



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
PROGRAMA DE MAestrÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN  
Y DE LA SALUD ANIMAL  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
INOCUIDAD, CALIDAD Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS EN MÚSCULO DE  
*Octopus* spp. CAPTURADO EN EL GOLFO DE MÉXICO DEL ESTADO DE CAMPECHE, MÉXICO

DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

PRESENTA:  
MVZ MARÍA DE LA LUZ CHAVACÁN AVILA

TUTOR PRINCIPAL  
MVZ MCV JORGE FRANCISCO MONROY LÓPEZ  
FMVZ-UNAM

COMITÉ TUTOR  
DRA. ELSA NOREÑA BARROSO  
FQ-UNAM

MPA GERMÁN MUÑOZ CÓRDOVA  
FMVZ-UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., ENERO 2024



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Contenido

1. Resumen .....	1
2. Introducción.....	2
3. Antecedentes.....	4
3.1. Estructura y composición de los HAP.....	4
3.2. Características físicoquímicas de los HAP.....	5
3.3. Clasificación de los HAP.....	5
3.4. Origen de los HAP.....	9
3.5. Consecuencias de los HAP en el medio acuático y productos marinos.....	10
3.6. Regulaciones en relación con los HAP.....	13
2. Objetivo general .....	14
2.1. Objetivos específicos.....	14
3. Metodología .....	15
4. Resultados.....	25
5. Discusión .....	31
6. Conclusiones.....	35
7. Referencias .....	36
8. Anexos.....	43

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Arreglo molecular de los HAP.....	5
<b>Cuadro 2.</b> Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos carcinogénicos .....	6
<b>Cuadro 3.</b> Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos posibles carcinogénicos .....	7
<b>Cuadro 4.</b> Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos no carcinogénicos .....	8
<b>Cuadro 5.</b> Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos identificados en las tres zonas de muestreo .....	25
<b>Cuadro 6.</b> Número de casos positivos para la presencia de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en brazos de pulpo en cada una de las zonas de muestreo (n=20) .....	25
<b>Cuadro 7.</b> Promedio, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo de las concentraciones (ng/g, peso seco) de HAP detectados en brazos de pulpo ( <i>Octopus spp.</i> ) capturados en las diferentes zonas de muestreo (n=20). .....	26
<b>Cuadro 8.</b> Promedio, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo de las sumas de las concentraciones (ng/g, peso seco) de HAP de bajo peso molecular, alto peso molecular y totales detectados en brazos de pulpo ( <i>Octopus spp.</i> ) capturados en las diferentes zonas de muestreo. .	29
<b>Cuadro 9.</b> Valores máximos de la $\Sigma$ benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno y criseno. (ng/g peso seco) .....	30

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Formas de esquematizar el anillo bencénico.....	4
<b>Figura 2.</b> Clasificación de los Hidrocarburos .....	6
<b>Figura 3.</b> Diagrama de flujo de la estrategia general del trabajo.....	15
<b>Figura 4.</b> Atlas de línea base ambiental del Golfo de México .....	16
<b>Figura 5.</b> Mapa de concentraciones de HAP en sedimentos del Golfo de México .....	16
<b>Figura 6.</b> Mapa de concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en sedimentos del Golfo de México, tomado del ATLAS de línea base ambiental del Golfo de México para Hidrocarburos (Arcega, <i>et al</i> 2020) y donde se señalan las 3 zonas de muestreo para este estudio. ....	17
<b>Figura 7.</b> Embarcaciones menores.....	17
<b>Figura 8.</b> Pulpo capturado.....	17
<b>Figura 9.</b> Bolsas de cierre hermético identificadas para cada zona de muestreo .....	19
<b>Figura 10.</b> Cajas isotérmicas para conservación de muestras .....	19
<b>Figura 11.</b> Unidad Académica Yucatán .....	19
<b>Figura 12.</b> Unidad de Química en Sisal, Facultad de Química, UNAM, sede Sisal, Yucatán.....	19
<b>Figura 13.</b> Liofilizadora marca Labconco® modelo Free Zone® 998778 .....	20
<b>Figura 14.</b> Brazos de pulpo liofilizándose.....	20
<b>Figura 15.</b> Muestras homogeneizadas con ayuda de una batidora sumegible marca Oster® .....	21
<b>Figura 16.</b> Muestra de pulpo liofilizada y homogenizada en partícula fina .....	21
<b>Figura 17.</b> Procesador ultrasónico marca Cole Parmer® .....	21
<b>Figura 18.</b> Extracción de Hidrocarburos de cada una de las muestras asistida por ultrasonido .....	21
<b>Figura 19.</b> Purificación en fase sólida de las muestras .....	22
<b>Figura 20.</b> Cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas .....	23
<b>Figura 21.</b> Cromatograma de HAP .....	23

## Anexos

<b>Anexo 1.</b> Análisis FODA Antecedentes-Diagnóstico de situación en Campeche .....	43
<b>Anexo 2.</b> Análisis FODA ¿qué se encontró? Diagnóstico de situación en Campeche.....	44
<b>Anexo 3.</b> Análisis FODA ¿qué se puede hacer? Diagnóstico de situación en Campeche.....	45
<b>Anexo 4.</b> Mapa del estado de Campeche .....	46
<b>Anexo 5.</b> Mapa de clima del estado de Campeche.....	47
<b>Anexo 6.</b> Hidrografía, flora y fauna del estado de Campeche.....	48
<b>Anexo 7.</b> Dinámica poblacional del estado de Campeche .....	49
<b>Anexo 8.</b> Educación en el estado de Campeche .....	50
<b>Anexo 9.</b> Áreas rural y urbana del estado de Campeche.....	51
<b>Anexo 10.</b> Actividades económicas del estado de Campeche .....	52
<b>Anexo 11.</b> Aportación del PIB nacional del estado de Campeche .....	53
<b>Anexo 12.</b> Datos estadísticos y de producción de la captura de pulpo en Campeche y a nivel nacional.....	54
<b>Anexo 13.</b> Puertos petroleros del estado de Campeche .....	55

## Dedicatoria

A Luz Andrea

Fer<sup>†</sup>

Iris Maryam

## **Agradecimientos**

A Dios por darme la fuerza y la valentía para realizar este proyecto

A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme educación de alto nivel y calidad desde el bachillerato, institución educativa de orgullo.

Al programa de Posgrado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia quien a través de su programa de maestría y doctorado me permitieron llevar a cabo esta superación personal y académica. A todos mis profesores y sinodales de la maestría de quienes aprendí muchísimo, los quiero y los admiro a todos.

Al Programa de Apoyos para la Superación del Personal Académico de la UNAM (PASPA) y al Programa de Apoyo a los Estudios de Posgrado (PAEP) de la UNAM por los recursos económicos para la realización de mis estudios de maestría.

A mi mamá† quien aunque no esté físicamente vive en mi corazón y en el de mis hijas por siempre, porque gracias a su esfuerzo, ejemplo y cariño es que tengo las herramientas para concluir una meta más en mi vida.

A mi hermano Marcos, por ser más que eso para mí. Por brindarme su cariño y apoyo incondicional siempre. A mi tía Ma. de los Ángeles†, a mi tía Ma. de la Luz†, a mi abuelita Josefina† y a mi abuelito Anselmo† por su cariño y enseñanzas a lo largo de mi vida que me hacen ser la persona que ahora soy. A mis padrinos Cristi y Raúl por su amor.

A mi esposo Andrew por apoyarme en todo lo que me he propuesto, por cuidar de nuestras hijas para que yo pudiera realizar mi maestría y por todo el apoyo y comprensión brindados durante la misma, por impulsarme a seguir con todos mis proyectos profesionales y personales y darme tu mano y amor para crecer juntos a largo de estos 18 años, por cuidar de mí cuando más lo necesite y por darme los 3 regalos más maravillosos de mi vida que son nuestros hijos: Luz Andrea, Fer† e Iris Maryam.

A mi hija Luz Andrea por todo su apoyo, comprensión y todo su amor, por siempre tener los brazos abiertos para mí, por darme la fortaleza necesaria para seguir adelante juntas y por cuidar de Iris Maryam a quien también le agradezco su amor y todas sus sonrisas que me



llenar el alma, las dos son unas guerreras, las amo. A Fer† quien es nuestro bebé estrella y que desde el cielo nos cuida y nos da la fortaleza para seguir adelante, siempre vivirás en nuestras mentes y corazones.

A mi tía Norma, mi tío Enrique, mis primas Gely y Goyita, mis sobrinitos Azul, Zoe y Angelito, a mi tío Raúl y tía Belem y mis primos Santy y Miranda quienes siempre están conmigo a pesar de la distancia, los quiero mucho.

A mi ma Rosalía y mis hermanos Pablo y Danny quienes siempre están para mí y mis hijas, por todo su apoyo, cariño y comprensión a lo largo de estos años juntos. A Cris y Pablito por su todo su cariño y amistad. Al abuelito Luis por todo su cariño y sus consejos, lo amo.

A todos los tíos, primos y sobrinos Castro que siempre me han acogido como un miembro más de su familia y me han brindado su amor, en especial a la Tía Vero, Tía China, Tía Guille, Tío Pepé, Primos Beto, Marlene y Cristi, Abi, Paulina y mi Santy que te quiero como un hijo.

A la Dra. Nelly Peña Haaz por enseñarme el maravilloso mundo de la inocuidad, por ser mi mentora y siempre apoyarme y confiar en mi valor como persona, por nunca soltar mi mano, es un honor ser tu amiga, te admiro y te respeto al infinito.

A mi comité tutor conformado por la Dra. Elsa Noreña Barroso, el MPA Germán Muñoz y el MCV Jorge Francisco Monroy López quienes confiaron en mí y me dieron la oportunidad de trabajar con ellos. Al personal del CESAICAM por todo el apoyo brindado para la elaboración de este trabajo, en especial al MVZ Héctor Godoy, MVZ Ulises Rodríguez, MVZ Dan Carranza, Alexis Chan, MVZ Samantha Laguna, Mariela Rosado. A la química Águeda Pérez del DNAB.

A mi tutor el MCV Francisco Monroy López quien siempre confió en mí, por escuchar cada duda, cada sentimiento, cada problema y darme las palabras y la confianza necesarias para seguir adelante.

A la Dra. Elsa Noreña Barroso y a todo su equipo de trabajo en el laboratorio B de Ciencias Ambientales y Costeras de la Facultad de Química, campus Sisal, por todo su apoyo, cariño y guía para la realización de este trabajo, en especial a Alejandra Sánchez quien estuvo a mi lado desde el amanecer hasta el anochecer cuidando de mí, de mi trabajo y del correcto

procesamiento de todas las muestras. A Luis Aviles por todo su apoyo y por estar con Ale y conmigo siempre dispuesto a animarnos y cuidarnos a ambas.

Al MPA Germán Muñoz Córdova y a la Dra. Adriana por estar al pendiente siempre de mí y de mi familia, por todos sus consejos y apoyo a través de los años y en especial en mi maestría. Valoro mucho su amistad y cariño.

A Ale Plata quien sin ella mi estancia en Sisal no habría sido lo mismo, gracias por todo tu apoyo y por permitirme ser tu amiga, estoy muy orgullosa de ti. A mi amiga Marita a quien el destino y la vida nos llevó a conocernos a través de la distancia de una pantalla y después de forma personal, eres una excelente persona y te agradezco tu amistad y cariño tan sincero y honesto, te quiero mucho. A Fernando Tercero a quien la vida nos hizo coincidir y encontrarnos para ser grandes amigos a través del tiempo y la distancia, TQM.

A la Dra. Claudia Durruty por todo su apoyo y comprensión durante mi estancia en Sisal y lejos de ahí, por cada plática, por cada consejo, por estar siempre dispuesta a ayudarme y escucharme.

A todos mis amigos del área de Organismos Acuáticos, quienes son parte de mi familia, Esther, Eloy, Alma, Maru, Tati, Jesús, Dr. Cobo, Mta. Raquel, Angelito, Germán, Martha, Dra. Cony, Brenda, Emmanuel, Ari, Sherry, Belem, los quiero y les agradezco todo su cariño y dejarme aprender de cada uno de ustedes todos los días. A mis compañeros y amigos del Departamento de Medicina y Zootecnia de Abejas, Conejos y Organismos Acuáticos, en especial a la Dra. Adriana Correa, Richi, Marianita, Angie, Dr. Ernesto, Dr. Miguel Angel, Marisa, Dra. Hilda, Fanny y Chemita†. A la Dra. Cristina Guerrero por todo su apoyo y por siempre confiar en mí.

A Graciélita y Gonz, por su amistad y cariño, por siempre apoyarme en todos los proyectos que me propongo y confiar en mi trabajo. A todo el personal de Educación Continua que me ha abierto los brazos para trabajar juntos y darme su cariño y confianza. A la Dra. Ma. Elena Trujillo Ortega por ser un ejemplo a seguir, por toda la confianza depositada en mí persona y por siempre impulsarme a seguir adelante y creer en mí. A Juan Ma por ser mi amigo en las buenas y en las malas, siempre seré tu Teresa.

## 1. Resumen

En el presente trabajo se llevó a cabo el diagnóstico de situación para tres zonas de captura de *Octopus spp.*, en el Golfo de México del estado de Campeche, México a finales del año 2022. La Zona 1 se caracterizó por presentar una alta actividad petrolera y urbana, la Zona 2 actividad intermedia y la Zona 3 actividad baja. El análisis de Hidrocarburos Aromáticos Políciclicos (HAP) se realizó en tejido muscular de brazos de pulpo (parte comestible), a través de Extracción Asistida por Ultrasonido (USE) y posteriormente por Extracción en Fase Sólida (SPE) y Cromatografía de Gases Acoplada a Espectrometría de masas (GC-MS). De los 15 HAP cuantificados en este estudio y clasificados como prioritarios por la EPA y la IARC, se determinó la presencia de 9 HAP para la Zona 1, 8 para la Zona 2 y 7 para la Zona 3. Del número de casos positivos para la presencia de HAP en brazos de pulpo en las diferentes zonas de muestreo se determinó la concentración en ng/g peso seco. Para la Zona 1, los HAP totales tuvieron una media ( $\pm$  una desviación estándar) de  $468.06 \pm 1,096.49$  ng/g, con un máximo de 3,315.11 ng/g, para la Zona 2 tuvieron  $8.67 \pm 15.78$  ng/g en promedio, con un máximo de 62.33 ng/g y para la Zona 3 se registró una media de  $29.55 \pm 24.67$  ng/g, con un máximo de 91.51 ng/g. Encontrándose diferencias significativas ( $H(2, N=60)$ ;  $p < 0.05$ ) en cuanto a la presencia de naftaleno, acenafteno, antraceno, benzo(ghi)perileno, HAP de bajo peso molecular (2-3 anillos), HAP de alto peso molecular ( $>3$  anillos) y HAP totales. En la Zona 1 se detectó benzo(a)pireno (carcinógeno) en uno de los organismos muestreados, en una concentración de 9.53 ng/g, valor que se encuentra por encima de la regulación a nivel mundial. Ante estos resultados, es importante diseñar alternativas, estrategias y directrices que integren un plan de acción de monitoreos regulares y conservación del ambiente acuático para este tipo de contaminantes principalmente en la Zona 1, considerando el riesgo a la salud de los consumidores y de la exportación de este producto.

