries, A. 1999. The ecology and fishery of *Coryphaena spp.* in the waters around Australia and New Zealand. *Scientia Marina*. 63(3-4):267-275. Barcelona-España.
- Knezovich, J. P. 1994. Chemical and biological factors affecting bioavailability of contaminants in seawater. Bioavailability: physical, chemical and biological interactions. *Lewis Publishers*, London, 23-30.
- Kojima, S. 1965. Studies on the fishing conditions of the dolphin *Coryphaena hippurus* L., in the western regions of the Sea of Japan-X. Results on tagging experiment. *Bulletin of the Japanese Society of Fisheries*. 31: 575-578.
- Kraul, S. 1999. Seasonal abundance of the dolphinfish, *Coryphaena hippurus*, in Hawaii and the tropical Pacific Ocean. *Scientia Marina*, 63(3-4): 261-266.
- Lasso, J. y L. Zapata. 1999. Fisheries and biology of *Coryphaena hippurus* (Pisces: Coryphaenidae) in the Pacific coast of Colombia and Panama. *Scientia Marina*, 63(3-4): 387-399.

- Libes, S. 2009. Introduction to marine biogeochemistry. Academic Press.
- Longhurst, A. 1998. Ecological geography of the sea. – Academic Press.
- López Martínez J., F. García, E. Alcántara y E. Chávez. 1999. Reproducción y reclutamiento del camarón de roca *Sicyonia penicillata* (Lockington 1879) en Bahía Kino Sonora, México. *Biología Tropical*. 47 (1-2): 109-117.
- Madrid, J. V., & Beltrán-Pimienta, R. 2001. Longitud, peso y sexo del dorado *Coryphaena hippurus* (Perciformes: Coryphaenidae), del litoral de Sinaloa, Nayarit y Baja California Sur, México. *Revista Biología tropical*, 49(3-4), 931-938.
- Mahon, R. y H. A. Oxenford. 1999. Precautionary assessment and management of dolphinfish in the Caribbean. *Scientia Marina*. 63(3-4): 429-438.
- Mai, A. C. G., Conдини, M. V., Albuquerque, C. Q. D., Loebmann, D., Saint'Pierre, T. D., Miekeley, N., & Vieira, J. P. 2014. High plasticity in habitat use of *Lycengraulis grossidens* (Clupeiformes, Engraulididae). Estuarine, Coastal and Shelf. *Science*, 141, 17-25.
- Martínez-Ortiz, J., and Zúñiga-Flores, M. 2012. Estado actual del conocimiento del recurso dorado (*Coryphaena hippurus*) Linnaeus, 1758 en aguas del Océano Pacífico Suroriental (2008-2011). Informe Técnico Final del proyecto titulado: "Dinámica de la población: la pesca y la biología del dorado en Ecuador". MAGAP-MSC-EPESPO 2012. 122 pp.
- Martínez-Rincón, R.O., S. Ortega-García, J.G. Vaca-Rodríguez, 2009. Incidental catch of dolphinfish (*Coryphaena spp.*) reported by the Mexican tuna purse seiners in the eastern Pacific Ocean. *Fisheries Research*, 96: 296–302.
- Massutí, E., & Morales-Nin, B. 1999. Otolith microstructure, age, and growth patterns of dolphin, *Coryphaena hippurus*, in the western Mediterranean.
- Massutí, E., B. Morales-Nin y J. Moranta. 1999. Otolith microstructure a growth patterns of dolphin *Coryphaena hippurus* in Western Mediterranean. *Fisheries*. BNOAA., 97: 891-899.
- Mayer, L. M. 1994. Surface area control of organic carbon accumulation in continental shelf sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*; (United States), 58(4).

Meibom, A., Mostefaoui, S., Cuif, J. P., Dauphin, Y., Houlbreque, F., Dunbar, R., & Constantz, B. 2007. Biological forcing controls the chemistry of reef-building coral skeleton. *Geophysical Research Letters*, 34(2).