## 2. Introducción

El medio acuático se encuentra continuamente expuesto a una amplia gama de productos químicos que son liberados por fuentes naturales y por actividades antropogénicas, incluidos los Hidrocarburos, los cuales se dividen en dos clases principales conforme a su estructura química: los Hidrocarburos Alifáticos (HA) y los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP), (Bucheli *et al.*, 2004; Wolska *et al.*, 2012). Los Hidrocarburos Alifáticos son compuestos orgánicos constituidos por Carbono e Hidrógeno, en los cuales los átomos de carbono forman cadenas abiertas y ramificadas, mientras que los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) constituyen una extensa clase de compuestos orgánicos que contienen dos o más anillos aromáticos fusionados que están compuestos por átomos de carbono y de hidrógeno (Phillips, 1999). Sin embargo, sin restar importancia a los HA, los HAP han suscitado preocupación a nivel mundial debido a sus propiedades carcinogénicas y mutagénicas (Węgrzyn *et al.*, 2006; McGrath *et al.*, 2007). Se estima que en la población mundial no fumadora, el 70 % de la exposición a estos compuestos se atribuye al consumo de alimentos (Domingo *et al.*, 2007; Martí-Cid *et al.*, 2008; Xia *et al.*, 2010). Los HAP se distribuyen rápidamente en una amplia variedad de tejidos con una marcada tendencia a localizarse en la grasa corporal y a bioacumularse (Abdel-Shafy y Mansour, 2016). La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) y a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), han identificado los HAP más frecuentes y han clasificado a 16 como prioritarios (EPA, 1993b, 1993a; Bucheli *et al.*, 2004; IARC, 2013).

La presencia de estos contaminantes en el medio acuático plantea una gran preocupación sanitaria debido a los riesgos potenciales para la salud asociados al consumo habitual de pescados y mariscos, principalmente para las poblaciones que los consumen de forma constante, ya que las especies acuáticas pueden bioacumular los HAP presentes en el alimento, el agua y los sedimentos (Chen, Teng y Wang, 2012; Abdel-Shafy y Mansour, 2016; Oliveira *et al.*, 2018).

En el caso de los moluscos, incluidos los cefalópodos, se ha observado que tienen una capacidad reducida para metabolizar los HAP con un potencial de bioacumulación mayor que otros organismos acuáticos (Lacoue-Labarthe et al., 2016), lo que incrementa el riesgo para la población que los consume. A nivel mundial, el pulpo está presente en la dieta humana de forma extensa y diversa, siendo muy apreciado por algunos países asiáticos como China, Japón, Vietnam, Corea y algunos países del sur de Europa como Italia, España, Grecia y Portugal (FAO, 2017) quienes importan el 72.24% del total de exportaciones de pulpo producido en México (FAO, 2019).

En México, los Estados de Campeche y Yucatán son considerados como los principales productores de pulpo con fines de exportación, principalmente a la Unión Europea. De acuerdo a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), esta actividad tiene soporte en dos especies, el “pulpo rojo” *Octopus maya* y el “común” o “patón” *Octopus vulgaris*; la primera especie representa aproximadamente 75 por ciento de las capturas.

En los últimos años se ha registrado un incremento en su obtención, que en 2023 fue de 21 mil 392 toneladas con un valor comercial de 100 millones de dólares (SADER, 2023) y la generación de 15,000 empleos a pescadores, con un ingreso anual de al menos 36 millones de dólares por concepto de exportaciones, lo que posiciona al país como el tercer productor a nivel mundial (CONAPESCA, 2017; SADER, 2023).

En el Golfo de México, además de llevarse a cabo la captura de pulpo, se realizan otras actividades económicas, entre la que destaca la extracción petrolera en la Sonda de Campeche, la cual es la principal zona de aportación de petróleo al país; derivado que ahí se encuentra una zona de plataformas petroleras y donde se conoce que hay emanaciones naturales, produciendo más de 1 millón 200 mil barriles diarios de petróleo, lo que representa el 66% de la producción nacional, de acuerdo a cifras reportadas en 2019 (Alonzo, 2019), por lo que puede ser un factor de riesgo de contaminación por HAP en el pulpo capturado para la exportación.

La autoridad sanitaria mexicana realiza una serie de acciones que buscan garantizar la inocuidad del pulpo que se exporta (COFEPRIS, 2017) tales como; análisis regulares de muestras para: *E. coli*, *Salmonella spp*, *Listeria monocitogenes*, *Staphylococcus aureus*,

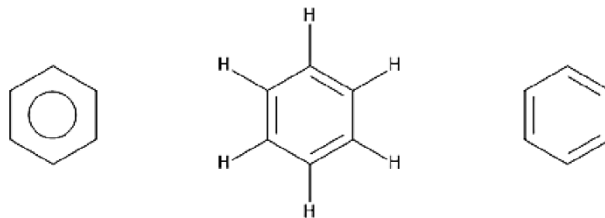
histamina, plomo, cadmio y mercurio; sin embargo, solo realiza análisis aleatorios en productos marinos de algunos establecimientos de distribución para la determinación de contaminantes considerados dentro del Reglamento 835/2011 de la Unión Europea, entre los que se encuentran los HAP (Reglamento (UE) No. 835/2011, 2011; COFEPRIS, 2017). Dada la importancia económica del producto pulpo y los empleos que éste genera a México principalmente por las exportaciones que realiza (CONAPESCA, 2017), el objetivo de este trabajo es determinar si existe presencia de HAP en el músculo de los brazos (parte comestible) del pulpo *Octopus* spp. en diferentes sitios geográficos del estado de Campeche.

### 3. Antecedentes

Los HAP son un grupo de más de 500 sustancias químicas diferentes que se forman durante la combustión incompleta del carbón, petróleo, gasolina, basura y otras sustancias orgánicas como el tabaco (Gomes *et al.*, 2013). Su presencia ubicua en la atmósfera, suelo, sedimentos, plantas y animales marinos hace que la exposición de los humanos a los mismos sea inevitable (Phillips, 1999; FAO y OMS, 2005; Semedo *et al.*, 2014).

#### 3.1. Estructura y composición de los HAP

Son compuestos orgánicos que contienen únicamente átomos de carbono e hidrógeno y se caracterizan por poseer en su estructura por lo menos un anillo bencénico (**Figura 1**; Abdel-Shafy y Mansour, 2016).



**Figura 1.** Formas de esquematizar el anillo bencénico

Químicamente, los HAP se componen de dos o más anillos aromáticos simples o fusionados con un par de átomos de carbono, dando como resultado arreglos moleculares que adquieren formas lineales, racimos o angulares (**Cuadro 1**; Abdel-Shafy y Mansour, 2016).

**Cuadro 1.** Arreglo molecular de los HAP

Anillos de benceno	Conformación	Ejemplo
	Lineal	Antraceno
	Angular	Dibenzo(a,h)antraceno
	Racimo	Pireno

Modificado de Abdel-Shafy y Mansour, 2016

### 3.2. Características físicoquímicas de los HAP

En su mayoría, los HAP son sólidos, incoloros, blancos o amarillo pálido; con altos puntos de fusión y ebullición, baja presión de vapor y muy baja solubilidad en agua. Estas dos últimas características tienden a disminuir a medida que aumenta el peso molecular y por el contrario, aumenta la resistencia a la oxidación y reducción (Masih *et al.*, 2012).

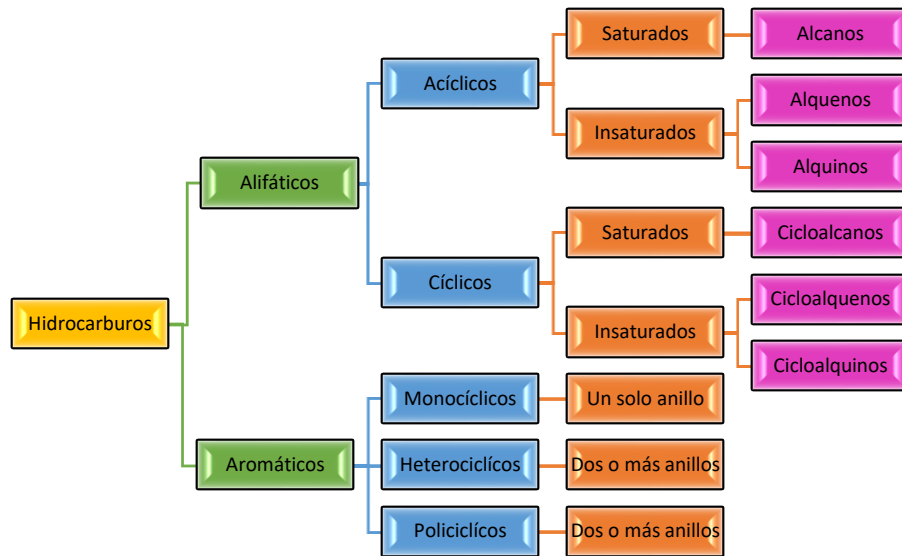
Los HAP son muy solubles en solventes orgánicos debido a que son altamente lipofílicos, también manifiestan sensibilidad a la luz, resistencia al calor, alta conductividad, capacidad de emisión y resistencia a la corrosión. Cada estructura de anillo tiene un espectro UV único, por lo que cada isómero tiene un espectro de absorbancia UV diferente, lo cual es especialmente útil en la identificación de los HAP (Akyüz y Çabuk, 2010).

### 3.3. Clasificación de los HAP

Los hidrocarburos se pueden clasificar de dos formas:

- Según su estructura y composición, como se muestra en la (**Figura 2**) (Abdel-Shafy y Mansour, 2016). Dentro de esta clasificación se encuentran los HAP con anillos de seis átomos de carbono y en los cuales se alternan enlaces sencillos y dobles. Los HAP que contienen de dos y tres anillos aromáticos fusionados a menudo se conocen como HAP de bajo peso molecular y los que contienen de cuatro a seis

anillos aromáticos se denominan HAP de alto peso molecular (Abdel-Shafy y Mansour, 2016).

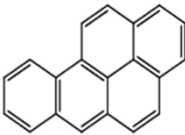


**Figura 2.** Clasificación de los Hidrocarburos

Modificado de Abdel-Shafy y Mansour, 2016

b) Según su afectación a la salud pública, como se muestra en los **Cuadros 2, 3 y 4** de acuerdo a IARC y a la EPA, se han identificado los HAP más frecuentes en alimentos clasificando a 16 como prioritarios (EPA, 1993b, 1993a; Bucheli *et al.*, 2004; IARC, 2013; ATSDR, 2016). Esta clasificación se basa en sus efecto carcinogénicos (**Cuadro 2**; Abdel-Shafy y Mansour, 2016; IARC, 2013), probables carcinogénicos (**Cuadro 3**; Abdel-Shafy y Mansour, 2016) y no carcinogénicos (**Cuadro 4**; Abdel-Shafy y Mansour, 2016).

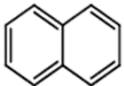
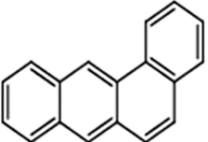
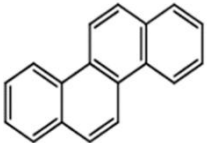
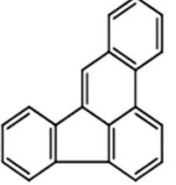
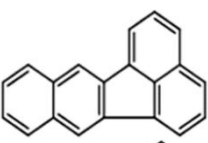
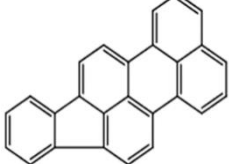
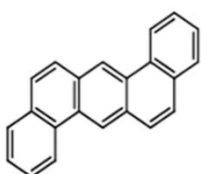
**Cuadro 2.** Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos carcinogénicos

Estructura	Fórmula química	Nombre
	$C_{20}H_{12}$	benzo(a)pireno

Modificado de Abdel-Shafy y Mansour, 2016; IARC, 2013



**Cuadro 3.** Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos posibles carcinogénicos

Estructura	Fórmula química	Nombre
	$C_{10}H_8$	naftaleno
	$C_{18}H_{12}$	benzo(a)antraceno
	$C_{18}H_{12}$	criseno
	$C_{20}H_{12}$	benzo(b)fluoranteno
	$C_{20}H_{12}$	benzo(k)fluoranteno
	$C_{22}H_{12}$	indeno(1,2,3-c,d)pireno
	$C_{22}H_{14}$	dibenzo(a,h)antraceno

Modificado de Abdel-Shafy y Mansour, 2016

**Cuadro 4.** Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos no carcinogénicos

Estructura	Fórmula química	Nombre
	$C_{12}H_{10}$	acenafteno
	$C_{12}H_8$	acenaftileno
	$C_{13}H_{10}$	fluoreno
	$C_{14}H_{10}$	fenantreno
	$C_{14}H_{10}$	antraceno
	$C_{16}H_{10}$	fluoranteno
	$C_{16}H_{10}$	pireno
	$C_{22}H_{12}$	benzo(g,h,i)perileno

### 3.4. Origen de los HAP

Según la clasificación de Gutiérrez-Urbano *et al.* (2021), los HAP se forman a partir de diversas fuentes:

- a. **Biogénicas:** se generan de manera natural a partir de seres vivos como: plantas terrestres, fitoplancton, animales, bacterias, macroalgas y microalgas y se encuentran alojados en las profundidades del subsuelo terrestre, (Fernández *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 1999; ).
- b. **Pirogénicas:** provienen de la combustión incompleta de combustibles fósiles y/o de la quema de productos orgánicos, los cuales son emitidos a la atmósfera. Durante la combustión de cualquier material que contenga carbono e hidrógeno se generan hidrocarburos, sobre todo HAP. Esto puede ocurrir durante incendios forestales o la quema intencional de vegetación (residuos de cosecha, madera), carbón, y de combustibles fósiles como petróleo crudo, gasolina, diésel, combustóleo y aceites, e incluyendo emisiones de vehículos y otros productos relacionados como el alquitrán. Los tipos de HAP producidos dependen principalmente del material, la temperatura y la relación entre combustible y aire. En general, de este origen se generan altos porcentajes de HAP de 4 o más anillos (Fernández *et al.*, 2000; Colombo *et al.*,1989; Sánchez-Palencia, Ortiz y Torres, 2015).
- c. **Petrogénicas:** generan HAP del transporte, almacenamiento y usos generalizados de petróleo crudo y productos de petróleo crudo. Algunas de las principales fuentes de HAP petrogénicas incluyen derrames de petróleo en agua dulce y oceánica, fugas en tanques de almacenamiento subterráneos y superficiales y la acumulación de grandes cantidades de pequeñas emisiones de gasolina, aceite de motor y sustancias relacionadas asociadas con el transporte. Esta fuente genera HAP con 3 o menos anillos (Sánchez-Palencia, Ortiz y Torres, 2015; Abdel-Shafy y Mansour, 2016).

Los HAP generados se incorporan a los sedimentos marinos como resultado de la escorrentía procedente de áreas urbanas y vías de comunicación (Sánchez-Palencia, Ortiz y Torres, 2015).

### 3.5. Consecuencias de los HAP en el medio acuático y productos marinos

Como ya se ha mencionado, los HAP son contaminantes ambientales ubicuos que se encuentran en los sedimentos marinos y también en las aguas asociadas con la contaminación costera y de estuarios urbanizados, así como en los ríos. Los sitios propensos a presentar contaminación por HAP son los mantos acuíferos, particularmente derivados de los derrames de petróleo. Como este tipo de compuestos no son solubles en agua, tienden a precipitarse hacia el sedimento cuando se encuentran encapsulados en algún dispersante o materia orgánica presente, en el cual su concentración puede ser de 3 a 4 veces mayor que en la columna de agua (Baali *et al.*, 2016).

Derivado de su presencia en el agua, la exposición de los animales marinos es generalizada. Sin embargo, su presencia en ellos depende de diversos factores como la preferencia de hábitat, fuentes de alimento y de la concentración de HAP que contenga el sedimento marino (Abdel-Shafy y Mansour, 2016).

La exposición a HAP es especialmente preocupante en los moluscos cefalópodos pelágicos profundos ya que en su hábitat se acumulan dichos elementos contaminantes. Así mismo y como ya se mencionó, los HAP son altamente solubles en lípidos y por lo tanto, pueden atravesar las membranas lipídicas y acumularse en estos organismos fácilmente (Roldán-Wong *et al.*, 2018).

De acuerdo a Van der Oost, Beyer y Vermeulen (2003), esta acumulación puede darse a través de dos mecanismos diferentes:

- a. Bioacumulación: a través de la acumulación de una sustancia química en un organismo al ingresar a él directamente del ambiente.
- b. Biomagnificación: a través del consumo de un alimento contaminado por una sustancia tóxica. Ésta se presenta en bajas concentraciones en organismos al principio de la cadena trófica y en mayor proporción a medida que se asciende en la misma. Esto significa que las presas tienen menor concentración de sustancias tóxicas que el depredador.

Como se ha mencionado, en el caso particular de los cefalópodos, se ha observado que tienen una capacidad reducida para metabolizar HAP, con un potencial de bioacumulación mayor que otros organismos acuáticos (Rodrigo y Costa, 2017; Romero, Judkins y Vecchione, 2020). Sumado a esto, tienen altas tasas de crecimiento, vidas cortas y alta sensibilidad a los cambios ambientales (Semedo *et al.*, 2014; Rodrigo y Costa, 2017), razón por la cual se utilizan como bioindicadores potenciales de contaminación acuática en períodos cortos (Gomes *et al.*, 2013).

El pulpo, al igual que otros cefalópodos, tiene la capacidad de bioacumular altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos en sus tejidos; es por ello que en los ecosistemas marinos, los pulpos juegan un papel clave en la transferencia de contaminantes a través de las redes alimentarias (Roldán-Wong *et al.*, 2018).

La bioacumulación de estos elementos ocurre diferencialmente en los diversos órganos y tejidos del pulpo, como la glándula digestiva, tejido branquial, manto y los brazos; estos últimos son las únicas partes consumidas por los humanos (Napoleão, Pinheiro y Sousa Reis, 2005).

Dada la capacidad de bioacumular altas concentraciones de elementos tóxicos por parte de los cefalópodos, en los últimos años y en diversas partes del mundo se ha buscado determinar la presencia y niveles de HAP, principalmente en aquellos cuyo destino es el consumo humano (Gomes *et al.*, 2013; Semedo *et al.*, 2014; Romero, Judkins y Vecchione, 2020)

Semedo *et al.* (2014) determinaron la presencia de 18 HAP en el pulpo *Octopus vulgaris* del Noreste del océano Atlántico y encontraron que las cantidades detectadas de estas sustancias en la glándula digestiva presentan estacionalidad, siendo mayores en el otoño. Mientras que en cuanto a los niveles de HAP en la parte comestible (brazos), las medias más altas de concentraciones totales fueron detectadas en orden descendente, en junio, enero, noviembre y septiembre; sin embargo, a pesar de esta estacionalidad, los niveles de HAP detectados en los brazos fueron generalmente en un orden de magnitud más bajo que en la glándula digestiva. En este estudio, el benzo(a)pireno, el único HAP clasificado por la IARC como carcinogénico conocido para los humanos, se detectó en el brazo de un solo individuo

en niveles unas 10 veces por debajo del límite máximo, (5 µg/kg peso húmedo), previamente establecido por el Reglamento de la UE para cefalópodos sin vísceras (Reglamento (UE) No. 835/2011). Los HAP clasificados por IARC como posibles carcinogénicos para los humanos (naftaleno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno) se encontraron en el brazo pero en cantidades más bajas en comparación con los límites reglamentarios de 12.0 – 30 µg/kg (Reglamento (UE) No. 835/2011). Por último, estos autores reportaron una falta general de eliminación de HAP por parte de *O. vulgaris* (Semedo *et al.*, 2014).

Oliveira *et al.* (2018) identificaron 18 HAP en los tejidos comestibles de *Octopus vulgaris*, *Octopus maya* y *Eledone cirrhosa* capturados en cuatro orígenes geográficos del océano Atlántico, en el océano Pacífico y en el mar Mediterráneo. Las concentraciones de HAP totales encontradas por estos autores oscilaron entre 8.59 y 12.8 µg/kg y estimaron un consumo *per capita* a nivel mundial de HAP por cefalópodos de  $1.62-2.55 \times 10^{-4}$  µg/kg, siendo el *Octopus vulgaris* capturado en el noroeste del Océano Atlántico el que presentó niveles significativamente más altos que los cefalópodos capturados en el Océano Pacífico y el Mar Mediterráneo, así como de las otras especies caracterizadas del Océano Atlántico. Los HAP con 2 y 3 anillos de benceno fueron los compuestos predominantes en este estudio con un 86 y 92% respectivamente.

En México, Romero *et al.* (2020) analizaron la composición y las concentraciones de HAP en cefalópodos de aguas profundas de la zona norte del Golfo de México, en diferentes periodos de tiempo. Ellos encontraron que la bioacumulación de los HAP aumenta conforme aumenta la cantidad de lípidos presente en los cefalópodos. Finalmente, estos autores observaron una abundancia similar de HAP de 3 anillos (76 a 81 % de compuestos de fenantreno, incluidos los homólogos de alquilo) y de 4 anillos (11 a 17 % de compuestos de pireno y fluoranteno, incluidos los homólogos de alquilo) entre las especies estudiadas; sin embargo, en este estudio no figuran el pulpo rojo *Octopus maya* ni el pulpo común *Octopus vulgaris*, especies capturadas en el Estado de Campeche y que México exporta a la Unión Europea.

La importancia de determinar los niveles y concentraciones de los HAP en los cefalópodos que son consumidos por el ser humano y del agua en donde ellos habitan, radica en los

diversos efectos que éstos pueden causar a la salud, ya que, debido a sus características físicas y químicas antes mencionadas, los HAP pueden absorberse fácilmente en el tracto gastrointestinal de los mamíferos, incluido el ser humano (Abdel-Shafy y Mansour, 2016). Una vez que los HAP son ingeridos, se considera que su mecanismo de toxicidad está en la interferencia que realizan con la función de las membranas celulares, así como con los sistemas enzimáticos que están asociados con la membrana. Por otro lado, los metabolitos reactivos de algunos HAP, como los epóxidos y los dihidrodioles, son capaces de unirse a las proteínas celulares y al ADN ocasionando daño celular lo que conduce a mutaciones, malformaciones del desarrollo, tumores y cáncer (Armstrong *et al.*, 2004; Bach *et al.*, 2005). Sin embargo, es importante considerar que una variedad de otros factores también pueden afectar el impacto que los HAP tienen en la salud, incluidos factores como el estado de salud preexistente y la edad (ACGIH, 2022).

### **3.6. Regulaciones en relación con los HAP**

Con respecto a la regulación de los HAP a nivel mundial, las Normas Alimentarias del *Codex alimentarius* no ha incluido los Límites Máximos de Residuos (LMR) para estos productos (FAO y OMS, 2018); a nivel nacional se encuentra la *NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba*, que tampoco los ha considerado (SSA, 2009).

La Dirección General de Salud y Protección a los Consumidores (SANTE) de la Unión Europea solicita realizar muestreos aleatorios en algunos establecimientos para la determinación de dioxinas, policlorobifenilos (PCB) derivados de dioxinas y contaminantes considerados dentro del Reglamento 835/2011, entre los que se encuentran los contenidos máximos de HAP. En moluscos frescos, refrigerados y congelados establece contenidos máximos de 5 µg/kg de benzo(a)pireno y de 30 µg/kg para la suma de 4 HAP (benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno y criseno) (Reglamento (UE) No. 835/2011).

## **2. Objetivo general**

Determinar la presencia y concentración de HAP en el músculo de pulpo *Octopus* spp. capturado en diferentes zonas geográficas del Golfo de México en el Estado de Campeche.

### **2.1. Objetivos específicos**

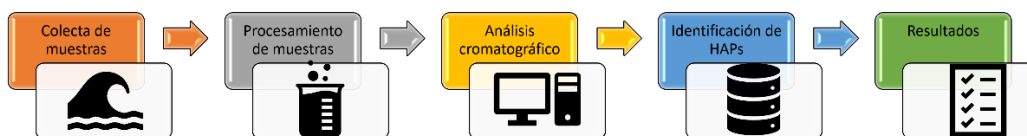
- 2.1.1. Seleccionar tres zonas geográficas en el Golfo de México correspondientes a zonas de captura de pulpo *Octopus* spp. en el estado de Campeche, basadas en el estudio Arcega, *et al* (2020), el volumen de producción de pulpo y en la actividad petrolera y antropogénica del estado de Campeche
- 2.1.2. Determinar la presencia de HAP en muestras de tejido muscular en brazos de pulpo *Octopus* spp. de las tres zonas seleccionadas.
- 2.1.3. Determinar la concentración de HAP en muestras de tejido muscular en brazos de pulpo *Octopus* spp. de las tres zonas seleccionadas y comparar los valores obtenidos respecto a la legislación.



### 3. Metodología

#### Estrategia general

En el presente estudio se seleccionaron diferentes zonas geográficas de captura de pulpo *Octopus spp.*, en el Estado de Campeche. Posteriormente, se realizó la captura de pulpo en estas zonas y se analizó el tejido muscular de los brazos de pulpo (parte comestible) con la finalidad de determinar la presencia y concentración de HAP (**Figura 3**).



**Figura 3.** Diagrama de flujo de la estrategia general del trabajo

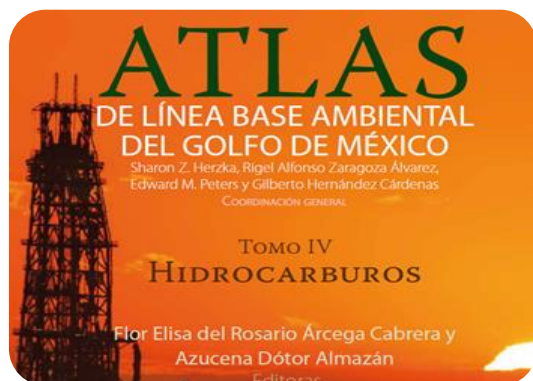
#### Análisis FODA

Para llevar a cabo el Diagnóstico de Situación se realizó antes, durante y después del desarrollo del presente trabajo, el análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) el cual se presenta en los **Anexos 1, 2 y 3**. Así mismo, del **anexo 5 al 14** se presentan características generales y actividades económicas del estado de Campeche, México.