Miranda-Carrillo, O., E. Espino-Barr, E. Cabral-Solís, M. Puente-Gómez, A. García-Boa, and F. J. De La Cruz-González. 2010. Aspectos de la pesca ribereña en la Bahía de Barra de Navidad, Jalisco, 2007 a 2009. In Proceedings of the symposium: V foro científico de pesca ribereña, Boca del Río, Mexico, 7–9 September (E. Espino-Barr, M. A. Carrasco-Águila, E. Romero-Hernández, H. Aguirre-Villaseñor, and O. Miranda-Carrillo, eds.), p. 147– 148. Instituto Nacional de Pesca, México City, México.

Morales-Nin, B., S. D. Mirella, A. Potoschi, E. Massutí, P. Rizzo & S. Gancitano. 1999. Differences between the sagita, lapillus and vertebra in estimating age and growth in juvenile Mediterranean dolphinfish (*Coryphaena hippurus*). *Scientia Marina*. 59: 327-337.

Muccio, Z., & Jackson, G. P. 2009. Isotope ratio mass spectrometry. *Analyst*, 134(2), 213-222.

Norma Oficial Mexicana NOM-017-pesc1994. Para regular las Actividades de Pesca Deportiva en las Aguas de Jurisdicción Federal de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo No. 15-19. México, D.F.

Norton, J. G. 1999. Apparent hábitat extensions of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in response to climate transients in the California Current. *Scientia Marina*, 63: 239-260.

Olsson, P., Folke, C., & Hughes, T. P. 2008. Navigating the transition to ecosystem-based management of the Great Barrier Reef, Australia. Proceedings of the National Academy of Sciences.

Oro, M. G. 1999. El Dorado (*C. hippurus* y *C. equiselis*). La Pesca deportiva en México (Por la pesca libre y responsable). <http://www.pesca.org.mx/articulos/dorado1.html>

Ortiz Astudillo, A. F. 2013. Efecto de la variabilidad ambiental interanual en la distribución y abundancia de larvas de dorado (*Coryphaena spp.*) en el Pacífico

Central Oriental (Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).

Otake, T., Ishii, T., Nakahara, M., & Nakamura, R. 1994. Drastic changes in otolith strontium/calcium ratios in leptocephali and glass eels of Japanese eel *Anguilla japonica*. *Marine Ecology Progress Series*, 189-193.

Oxenford, H. A. 1999. Biology of the dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the western central Atlantic: a review. *Scientia Marina*, 63(3-4), 277-301.

Oxenford, H. A. y W. Hunte. 1983. Age and growth of dolphin, *Coryphaena hippurus* (Linnaeus), as determined by growth rings in otoliths. *Fisheries Bulletin*, U. S. 81: 906-909.

Oxenford, H. A. y W. Hunte. 1986. A preliminary investigation of structure of the dolphin *Coryphaena hippurus* in the western Central Atlantic. *Fisheries Bulletin*. 84 (2): 451-460.

Palko, B. J., G. L. Beardsley y W. J. Richards. 1982. Synopsis of the biological data on dolphin-fishes, *Coryphaena hippurus* Linnaeus and *Coryphaena equiselis* Linnaeus. FAO Fish. Synop 130. NOAA Tech. Memo NMFS Circ. 443: 1-28.

Panfili, J., & Troadec, H. 1993. What's new in otolithometry?. *Cybum*, 17(2), 171-173.

Paterson WP, Smith GR, Lohmann KC. 1993. Continental paleothermometry and seasonality using the isotopic composition of aragonitic otoliths of freshwater fishes. *Climate Change in Continental Isotopic Records*, 78:191-202

Pennington, J. T., Mahoney, K. L., Kuwahara, V. S., Kolber, D. D., Calienes, R., & Chavez, F. P. 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4), 285-317.

Pierce, G. J., Boyle, P. R., & Diack, J. S. W. 1991. Identification of fish otoliths and bones in faeces and digestive tracts of seals. *Journal of Zoology*, 224(2), 320-328.

Pita, A., Casey, J., Hawkins, S. J., Villarreal, M. R., Gutiérrez, M. J., Cabral, H. & Presa, P. 2016. Conceptual and practical advances in fish stock delineation.