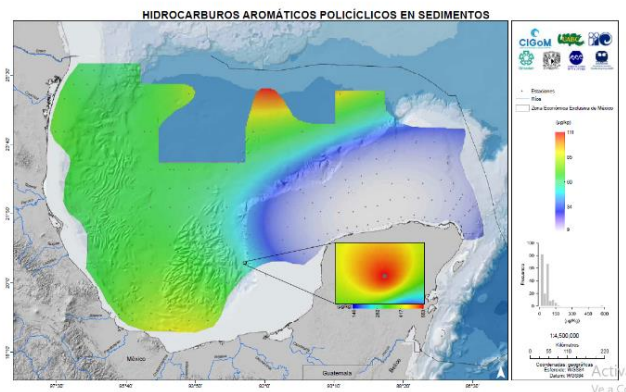
#### Selección de las zonas geográficas

La selección de las tres zonas geográficas de captura de pulpo en el Golfo de México en el Estado de Campeche se basó en información de:

- ATLAS de línea base ambiental del Golfo de México para Hidrocarburos (Arcega, *et al* 2020), (**Figura 4**) en el cual se muestran las tendencias de concentración, conformadas por cálculos que representan el promedio de dos o tres mediciones en un sitio y son representados en mapas que abarcan el Golfo de México; para este caso se utilizaron los valores para HAP en sedimentos (**Figura 5**)
- Actividades petroleras y urbanas en las regiones del Estado de Campeche
- Actividades de obtención de pulpo en las regiones del Estado de Campeche
- El Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Campeche



**Figura 4.** Atlas de línea base ambiental del Golfo de México

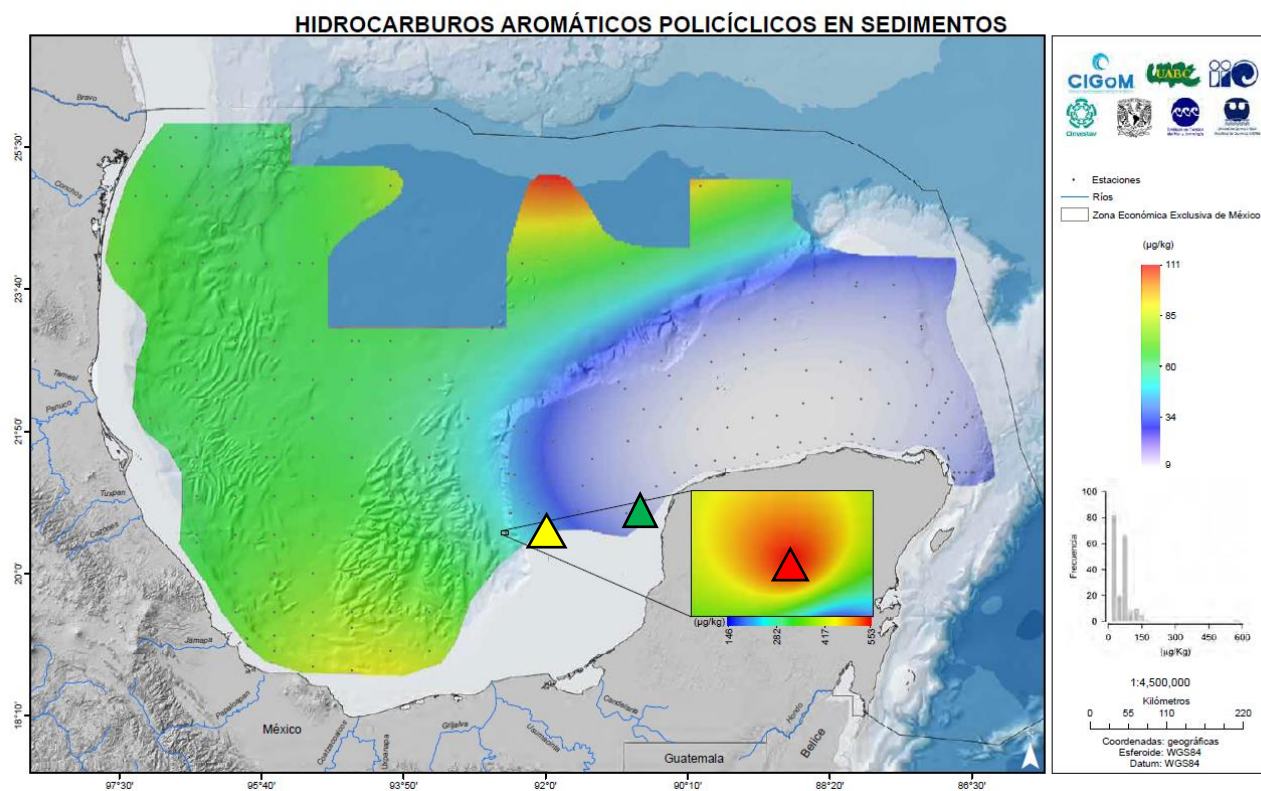


**Figura 5.** Mapa de concentraciones de HAP en sedimentos del Golfo de México

### Recolección y tamaño de muestra

En el periodo comprendido de noviembre a diciembre de 2022 se visitaron las tres zonas geográficas seleccionadas para realizar el muestreo. Las zonas se presentan de manera general en la **(Figura 6)**, a solicitud del grupo que apoyó en la colecta de muestras, se omitirá el nombre de cada una de las zonas y en adelante se hará referencia a ellas como Zona 1, Zona 2 y Zona 3. La captura de pulpo se desarrolló con base en lo estipulado en la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SAG/PESC-2015, para ordenar el aprovechamiento de las especies de pulpo en las aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe, la cual establece como método permitido para realizar la captura de pulpo el de gareteo mediante una embarcación menor equipada con un motor fuera de borda con una potencia nominal máxima de hasta 115 caballos de fuerza, con un máximo de dos alijos, cuatro pescadores y hasta siete líneas cada una y hasta cinco líneas más en un costado de la embarcación **(Figura 7)**. Por su parte, la Norma Oficial Mexicana NOM-009-PESC-1993, establece el procedimiento para determinar las épocas y zonas de veda permitida de las diferentes especies de la flora y fauna acuáticas en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos, indicando el periodo de veda del 01 de enero al 31 de julio y el permiso de captura del 01 de agosto al 31 de diciembre; además, en el Acuerdo por el que se establece la equivalencia en peso de la talla mínima de captura para las especies de pulpo rojo (*Octopus maya*) y pulpo patón (*Octopus vulgaris*) en aguas marinas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe se especifica una equivalencia en peso de la talla mínima de captura de 110 milímetros de longitud de manto a 450 gramos de peso entero,

para las especies de pulpo rojo (*Octopus maya*). Para evitar cualquier sesgo potencial de individuos de tamaño o peso extremos, todos los pulpos elegidos para el análisis de laboratorio se encontraron dentro de un peso promedio de  $455 \pm 5$  g (**Figura 8**).



**Figura 6.** Mapa de concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en sedimentos del Golfo de México, tomado del ATLAS de línea base ambiental del Golfo de México para Hidrocarburos (Arcega, *et al* 2020) y donde se señalan las 3 zonas de muestreo para este estudio.



**Figura 7.** Embarcaciones menores



**Figura 8.** Pulpo capturado

Una vez seleccionados, a los pulpos se les dio muerte mediante el método físico de transección del tejido nervioso, el cual es descrito y avalado por la Guidelines-on-Euthanasia-2020 de la American Veterinary Medical Association (AVMA) para invertebrados acuáticos cuyo destino es el consumo humano (Leary, 2020).

El tamaño de muestra fue calculado con base a la metodología de Canon&Roe (2001), con lo cual se obtuvo un total de 20 pulpos por cada zona.

$$n \cong \frac{(1 - (1 - NC)^{1/D})(N - \frac{1}{2}(SeD - 1))}{Se}$$

FORMULA SEGUN CANNON (2001)

Donde:

n = tamaño de muestra necesario

N = tamaño de la población base

D = prevalencia esperada

NC= nivel de confianza

Se= Sensibilidad

### Transporte y conservación de la muestra

Una vez obtenidos en la embarcación, los pulpos fueron colocados en bolsas de plástico de cierre hermético. Cada bolsa se identificó con los datos del sitio de captura y número de muestra (**Figura 9**) y fueron conservados a 4°C mediante el uso de cajas isotérmicas con hielo en escama (**Figura 10**). Posteriormente se trasladaron para su análisis al Laboratorio de Ciencias Ambientales Costeras (Laboratorio B) de la Unidad de Química en Sisal de la Facultad de Química de la UNAM en Sisal, Yucatán (**Figura 11 y Figura 12**).





**Figura 9.** Bolsas de cierre hermético identificadas para cada zona de muestreo



**Figura 10.** Cajas isotérmicas para conservación de muestras



**Figura 11.** Unidad Académica Yucatán



**Figura 12.** Unidad de Química en Sisal, Facultad de Química, UNAM, sede Sisal, Yucatán.

En el laboratorio, se tomaron porciones aleatorias del brazo de pulpo de 100 g, incluyendo piel y ventosas. Dichas muestras fueron cortadas en trozos de 1 cm<sup>3</sup> y colocados en bolsas de plástico de cierre hermético. Cada bolsa se identificó con los datos del sitio de captura y número de muestra y fueron ultracongeladas a -69°C durante 24 h, para su posterior procesamiento en la liofilizadora.

### **Procesamiento de la muestra**

#### *Liofilización*

Las muestras congeladas se colocaron en una liofilizadora de la marca Labconco® modelo Free Zone® 998778, para llevar a cabo la separación del agua del músculo por sublimación (**Figura 13**).

Para acelerar el proceso se utilizaron 3 ciclos de congelación- sublimación, con los que se consiguió eliminar prácticamente la totalidad del agua libre contenida en el producto original, preservando la estructura molecular de la sustancia liofilizada, en este caso el músculo. La presión que se utilizó para liofilizar la muestra fue de 0.200 mBar y una temperatura de  $-51^{\circ}\text{C}$  (**Figura 14**).



**Figura 13.** Liofilizadora marca Labconco® modelo Free Zone® 998778



**Figura 14.** Brazos de pulpo liofilizándose

### *Homogenización*

Las muestras ya completamente liofilizadas fueron homogeneizadas con ayuda de una batidora sumergible marca Oster® (**Figura 15**), hasta obtener una partícula fina (**Figura 16**) y fueron almacenadas en bolsas de plástico con cierre hermético, las cuales fueron identificadas cada una con la zona y el número de muestra, siendo conservadas a temperatura ambiente para su posterior análisis. Todo el material empleado fue lavado con jabón libre de fosfatos, agua destilada y acetona. Excepto en el caso de la cristalería volumétrica; antes de ser utilizado el material de vidrio fue horneado a  $450^{\circ}\text{C}$  durante tres horas para evitar contaminación cruzada con otros compuestos orgánicos.



**Figura 15.** Muestras homogeneizadas con ayuda de una batidora sumegible marca Oster®



**Figura 16.** Muestra de pulpo liofilizada y homogeneizada en partícula fina

### *Extracción de Hidrocarburos*

La extracción de Hidrocarburos de cada una de las muestras se llevó a cabo asistida por ultrasonido (USE); para ello se empleó un procesador ultrasónico marca Cole Parmer® y se realizaron 3 extracciones con diferentes disolventes orgánicos durante 2 minutos continuos a 70% de amplitud (**Figura 17 y Figura 18**). Para evitar la contaminación de las muestras entre cada homogenización se limpió la sonda ultrasónica con acetona y agua destilada.



**Figura 17.** Procesador ultrasónico marca Cole Parmer®

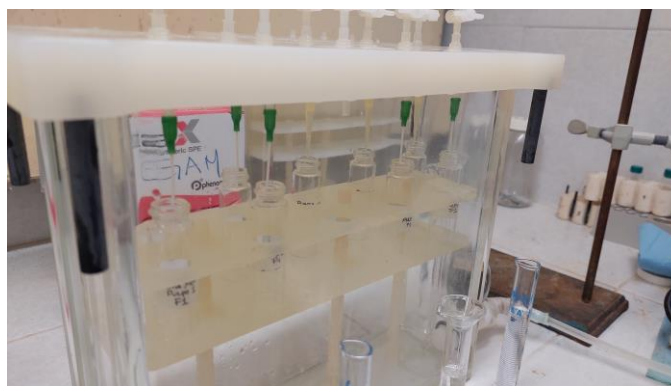


**Figura 18.** Extracción de Hidrocarburos de cada una de las muestras asistida por ultrasonido

Para hacer más eficiente el análisis, una vez extraídas las muestras, fue necesario eliminar posibles interferencias (lípidos, pigmentos, azúcares, entre otros) presentes en el tejido muscular de los pulpos y que pudieran ser detectados en los cromatogramas, por lo que los extractos de las muestras fueron colocados en tubos QuEChERS®, tecnología empleada en la limpieza de muestras para mejorar los procedimientos analíticos.

### *Purificación*

Para realizar la purificación o separación de los extractos en fracciones, se realizó una en fase sólida (SPE) con base en el método 8270 D de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), con modificaciones. Se utilizaron cartuchos de extracción en fase sólida de C-18 de 1 g/6 mL, los cuales fueron acondicionados antes de pasar los extractos a través de ellos y posteriormente se realizó una elución secuencial con diferentes disolventes orgánicos para recuperar los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (**Figura 19**).



**Figura 19.** Purificación en fase sólida de las muestras

### *Identificación y cuantificación de HAP*

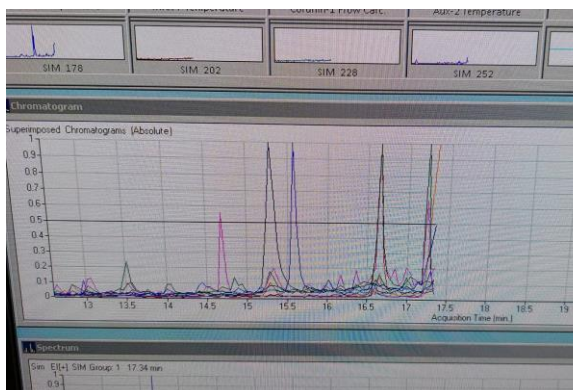
La identificación y cuantificación de compuestos individuales se realizó por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) (**Figura 20 y Figura 21**), considerando los 16 HAP prioritarios establecidos por la EPA: naftaleno, acenafteno, acenaftileno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno/benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, benzo(g,h,i)perileno, indeno(1,2,3-c,d)pireno y dibenzo(a,h)antraceno; aunque es importante resaltar que el método cromatográfico empleado no permite la separación del benzo(b)fluoranteno y del benzo(k)fluoranteno, por lo que en este trabajo se reportan como la sumatoria de la concentración de dichos compuestos benzo(b) + benzo(k)fluoranteno.

El análisis se realizó a través de un monitoreo selectivo de iones (modo SIM), considerando un ion de cuantificación o ion principal y al menos un ion calificador. La cuantificación de cada compuesto individual se basó en curvas de calibración preparadas a partir de estándares analíticos para cada una de las muestras de las tres zonas de muestreo.





**Figura 20.** Cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas



**Figura 21.** Cromatograma de HAP

### *Identificación de compuestos de interés*

Se consideró positiva la identificación de un compuesto si éste cumplía con los siguientes criterios:

- Tiempo de retención del ión principal incluido en el intervalo de  $\pm 1\%$  del tiempo de retención promedio del analito en las soluciones de calibración.
- Presencia del ion calificador
- Tener un índice de similitud (ISIM)  $\geq 70\%$

$$ISIM = Abs \left\{ 1 - Abs \left[ \frac{(RI_m RIC)}{RIC} \right] \right\}$$

En donde  $RI_m$  y  $RIC$  son respectivamente para la muestra y la calibración, las razones del área integrada para el ion calificador, entre el área integrada para el ion principal.

Las muestras que no cumplieron con esos criterios se consideraron no detectados.

### *Análisis estadístico*

El análisis estadístico del número de casos positivos en las diferentes zonas de muestreo se realizó a través de tablas de contingencia. Para determinar la diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre las zonas de muestreo se empleó la prueba de  $\chi^2$ , utilizando el programa SPSS® Statistics v.20.0.0 de IBM Inc® (IBM Corporation).

Las concentraciones de los HAP en brazos de pulpo se analizaron mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis, las diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) obtenidas en las medias se compararon entre sí a través de la prueba de Dunn utilizando el programa JMP® versión 10 (SAS, 1998).

#### 4. Resultados

De los 15 HAP cuantificados en este estudio y clasificados como prioritarios por la EPA y la IARC, se determinó la presencia de 9 HAP para la zona 1, 8 para la zona 2 y 7 para la zona 3 (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos identificados en las tres zonas de muestreo

HAP	Zona 1	Zona 2	Zona 3
naftaleno	+	+	+
acenafteno	+	+	+
acenaftileno	+	+	+
fluoreno	+	+	+
fenantreno			
antraceno		+	
fluoranteno			
pireno		+	+
benzo(a)antraceno	+	+	+
criseno	+	+	+
benzo(b)fluoranteno/benzo(k)fluoranteno			
benzo(a)pireno	+		
benzo(g,h,i)perileno	+		
indeno(1,2,3-c,d)pireno			
dibenzo(a,h)antraceno	+		

De los HAP detectados, se determinó el número de pulpos positivos para cada hidrocarburo en las diferentes zonas de captura (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Número de casos positivos para la presencia de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en brazos de pulpo en cada una de las zonas de muestreo (n=20)

Anillos	HAP	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Total
Benceno					
2	naftaleno	10 <sup>ab</sup>	5 <sup>b</sup>	13 <sup>a</sup>	28
2	acenafteno	8	6	6	20
3	acenaftileno	1	5	2	8
3	fluoreno	8	12	8	28
3	antraceno	0	3	0	3
4	pireno	0	1	1	2
4	benzo(a)antraceno	6	4	9	19
4	criseno	1	2	3	6
5	benzo(a)pireno	2 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	2
5	dibenzo(a,h)antraceno	2 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	2
6	benzo(g,h,i)perileno	3 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	3

Valores dentro del mismo renglón con literales diferentes representan diferencias significativas (P<0.05)

Se determinó la concentración en ng/g peso seco de los HAP en brazos de pulpo en las diferentes zonas de muestreo. En el (**Cuadro 7**) se presentan las concentraciones promedio, la desviación estándar y el mínimo y máximo de cada uno de los HAP individuales detectados en los 60 pulpos analizados.

**Cuadro 7.** Promedio, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo de las concentraciones (ng/g, peso seco) de HAP detectados en brazos de pulpo (*Octopus spp.*) capturados en las diferentes zonas de muestreo (n=20).

Concentraciones en ng/g		ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
Naftaleno	Media ± DE	13.39 ± 17.41 <sup>ab</sup>	5.08 ± 12.66 <sup>b</sup>	21.97 ± 25.48 <sup>a</sup>
	Mínimo	n.d.	n.d.	n.d.
	Máximo	44.38	49.43	90.73
Acenaftileno	Media ± DE	0.20 ± 0.91	0.16 ± 0.29	0.07 ± 0.22
	Mínimo	n.d.	n.d.	n.d.
	Máximo	4.06	0.82	0.79
Acenafteno	Media ± DE	0.44 ± 0.44 <sup>a</sup>	0.15 ± 0.25 <sup>b</sup>	0.13 ± 0.23 <sup>b</sup>
	Mínimo	n.d.	n.d.	n.d.
	Máximo	1.58	0.74	0.78
Fluoreno	Media ± DE	0.13 ± 0.17	0.23 ± 0.22	0.11 ± 0.14
	Mínimo	n.d.	n.d.	n.d.
	Máximo	0.55	0.73	0.35
Antraceno	Media ± DE		0.02 ± 0.05	
	Mínimo	n.d.	n.d.	n.d.
	Máximo		0.17	
Pireno	Media ± DE		0.10 ± 0.49	0.09 ± 0.44
	Mínimo	n.d.	n.d.	n.d.
	Máximo		2.19	1.97
Benzo(a)antraceno	Media ± DE	3.78 ± 5.93	2.89 ± 6.07	6.89 ± 7.99
	Mínimo	n.d.	n.d.	n.d.
	Máximo	13.49	19.12	19.76
Criseno	Media ± DE	0.10 ± 0.46	0.01 ± 0.05	0.7 ± 1.23
	Mínimo	n.d.	n.d.	n.d.
	Máximo	2.09	0.25	5.50
Benzo(a)pireno	Media ± DE	0.63 ± 2.21		
	Mínimo	n.d.	n.d.	n.d.
	Máximo	9.53*		
Dib(ah)antraceno	Media ± DE	40.31 ± 175.64		
	Mínimo	n.d.	n.d.	n.d.
	Máximo	786.29		
B(ghi)perileno	Media ± DE	409.06 ± 1021.46		
	Mínimo	n.d.	n.d.	n.d.
	Máximo	3315.11		

Valores dentro del mismo renglón con literales diferentes representan diferencias significativas (P<0.05)

n.d. = no detectado

\* 9.53 ng/g de benzo(a)pireno, valor por encima de la regulación mundial

Para el caso de naftaleno, se determinó la presencia de este hidrocarburo en las tres zonas de captura; del 100% de los pulpos positivos en cada sitio de muestreo, 35.7%, 17.9% y 46.4% presentaron este compuesto en la zona 1, 2 y 3 respectivamente, encontrándose una diferencia significativa entre la zona 2 y la zona 3. Con respecto a la concentración promedio de este HAP en los brazos de pulpo, también existió una diferencia significativa entre las zonas 2 y 3, registrando una mayor concentración promedio en la zona 3 (21.97 ng/g peso seco).

En cuanto al acenaftileno, se determinó la presencia de este hidrocarburo en las tres zonas de captura; del 100% de los pulpos positivos en cada sitio de muestreo, en 12.5%, 62.5% y 25% se detectó este compuesto en la zona 1, 2 y 3 respectivamente; sin diferencias significativas en el número de casos positivos. Con respecto a la concentración promedio en ng/g en peso seco de este HAP en brazos de pulpo, no existieron diferencias significativas entre las zonas de muestreo, no obstante, el valor máximo se registró en la zona 1 (4.06 ng/g peso seco).

Respecto al acenafteno, se determinó la presencia de este hidrocarburo en las tres zonas de captura; del 100% de los pulpos positivos en cada sitio de muestreo, 40%, 30% y 30% presentaron este compuesto en la zona 1, 2 y 3 respectivamente, sin diferencia significativa entre las zonas de captura. En relación con la concentración promedio de este HAP en los brazos de pulpo, se encontró una diferencia significativa entre la zona 1 (0.44 ng/g peso seco) comparada con las zonas 2 y 3 (0.15 y 0.13 ng/g peso seco respectivamente).

Con referencia al fluoreno, se determinó la presencia de este hidrocarburo en las tres zonas de captura; del 100% de los pulpos positivos en cada sitio de muestreo, en 28.6%, 42.9% y 28.6% se registró este compuesto en la zona 1, 2 y 3 respectivamente, sin diferencia significativa entre las zonas. En lo que concierne a la concentración promedio de este HAP en los brazos de pulpo, no existieron diferencias significativas entre las zonas, no obstante, el valor máximo registrado se observó en la zona 2 (0.73 ng/g peso seco).

Sobre el antraceno, este HAP sólo fue identificado en la zona 2 en el 15% de los pulpos capturados (n=20) con una concentración promedio de 0.02 ng/g peso seco en tejido de brazos de pulpo.

En lo relativo a pireno, se determinó la presencia de este hidrocarburo únicamente en las zonas de captura 2 y 3; del 100% de los pulpos positivos en los sitios de muestreo, 50%, y 50% presentaron este compuesto, sin diferencia significativa entre las zonas de muestreo. En lo que atañe a la concentración promedio en ng/g peso seco de este HAP en brazos de pulpo, no existieron diferencias significativas entre las zonas de muestreo, no obstante, el valor máximo se registró en la zona 2 (2.19 ng/g peso seco).

En relación al benzo(a)antraceno, se determinó la presencia de este hidrocarburo en las tres zonas de captura; del 100% de los pulpos positivos en cada sitio de muestreo, en 31.6%, 21.1% y 47.4% se detectó este compuesto en la zona 1, 2 y 3 respectivamente, sin diferencias significativas en el número de casos positivos. Con respecto a la concentración promedio ng/g en peso seco de este HAP en los brazos de pulpo, no existieron diferencias significativas entre las zonas de muestreo, no obstante, el valor máximo se registró en la zona 3 (19.76 ng/g peso seco).

En lo que se refiere a criseno, se determinó la presencia de este hidrocarburo en las tres zonas de captura; del 100% de los pulpos positivos en cada sitio de muestreo, 16.7%, 33.3% y 50% presentaron este compuesto en la zona 1, 2 y 3 respectivamente, sin diferencias significativas en el número de casos positivos. En torno a la concentración promedio en ng/g peso seco de este HAP en los brazos de pulpo, no existieron diferencias significativas entre las zonas de muestreo, no obstante, el valor máximo registrado se observó en la zona 3 (5.50 ng/g peso seco).

En lo concerniente al benzo(a)pireno, este HAP fue identificado únicamente en la zona 1 en el 10% de los pulpos capturados (n=20), con una concentración promedio de 0.63 ng/g peso seco en los brazos de los pulpos, no obstante, la regulación de los HAP a nivel mundial en cuanto a los contenidos máximos de este contaminante en moluscos frescos, refrigerados y congelados, establece valores máximos de 5 µg/kg de benzo(a)pireno, y este límite fue superado en un pulpo colectado en la Zona 1 (9.53 ng/g peso seco).

Con referencia al dibenzo(a,h)antraceno, este HAP sólo fue identificado en la zona 1 en el 10% de los pulpos capturados (n=20) con una concentración promedio de 40.31 ng/g peso seco en tejido de brazos de pulpo.

Finalmente en lo que atañe al benzo(g,h,i)perileno, este HAP sólo fue identificado en la zona 1 en el 15% de los pulpos capturados, con una concentración promedio de 409.06 ng/g peso seco en brazos de pulpo.

Los 15 HAP determinados tienen en su estructura de 2 a 6 anillos bencénicos y pueden agruparse de acuerdo a su peso molecular. Los compuestos de 2 a 3 anillos bencénicos se consideran de bajo peso molecular (BPM) y en este estudio se detectaron: naftaleno, acenaftileno, acenafteno y fluoreno. Los compuestos de 4 a 6 anillos bencénicos se consideran de alto peso molecular (APM) y en la presente investigación se detectaron: pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(a)pireno, benzo(ghi)perileno, y dibenzo(ah)antraceno (**Cuadro 8**).

**Cuadro 8.** Promedio, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo de las sumas de las concentraciones (ng/g, peso seco) de HAP de bajo peso molecular, alto peso molecular y totales detectados en brazos de pulpo (*Octopus spp.*) capturados en las diferentes zonas de muestreo.

Anillos Benceno	Clasificación HAP	Concentración ng/g	Zona 1	Zona 2	Zona 3
2	∑ BPM	Media ± DE	14.17 ± 17.32 <sup>ab</sup>	5.65 ± 12.46 <sup>b</sup>	22.29 ± 25.42 <sup>a</sup>
3		Mínimo	n. d.	n. d.	n. d.
		Máximo	44.95	49.43	91.51
4	∑ APM	Media ± DE	453.88 ± 1,098.39 <sup>a</sup>	3.01 ± 6.03 <sup>b</sup>	7.26 ± 8.01 <sup>b</sup>
5		Mínimo	n. d.	n. d.	n. d.
6		Máximo	3,315.11	19.12	21.74
	∑ HAP Totales	Media ± DE	468.06 ± 1,096.49 <sup>a</sup>	8.67 ± 15.78 <sup>b</sup>	29.55 ± 24.67 <sup>b</sup>
		Mínimo	n. d.	n. d.	n. d.
		Máximo	3,315.11	62.33	91.51

Valores dentro del mismo renglón con literales diferentes representan diferencias significativas (P<0.05)

BPM = Bajo Peso Molecular

APM = Alto Peso Molecular

n.d. = no detectado

Para el caso de los  $\Sigma$  HAP BPM, se determinó una concentración promedio de 14.17, 5.65 y 22.29 en ng/g peso seco en tejido de brazos de pulpo para las zonas 1, 2 y 3 respectivamente, encontrándose una diferencia significativa entre la zona 2 y la zona 3, registrándose una mayor concentración promedio en la zona 3.

En relación a los  $\Sigma$  HAP APM, se determinó una concentración promedio de 453.88, 3.01 y 7.26 en ng/g peso seco de brazos de pulpo para las zonas 1, 2 y 3 respectivamente, encontrándose una diferencia significativa entre la zona 1 con respecto a las zonas 2 y 3, observándose una mayor concentración promedio en la zona 1.

Con respecto a la  $\Sigma$  HAP Totales, se determinó una concentración promedio ( $\pm$  una desviación estándar) ng/g en peso seco en tejido de brazos de pulpo para la zona 1 de  $468.06 \pm 1,096.49$  con un máximo 3,315.11, para la zona 2 de  $8.67 \pm 15.78$  con un valor máximo de 62.33 y para la zona 3 de  $29.55 \pm 24.67$  con un valor máximo de 91.51, encontrándose una diferencia significativa entre la zona 1 con respecto a las zonas 2 y 3, registrándose una mayor concentración promedio en la zona 1.

Respecto a la regulación de la suma de 4 HAP (benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno y criseno), todos los pulpos se encontraron por debajo de  $30 \mu\text{g}/\text{kg}$  en las tres zonas de muestreo, registrándose máximos de la  $\Sigma$  benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno y criseno de 13.49, 19.2 y 19.77 en ng/g en peso seco para la Zona 1, Zona 2 y Zona 3, respectivamente (**Cuadro 9**).

**Cuadro 9.** Valores máximos de la  $\Sigma$  benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno y criseno. (ng/g peso seco)

<b>BaPir+BaAnt+BbFluor+Cris</b>	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 3</b>
Media $\pm$ DE	4.51 $\pm$ 5.86	2.90 $\pm$ 6.06	7.16 $\pm$ 7.83
Mínimo	n.d.	n. d.	n. d.
Máximo	13.49	19.12	19.77

n.d. = no detectado



## 5. Discusión

De los 16 HAP prioritarios según la EPA y la IARC, 11 fueron identificados en este trabajo. En la zona 1 se determinaron nueve, de los cuales, uno se encuentra clasificado como carcinogénico: el benzo(a)pireno, y cuatro como posibles carcinogénicos: naftaleno, benzo(a)antraceno, criseno y dibenzo(a,h)antraceno. De acuerdo con Arcega, *et al* 2020, esta zona presenta concentraciones de HAP en sedimentos de 111  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , y es la concentración más alta reportada para esta zona del Estado de Campeche, debido a que se encuentra localizada cerca de áreas donde se desarrollan una gran cantidad de actividades petroleras, cerca de la terminal portuaria más importante de exportación de crudo del país (Peraza, 2014)(Comunicación directa CESAICAM).