- Povinec, P. P., Aarkrog, A., Buesseler, K. O., Delfanti, R., Hirose, K., Hong, G. H. & Shima, S. 2005. ^{90}Sr , ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ concentration surface water time series in the Pacific and Indian Oceans–WOMARS results. *Journal of environmental radioactivity*, 81(1), 63-87.
- Proctor, C.H., Thresher, R.E., Gunn, J.S., Mills, D.J., Harrowfield, I.R., Sie, S.H., 1995. Stock structure of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyi*: an investigation based on probe microanalysis of otolith composition. *Marine Biology* 122, 511-526.
- Radtko, R. L. 1987. Age and growth information available from the otoliths of the Hawaiian snapper, *Pristipomoides filamentosus*. *Coral Reefs*, 6(1), 19-25.
- Radtko, R. L., & Targett, T. E. 1984. Rhythmic structural and chemical patterns in otoliths of the Antarctic fish *Notothenia larseni*: their application to age determination. *Polar Biology*, 3(4), 203-210.
- Rocha Olivares, A., M. Bobadilla-Jiménez, S. Ortega García, N. Saavedra-Sotelo & J.R. Sandoval-Castillo. 2006. Mitochondrial variability of dolphinfish *Coryphaena hippurus* populations in the Pacific Ocean. *Ciencias Marinas*. 32(3): 569-578.
- Romanek, C. S., Grossman, E. L., & Morse, J. W. 1992. Carbon isotopic fractionation in synthetic aragonite and calcite: effects of temperature and precipitation rate. *Geochimica et cosmochimica acta*, 56(1), 419-430.
- Rooker, J. R., Secor, D. H., De Metrio, G., Schloesser, R., Block, B. A., & Neilson, J. D. 2008. Natal homing and connectivity in Atlantic bluefin tuna populations. *Science*, 322(5902), 742-744.
- Rosales-Morales, A. 2007. Estructura genética del dorado (*Coryphaena hippurus*) en el Pacífico mexicano, inferida mediante marcadores de ADN nuclear. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar. 62 pp.
- Rose, C. D., & Hassler, W. W. 1968. Age and growth of the dolphin, *Coryphaena hippurus* (Linnaeus), in North Carolina waters. *Transactions of the American Fisheries Society*, 97(3), 271-276.

Sadovy, Y., & Severin, K. P. 1992. Trace elements in biogenic aragonite: correlation of body growth rate and strontium levels in the otoliths of the white grunt, *Haemulon plumieri* (Pisces: Haemulidae). *Bulletin of Marine Science*, 50(2), 237-257.

Sadovy, Y., & Severin, K. P. 1994. Elemental patterns in red hind (*Epinephelus guttatus*) otoliths from Bermuda and Puerto Rico reflect growth rate, not temperature. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51(1), 133-141.

Sánchez Reyes, N. A. (2008). Distribución de larvas de dorado *Coryphaena hippurus* (Linnaeus, 1758) y *Coryphaena equiselis* (Linnaeus, 1758) en el Pacífico Oriental mexicano (Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).

Santana-Hernández, H. 2001. Estructura de la comunidad de pelágicos mayores capturados con palangre en el Pacífico mexicano (1983-1996) y su relación la temperatura superficial del mar. Tesis doctoral. Universidad de Colima, México 122 p.

Schwenke KL, JA Buckel. 2008. Age, growth, and reproduction of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) caught off the coast of North Carolina. *Fishery Bulletin* 106: 82-92.

Secor, D. H., & Rooker, J. R. 2000. Is otolith strontium a useful scalar of life cycles in estuarine fishes?. *Fisheries Research*, 46(1-3), 359-371.

Secor, D. H., Henderson-Arzapalo, A., & Piccoli, P. M. 1995. Can otolith microchemistry chart patterns of migration and habitat utilization in anadromous fishes?. *Journal of experimental marine Biology and Ecology*, 192(1), 15-33.

Severin, K.P., Carroll, J., Norcross, B.L., 1995. Electron microprobe analysis of juvenile walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, otoliths from Alaska: a pilot stock separation study. *Environmental Biology of Fishes*, 43, 269-283.