En cuanto a la presencia de naftaleno, benzo(a)antraceno, criseno, y benzo(a)pireno en la zona 1, clasificados como carcinogénicos y posibles carcinogénicos, la Dirección General de Salud y Protección a los Consumidores (SANTE) de la Unión Europea (donde se exporta este producto) en su Reglamento 835/2011 establece los contenidos máximos de HAP en moluscos frescos, refrigerados y congelados en 5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de benzo(a)pireno, encontrándose un pulpo con concentraciones por arriba de este valor. Respecto al límite de 30  $\mu\text{g}/\text{kg}$  para la suma de 4 HAP (benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno y criseno) (Reglamento (UE) No. 835/2011, 2011), no se encontraron concentraciones en pulpos que rebasaran este valor. Ante estos resultados, es importante monitorear de forma regular la presencia de estos HAP en esta zona y realizar estudios con un mayor número de muestras.

Para la zona 2 y la zona 3 se determinaron ocho y siete HAP respectivamente. Tres son clasificados como posibles carcinogénicos: naftaleno, benzo(a)antraceno y criseno. De acuerdo con Arcega, *et al* 2020, la zona 2 presenta concentraciones de HAP en sedimentos de 60  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , mientras que para la zona 3 se reporta una concentración de 34  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , valores intermedios y bajos para estas zonas del Estado de Campeche. En la zona 2 se desarrollan actividades petroleras y asentamientos poblacionales en menor grado que la zona 1; y la zona 3 está más alejada de las actividades petroleras y los asentamientos poblacionales (Peraza, 2014).

La presencia de HAP en las tres zonas de muestreo se puede explicar con lo descrito por Pérez (2006), quien menciona que los asentamientos poblacionales y las refinerías de petróleo que se encuentran en las cercanías de las zonas costeras, unido a los vertimientos de residuos industriales y domésticos, contribuyen a que gran cantidad de hidrocarburos lleguen al mar a través de las corrientes fluviales y los drenajes pluviales.

La presencia de HAP de 5 y 6 anillos de benceno (alto peso molecular) en la zona 1 puede ser relevante, ya que de acuerdo con la Agencia para Sustancias Tóxicas y el registro de enfermedades (ATSDR), a mayor cantidad de anillos, los HAP presentaran mayor hidrofobicidad, persistencia y probabilidad de ocasionar efectos tóxicos (carcinogénicos y posibles carcinogénicos).

Al igual que en la investigación de Semedo *et al.* (2014), en el presente estudio fueron determinados HAP posibles carcinogénicos como: naftaleno, benzo(a)antraceno y criseno en la zona 1, zona 2 y zona 3, mientras que para la zona 1 además se determinó la presencia de benzo(a)pireno (el único HAP clasificado por la IARC como carcinogénico conocido para los humanos).

Respecto al estudio de Romero *et al.* (2020) en el Golfo de México, ellos determinaron HAP de 3 y 4 anillos, mientras que en el presente estudio además de encontrarse HAP con el mismo número de anillos, se identificaron de 5 y 6.

Los  $\Sigma$  HAP APM tuvieron una mayor concentración promedio en la zona 1, lo cual puede explicarse dado que esta zona se encuentra localizada cerca de las áreas donde se desarrollan una gran cantidad de actividades petroleras, sumado a otras fuentes de hidrocarburos de petróleo e hidrocarburos aromáticos policíclicos que inciden en el área a partir de descargas industriales y municipales que alcanzan la zona por vía de escurrimientos de ríos y descargas costeras, producción biológica *in situ*, "chapopoterías", (como se denominan en México) provenientes de afloramientos naturales marinos, deposiciones atmosféricas y la intensa actividad de botes pesqueros y comerciales, (González-Macías, 1997; PEMEX, 2002, Peraza, 2014).

Para el caso de los  $\Sigma$  HAP BPM se registró una mayor concentración promedio en la zona 3, lo cual podría explicarse por la creación de vertederos originados por el exceso de basura en esta zona y que terminan en el mar, deposiciones atmosféricas, así como por embarcaciones dedicadas al transporte de personas y actividades de pesca, debido a que los derivados del petróleo son empleados ampliamente por ellas, y es frecuente que existan liberaciones accidentales, (González-Macías, 1997, Arcega, *et al* 2020, Comunicación directa CESAICAM, 2022). Aunque esta zona se encuentra cerca de la provincia petrolera denominada Plataforma de Yucatán, actualmente no existen pozos productores y hay poca información Geoquímica, por lo que se considera un sistema petrolero hipotético (Arcega, *et al* 2020), razón por la cual la presencia de estos HAP en esta zona puede deberse principalmente a las actividades antropogénicas antes mencionadas y a las estelas marinas contaminadas que pueden representar la fuente más importante de petróleo en aguas oceánicas alejadas de la costa (Arcega, *et al* 2020). En este caso es importante considerar que los HAP de bajo peso molecular poseen una toxicidad aguda, por lo cual también es importante llevar a cabo su monitoreo regular.

Otro punto importante a considerar para caracterizar el riesgo, es el origen de los HAP, ya que son compuestos presentes en todos los ecosistemas y que provienen de fuentes diversas. Por ejemplo, en la tres zonas se tuvo presencia de naftaleno, aunque tuvo mayor concentración en la zona 3, el cual es un compuesto aromático indicativo de origen biogénico (Wilcke *et al.*, 2004), pero que también puede provenir de actividades de la industria petrolera (Arcega, *et al* 2020) por su presencia en un elevado porcentaje de los pulpos muestreados, su concentración y al haberse encontrado en todas las zonas, es altamente probable que su origen sea de naturaleza antrópica y no biogénica. En este estudio también se determinaron HAP formados por 4, 5 y 6 anillos bencénicos, tales como el antraceno, pireno, benzo(a)antraceno y benzo(a)pireno, los cuales son clasificados como de origen pirogénico (Colombo *et al.*, 1989) y otros de origen petrógeno como el fluoreno. Por lo tanto, la aportación de diferentes tipos de hidrocarburos al ambiente, resultan en una mezcla difícil de reconocer en términos del origen, si solo se considera la cantidad de anillos presentes. Por ende, sería importante emplear en futuros estudios razones o índices

basados en las concentraciones de hidrocarburos individuales que serán indicativos de fuentes específicas para inferir los orígenes o fuentes de los hidrocarburos.

Ante los resultados obtenidos, es importante considerar los valores de captura de pulpo de las tres zonas muestreadas, ya que de acuerdo con las cifras reportadas en 2023, se capturaron 9,928, 10,497 y 45,822 kg en las zonas 1, 2 y 3, respectivamente; lo cual, las posiciona como las tres principales áreas de captura para la obtención de pulpo para consumo humano y exportación en el estado de Campeche, razón por la cual es de vital importancia realizar muestreos regulares para la determinación de estos contaminantes con el objetivo de mantener la inocuidad del producto y la seguridad de los consumidores.

## 6. Conclusiones

- Se identificó la presencia de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en el tejido muscular de pulpo destinado a consumo humano en las tres zonas de muestreo.
- De los 16 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos que afectan a la salud pública se distinguió la presencia de 11 de ellos.
- La Zona 1 presentó la mayor variedad de HAP y la mayor concentración en la  $\Sigma$  HAP Totales.
- La Zona 1 registró la mayor concentración de HAP de alto peso molecular; si bien se identificó el benzo(a)pireno reconocido como carcinogénico y mutagénico, se observó la menor cantidad de pulpo capturado en 2023.
- La Zona 3 presentó la menor variedad de HAP, no obstante, registró la mayor concentración en la  $\Sigma$  HAP de bajo peso molecular y la mayor cantidad de pulpo capturado en 2023
- Las concentraciones determinadas en el presente estudio están por debajo de los límites máximos permitidos por la Dirección General de Salud y Protección a los Consumidores de la Unión Europea, principal mercado de exportación del producto pulpo obtenido en México, excepto un pulpo colectado en la Zona 1 con una concentración de 9.53 ng/g de benzo(a)pireno.
- Respecto al límite de 30  $\mu\text{g}/\text{kg}$  para la suma de 4 HAP (benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno y criseno) (Reglamento (UE) No. 835/2011, 2011), no se encontraron concentraciones en pulpos que rebasaran este valor.

## 7. Referencias

Abdel-Shafy, H. I. y Mansour, M. S. M. (2016) "A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation", *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(1), pp. 107–123. doi: 10.1016/j.ejpe.2015.03.011.

ACGIH, A. C. of G. I. H. (2022) *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)*, CAS number: *Varies with the compound or mixture*. Cincinnati. Disponible en: <https://www.acgih.org/polycyclic-aromatic-hydrocarbons-pahs/> (Consultado: el 14 de febrero de 2023).

Akyüz, M. y Çabuk, H. (2010) "Gas-particle partitioning and seasonal variation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere of Zonguldak, Turkey", *Science of the Total Environment*, 408(22), pp. 5550–5558. doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.07.063.

Alonzo, L. (2019) "La Sonda de Campeche produce el 66% de barriles de petróleo en el país", *El Financiero*, 20 junio, p. 1. Disponible en: <https://www.elfinanciero.com.mx/peninsula/la-sonda-de-campeche-produce-el-66-de-la-produccion-de-barriles-de-petroleo-en-el-pais/> (Consultado: el 13 de febrero de 2023).

Arcega-Cabrera F., Dótor-Almazán A. (2020). Hidrocarburos (Tomo IV) en "Atlas de línea base ambiental del golfo de México" (Coordinators) Herzka S., Zaragoza Álvarez R. A., Peters E. M., Hernández Cárdenas G. CICESE Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918, Zona Playitas, CP. 22860, Ensenada, B.C. México. Disponible en: <https://atlasigom.cicese.mx/es/dataset/libro-atlas-tomo-4>

Armstrong, B. *et al.* (2004) "Lung Cancer Risk after Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Review and Meta-Analysis", *Environmental Health Perspectives*, 112(9), pp. 970–978. Disponible en: <https://eds-p-ebsohost-com.pbidi.unam.mx:2443/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=488365cf-82bc-4ff8-a06a-536bdc107eb0%40redis>.

ATSDR, [Agency for Toxic Substances and Disease Registry] (2016) *Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)*, *ToxFAQs™*. Atlanta. Disponible en: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts69.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts69.html) (Consultado: el 14 de febrero de 2023).

Baali, A. *et al.* (2016) "Bile metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in three species of fish from Morocco", *Environmental Sciences Europe*, 28(1). doi: 10.1186/s12302-016-0093-6.

Bach, P. B. *et al.* (2005) "Screening for Lung Cancer: A Review of the Current Literature", *Chest*, 123(1), pp. 72–82. doi: 10.1378/chest.123.1\_suppl.72S.

Bucheli, T. D. *et al.* (2004) "Polycyclic aromatic hydrocarbons, black carbon, and molecular markers in soils of Switzerland", *Chemosphere*, 56(11), pp. 1061–1076. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.06.002.

Chen, H. yang, Teng, Y. guo y Wang, J. sheng (2012) "Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the Rizhao coastal area (China) using diagnostic ratios and factor analysis with nonnegative constraints", *Science of the Total Environment*, 414, pp. 293–300. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.10.057.

COFEPRIS, [Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios] (2017) *Certificación de productos de la pesca a la Unión Europea, Acciones y Programas*. Cd. Mx. Disponible en: <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/certificacion-de-productos-de-la-pesca-a-la-union-europea-76714> (Consultado: el 13 de febrero de 2023).

Colombo, J. C., Pelletier, E., Brochu, Ch., Khalil, M. y Catoggio, J. A. (1989). *Determination of Hydrocarbon Sources Using n-Alkane and Polyaromatic Hydrocarbon Distribution Indexes. Case Study: Rio de La Plata Estuary, Argentina*. *Environmental Science and Technology*, 23, 888-894.

CONAPESCA, [Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca] (2017) *México, tercer productor mundial de pulpo, "un manjar de los mares"*, *Blog*. Mazatlán. Disponible en: <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/mexico-tercer-productor-mundial-de-pulpo-un-manjar-de-los-mares?idiom=es> (Consultado: el 07 de septiembre de 2023).

Domingo, J. L. *et al.* (2007) "Benefits and risks of fish consumption. Part I. A quantitative analysis of the intake of omega-3 fatty acids and chemical contaminants", *Toxicology*, 230(2–3), pp. 219–226. doi: 10.1016/j.tox.2006.11.054.

EPA, [United States Environmental Protection Agency] (1993a) *Other Carcinogenic Polycyclic*

*Aromatic Hydrocarbons, Provisional Guidance for Quantitative Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. EPA/600/R-93/089. Washington D.C. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/othercarcpahs.pdf> (Consultado: el 14 de febrero de 2023).

EPA, [United States Environmental Protection Agency] (1993b) *Relative Potency Factors for Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)*. Washington D.C. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/pah-rpfs.pdf> (Consultado: el 14 de febrero de 2023).

Falcó, G. *et al.* (2005) "Health risks of dietary intake of environmental pollutants by elite sportsmen and sportswomen", *Food and Chemical Toxicology*, 43(12), pp. 1713–1721. doi: 10.1016/j.fct.2005.05.014.

FAO, [Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación] (2017) *En el caso del pulpo, la demanda es fuerte y creciente, GLOBEFISH - Información y Análisis sobre el Comercio Mundial de Pescado*. Roma. Disponible en: <https://www.fao.org/in-action/globefish/marketreports/resource-detail/es/c/895694/> (Consultado: el 12 de mayo de 2023).

FAO, [Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación] y OMS, [Organización Mundial de la Salud] (2018) *Límites Máximos de Residuos (LMR) y Recomendaciones sobre la Gestión de Riesgos (RGR) para residuos de medicamentos veterinarios en los alimentos, Codex alimentarius Normas Internacionales de los Alimentos*. Roma. Disponible en: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXM%2B2%252FMRL2s.pdf> (Consultado: el 13 de febrero de 2022).

FAO, [Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura] (2019) "FishStatJ, una aplicación para analizar estadísticas de pesca". Roma. Disponible en: <https://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/es>.

FAO, [Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura] y OMS, [Organización Mundial de la Salud] (2005) "Documento de debate sobre la contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)", en *37a Reunión del Programa Conjunto*



FAO/OMS sobre normas alimentarias. Comité del CODEX sobre aditivos alimentarios y contaminantes de los alimentos. La Haya, p. 11. Disponible en: [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/zh/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FShared%2BDocuments%252FArchive%252FMeetings%252FCCFAC%252Fccfac37%252FFA37\\_34s.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/zh/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FShared%2BDocuments%252FArchive%252FMeetings%252FCCFAC%252Fccfac37%252FFA37_34s.pdf).

Fernández, P. *et al.* (2000) “The historical record of atmospheric pyrolytic pollution over Europe registered in the sedimentary PAH from remote mountain lakes”, *Environmental Science and Technology*, 34(10), pp. 1906–1913. doi: 10.1021/es9912271.

Gomes, F. *et al.* (2013) “Polycyclic aromatic hydrocarbons in commercial squids from different geographical origins: Levels and risks for human consumption”, *Food and Chemical Toxicology*, 59, pp. 46–54. doi: 10.1016/j.fct.2013.05.034.

González-Macías MC (1997) Análisis de la comunidad bentónica en una chapopotera del Golfo de México y sus relaciones con la presencia crónica de hidrocarburos del petróleo. Tesis. UNAM. México. 114 pp.

Gutierrez-Urbano, I. *et al.* (2021) “Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in conventional drinking water treatment processes”, *Journal of Contaminant Hydrology*, 243, p. 103888. doi: 10.1016/j.jconhyd.2021.103888.

IARC, [International Agency for Research on Cancer] (2013) *Bitumens and bitumen emissions, and some N- and S-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons.*, IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon: International Agency for Research on Cancer.

Lacoue-Labarthe, T., Le Pabic, C. y Bustamante, P. (2016) “Ecotoxicology Of early-life stages in the common cuttlefish *sepia officinalis*: Review and perspectives”, *Vie et Milieu*, 66(1), pp. 65–79. Disponible en: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01330645/document>.

Martí-Cid, R. *et al.* (2008) “Evolution of the dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in Catalonia, Spain”, *Food and Chemical Toxicology*, 46(9), pp. 3163–3171. doi: 10.1016/j.fct.2008.07.002.

Masih, J. *et al.* (2012) "Seasonal variation and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in indoor and outdoor air in a semi arid tract of Northern India", *Aerosol and Air Quality Research*, 12(4), pp. 515–525. doi: 10.4209/aaqr.2011.11.0192.

McGrath, T. E. *et al.* (2007) "Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons from tobacco: The link between low temperature residual solid (char) and PAH formation", *Food and Chemical Toxicology*, 45(6), pp. 1039–1050. doi: 10.1016/j.fct.2006.12.010.

Napoleão, P., Pinheiro, T. y Sousa Reis, C. (2005) "Elemental characterization of tissues of Octopus vulgaris along the Portuguese coast", *Science of the Total Environment*, 345(1–3), pp. 41–49. doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.10.026.

Oliveira, M. *et al.* (2018) "Commercial octopus species from different geographical origins: Levels of polycyclic aromatic hydrocarbons and potential health risks for consumers", *Food and Chemical Toxicology*, 121, pp. 272–282. doi: 10.1016/j.fct.2018.09.012.

PEMEX (2002) Evaluación de Riesgo Ecológico e Impacto de las Operaciones Industriales (Análisis General). Exploración y Producción. PEMEX. México. 257 pp. Disponible en: [www.pemex.org.mx](http://www.pemex.org.mx)

Peraza, J. (2014) "Campeche Polo petrolero e Industrial", Real Estate. Disponible en: <https://realestatemarket.com.mx/articulos/mercado-inmobiliario/industria/15178-campeche-polo-petrolero-e-industrial> (Consultado: el 07 de septiembre de 2023).

Pérez, O., Torres I., Ruíz, M. (2006) Origen, composición y determinación de los hidrocarburos en los ecosistemas costeros. *Revista Transporte, Desarrollo y Medio Ambiente* Vol. 26 No.1 (57)

Phillips, D. H. (1999) "Polycyclic aromatic hydrocarbons in the diet", *Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 443(1–2), pp. 139–147. doi: 10.1016/S1383-5742(99)00016-2.

Reglamento (UE) No. 835/2011 (2011) *Contenido máximo de hidrocarburos aromáticos policíclicos en los productos alimenticios*. Unión Europea: Diario Oficial de la Unión Europea. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:215:0004:0008:ES:PDF>.

Rodrigo, A. P. y Costa, P. M. (2017) "The role of the cephalopod digestive gland in the storage and detoxification of marine pollutants", *Frontiers in Physiology*, 8, p. 232. doi: 10.3389/fphys.2017.00232.

Roldán-Wong, N. T. *et al.* (2018) "Bioaccumulation and biomagnification of potentially toxic elements in the octopus *Octopus hubbsorum* from the Gulf of California", *Marine Pollution Bulletin*, 129(2), pp. 458–468. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.10.014.

Romero, I. C., Judkins, H. y Vecchione, M. (2020) "Temporal Variability of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Deep-Sea Cephalopods of the Northern Gulf of Mexico", *Frontiers in Marine Science*, 7(February), pp. 1–10. doi: 10.3389/fmars.2020.00054.

SADER, [Secretaría de Desarrollo Rural] (2023) "Anuncia Agricultura volumen de captura de pulpo rojo para Campeche y Yucatán, en la temporada 2023". Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/anuncia-agricultura-volumen-de-captura-de-pulpo-rojo-para-campeche-y-yucatan-en-la-temporada-2023?idiom=es> (Consultado: el 12 de noviembre de 2023).

SADER, [Secretaría de Desarrollo Rural] (2023) Anuncia Agricultura iniciativa para obtener la declaración de indicación geográfica "Pulpo Maya de la península de Yucatán" Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/anuncia-agricultura-iniciativa-para-obtener-la-declaracion-de-indicacion-geografica-pulpo-maya-de-la-peninsula-de-yucatan?idiom=es> (Consultado: el 07 de septiembre de 2023).

Sánchez-Palencia, Y., Ortiz, J. E. y Torres, T. De (2015) "Origen y distribución de los hidrocarburos policíclicos aromáticos en sedimentos actuales de la Laguna de El Hito ( España central ) Origin and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments of El Hito Lake ( Central Spain )", pp. 127–130.

Semedo, M. *et al.* (2014) "Seasonal patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons in digestive gland and arm of octopus (*Octopus vulgaris*) from the Northwest Atlantic", *Science of the Total Environment*, 481(1), pp. 488–497. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.02.088.

SSA, [Secretaría de Salud] (2009) *NORMA Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados.*

*Especificaciones sanitarias y métodos de prueba*. México: Diario Oficial de la Federación.

Disponible en: <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4295/salud2a/salud2a.htm>.

Wang, *et al.* (1999) *Oil spill identification*. *Journal of Chromatography A*, 843, 369-411.

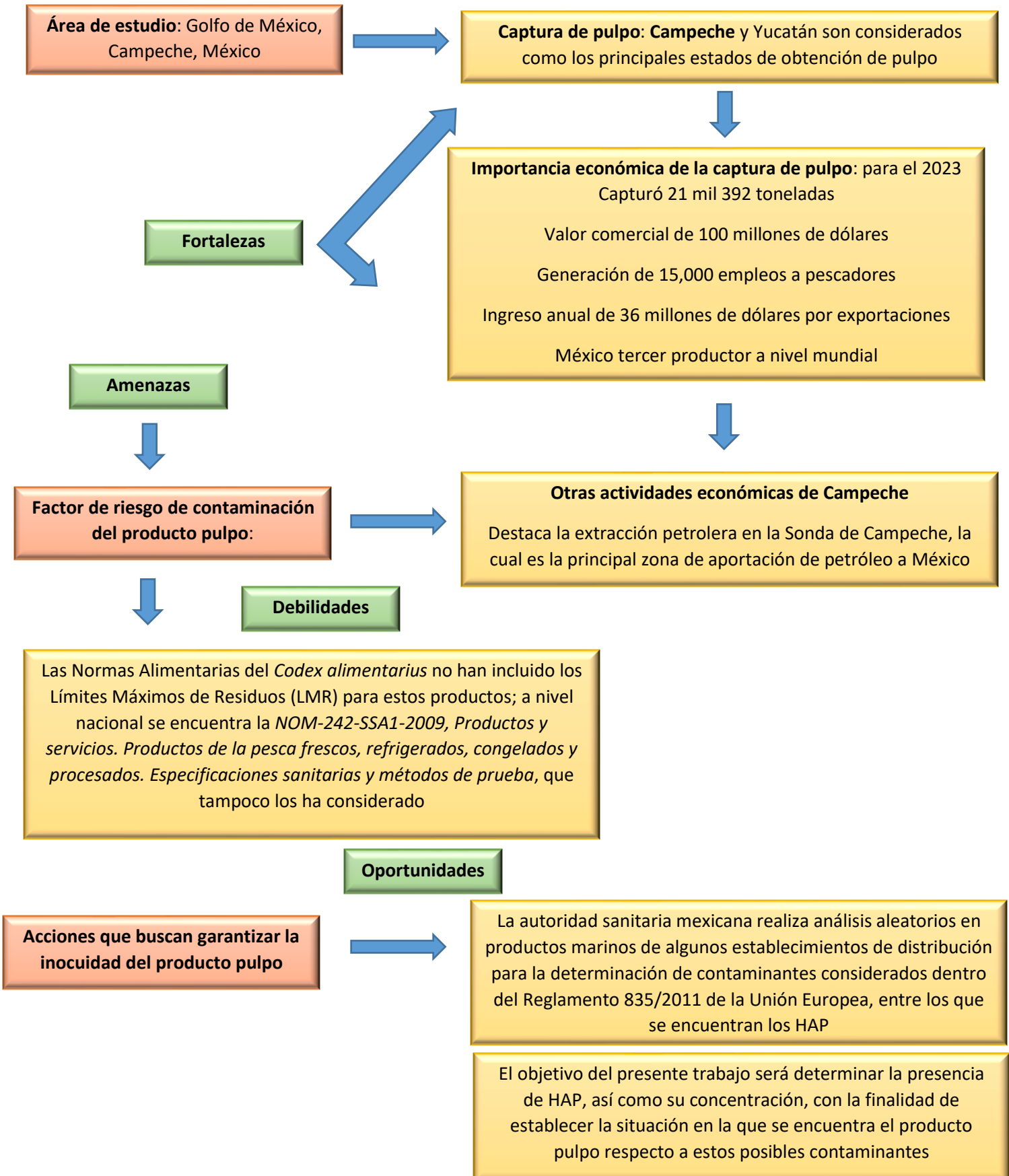
Węgrzyn, E. *et al.* (2006) "Modified analytical method for polycyclic aromatic hydrocarbons, using Sec for sample preparation and RP-HPLC with fluorescence detection. application to different food samples", *Acta Chromatographica*, (17), pp. 233–249. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/233905210\\_Modified\\_Analytical\\_Method\\_for\\_Polycyclic\\_Aromatic\\_Hydrocarbons\\_Using\\_SEC\\_for\\_Sample\\_Preparation\\_and\\_RP-HPLC\\_with\\_Fluorescence\\_Detection\\_Application\\_to\\_Different\\_Food\\_Samples/link/0fcfd50f5d13868f93000000](https://www.researchgate.net/publication/233905210_Modified_Analytical_Method_for_Polycyclic_Aromatic_Hydrocarbons_Using_SEC_for_Sample_Preparation_and_RP-HPLC_with_Fluorescence_Detection_Application_to_Different_Food_Samples/link/0fcfd50f5d13868f93000000).

Wolska, L. *et al.* (2012) "Sources and fate of PAHs and PCBs in the marine environment", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(11), pp. 1172–1189. doi: 10.1080/10643389.2011.556546.

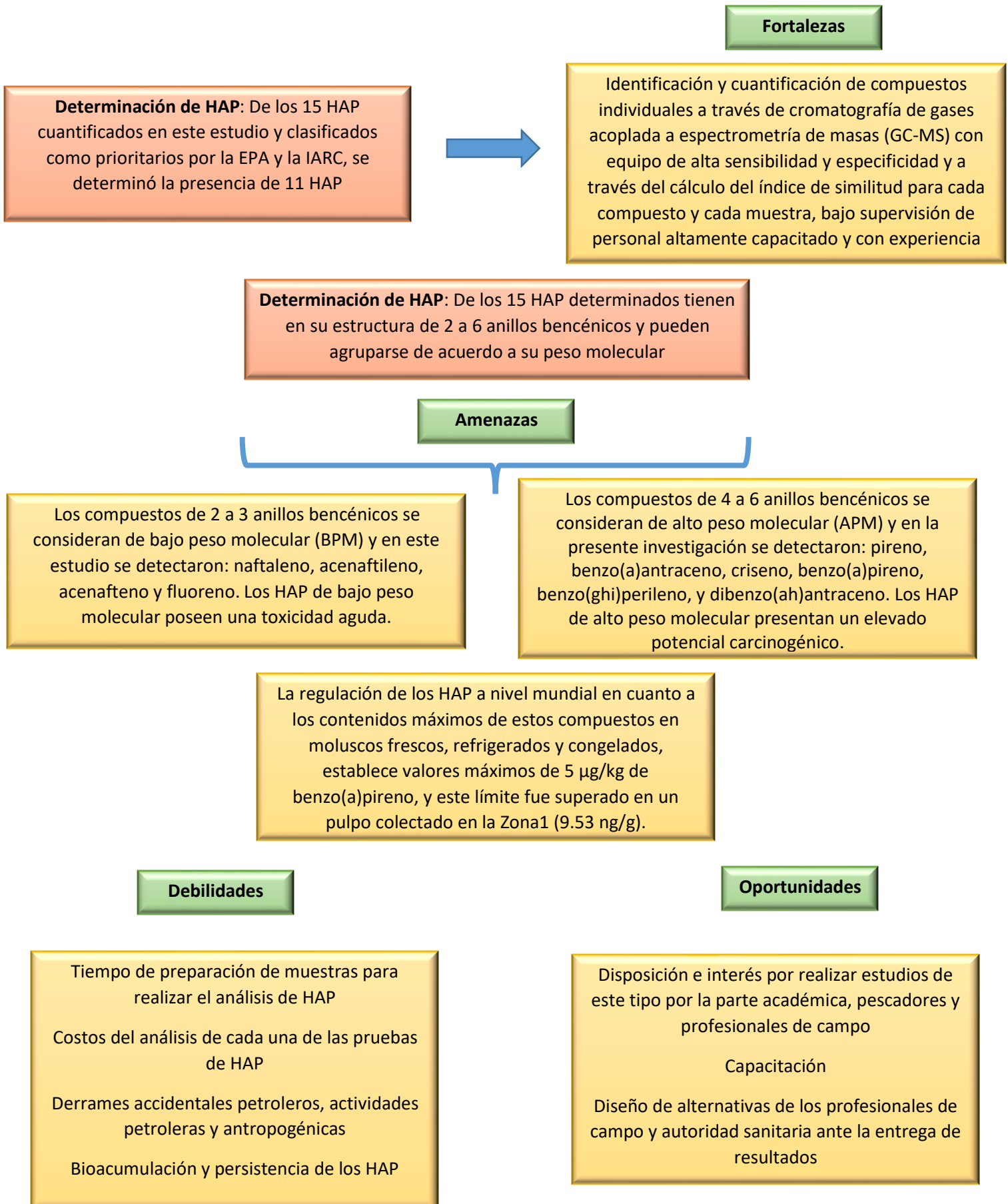
Xia, Z. *et al.* (2010) "Health risk assessment on dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Taiyuan, China", *Science of the Total Environment*, 408(22), pp. 5331–5337. doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.08.008.