Solano S. A., Tresierra A. A., García N. V. Dioses T., Marín W., Sánchez C. & Wosnitza M. C. 2008. Biología y pesquería del perico (*Coryphaena hippurus*). 23 p.

Sturrock, A. M., Trueman, C. N., Darnaude, A. M., & Hunter, E. 2012. Can otolith elemental chemistry retrospectively track migrations in fully marine fishes?. *Journal of Fish Biology*, 81(2), 766-795.

Tanner, S. E., Reis-Santos, P., & Cabral, H. N. 2016. Otolith chemistry in stock delineation: a brief overview, current challenges and future prospects. *Fisheries research*, 173, 206-213.

Téllez Ricardo & Caballero Susana. 2014. Variación estacional de stocks de pez dorado (*Coryphaena hippurus*) en el litoral Pacífico de Colombia. Universidad de los Andes, Colombia. COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL 1ª REUNION TÉCNICA SOBRE EL DORADO Manta (Ecuador).

Thorrold, S. R., & Swearer, S. E. 2009. Otolith chemistry. In Tropical Fish Otoliths: Information for Assessment, *Management and Ecology* (pp. 249-295). Springer, Dordrecht.

Thorrold, S. R., Campana, S. E., Jones, C. M., & Swart, P. K. 1997. Factors determining $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ fractionation in aragonitic otoliths of marine fish. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61(14), 2909-2919.

Thresher, R. E. 1994. An evaluation of electron-probe microanalysis of otoliths for stock delineation and identification of nursery areas in a southern temperate groundfish, *Nemadactylus macropterus* (Cheilodactylidae). *Fishery Bulletin* (Wash. DC), 92, 817-840.

Thresher, R. E. 1999. Elemental composition of otoliths as a stock delineator in fishes. *Fisheries Research*, 43(1-3), 165-204.

Townsend DW, Radtke RL, Malone DP, Wallinga JP. 1995. Use of otolith strontium:calcium ratios for hindcasting lar- val cod distributions relative to water masses on Georges Bank. *Marine Ecology Progress Series*, 119:37-44.

Tripp-Valdez, A., F. Galvan-Magaña, S. Ortega-García. 2010. Feeding habits of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the southeastern Gulf of California, México. *Journal of Applied Ichthyology*. 26: 578-582.

Tzeng, W. 1996. Effects of salinity and ontogenetic movements on strontium:calcium ratios in the otoliths of the Japanese eel, *Anguilla japonica*

Temminck and Schlegel. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 199, 111–122.

Volpedo, A. V. Y A. Fernández Cirelli. 2004. El uso del otolito sagitta como bioindicador de la calidad de ambientes acuáticos costeros. Pp. 171-176. En: J. J. Neiff (Ed.), *Humedales de Iberoamérica*. Red Iberoamericana de Humedales (RIHU), La Habana, Cuba.

Volpedo, A. V. Y A. Fernández Cirelli. 2006. Otolith chemical composition as a useful tool for sciaenids stock discrimination in south-western Atlantic. *Scientia Marina* 70(2): 325-334.

Volpedo, A. V., Miretzky, P., & Fernández Cirelli, A. 2007. Stocks pesqueros de *Cynoscion guatucupa* y *Micropogonias furnieri* (Pisces, Sciaenidae), en la costa atlántica de Sudamérica: comparación entre métodos de identificación. *Mem. Fund. La Salle Cs. Nat.* 165, 115-130.

Wu CC, SW Cheng, T Kawasaki. 2001. Reproductive biology of the dolphinfish *Coryphaena hippurus* on the east coast of Taiwan. *Fisheries Science* 67: 784-793.

Wyrcki, K. 1966. Oceanography of the eastern tropical Pacific Ocean. Bull. Inter-Am Trop. *Tuna Commission*. 5: 269-304.

Zúñiga Flores, M.S., S. Ortega García & A. Klett Traulsen. 2008. Interannual and seasonal variation of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) catch rates in the southern Gulf of California, Mexico. *Fishery Research*, 94: 13-1

Zúñiga-Flores, M. S. 2009. Dinámica poblacional del dorado (*Coryphaena hippurus*) en baja california sur, México: implicaciones para su manejo. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN, México. 203 p.