## 8. Anexos

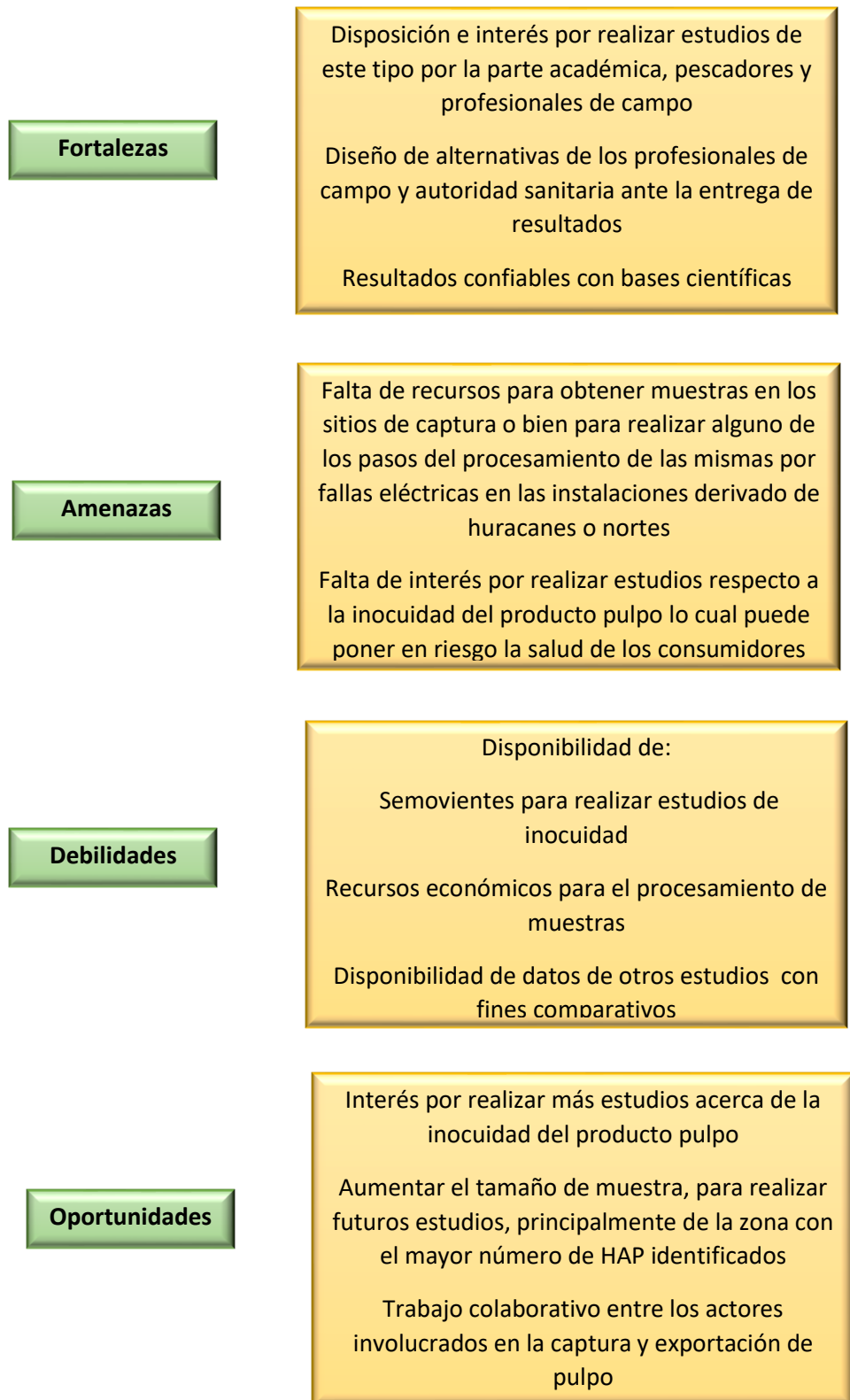
### Anexo 1. Análisis FODA Antecedentes-Diagnóstico de situación en Campeche



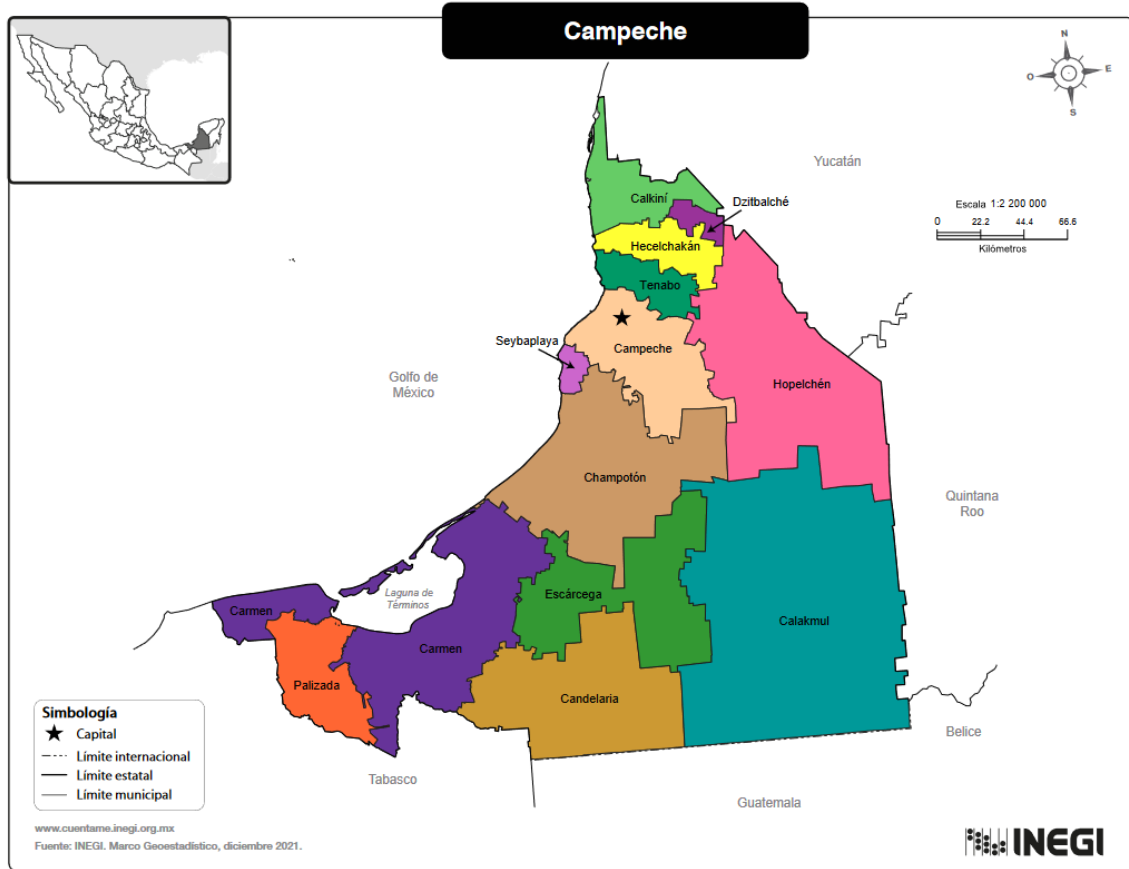
**Anexo 2. Análisis FODA ¿qué se encontró? Diagnóstico de situación en Campeche**



**Anexo 3. Análisis FODA ¿qué se puede hacer? Diagnóstico de situación en Campeche**

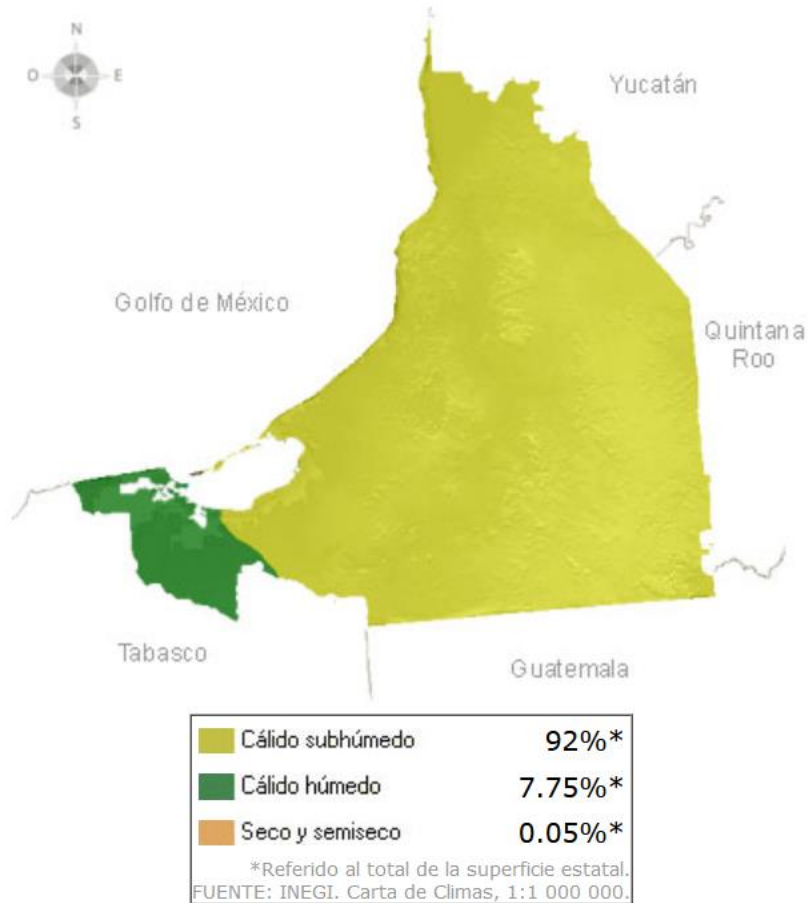


Anexo 4. Mapa del estado de Campeche





### Anexo 5. Mapa de clima del estado de Campeche



Nota: Los límites estatales fueron compilados del Marco Geoestadístico del INEGI, el cual consiste en la delimitación del territorio nacional en unidades de área codificadas con el objeto de referenciar la información estadística de censos y encuestas. Los límites no necesariamente coinciden con los político-administrativos.

Nota: La temática presentada en esta sección retoma la clasificación propuesta por la SEP. Para conocer la información más específica de climas consulta en el Sitio INEGI.

## Anexo 6. Hidrografía, flora y fauna del estado de Campeche

### Agua

#### Ríos

- Candelaria
- Usumacinta
- Caribe
- Chumpán
- San Pedro y San Pablo
- Las Golondrinas
- Mamantel
- Chivoja
- Palizada
- Champotón
- Salsipuedes
- Azul
- Pejelagarto
- Escondido
- Desempeño
- Las Pozas

#### Otros cuerpos de agua

##### Lagunas

- De Términos
- Atasta
- Pom
- El Este
- El Vapor
- Noha
- El Corte
- Panlao
- Noh (Silvituc)
- Chama-ha

##### Estero

- Sabancuy

FUENTE: INEGI. Dirección General de Geografía y Medio Ambiente.

### Flora y fauna

#### • Flora

Predominan las selvas húmedas; en las partes inundables existen selvas secas con árboles como el palo de tinto y pucté. Hay otros tipos de vegetación como: manglar, el petén, el tular y las sabanas. De la superficie estatal, 15% se dedica al uso agrícola y a la siembra de pastizales para consumo pecuario.

FUENTE: CONABIO

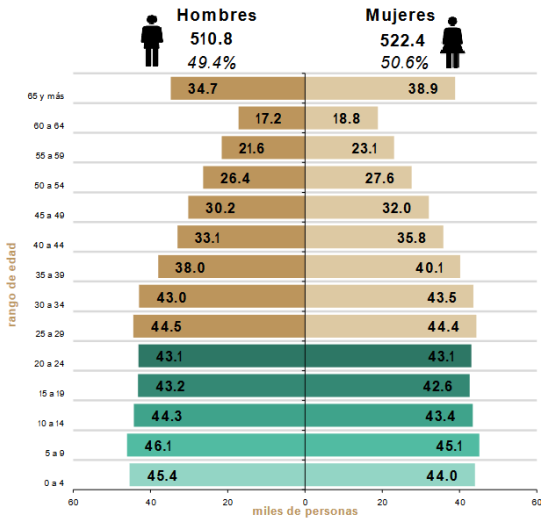
#### • Fauna

En la selva húmeda: murciélago pescador y jaguarundí. En la selva seca: mapache, zorrillo, tlacuache, nutria de río, sapo excavador, cacomixtle, musaraña, murciélago y boa constrictor. En los manglares, cocodrilo de pantano. En ambientes acuáticos: mojarra del Petén, pepinos y estrellas de mar, esponjas, moluscos; delfín nariz de botella, foca monje y puerco espín. Animales en peligro de extinción: mono aullador, saraguato, mono araña, ocelote, jaguar, oso hormiguero, tigrillo. Armadillo y puma

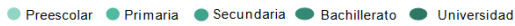
FUENTE: CONABIO

## Anexo 7. Dinámica poblacional del estado de Campeche

**Pirámide poblacional por edad y sexo, 2022<sup>1</sup>**  
(miles de personas)

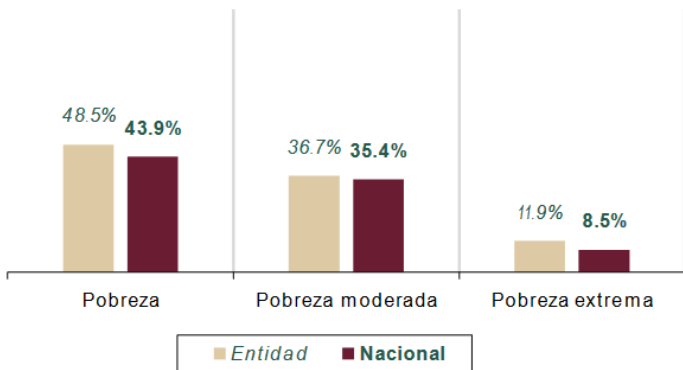


**Población potencial de estudiantes por rango de edad escolar, 2022**



Nota: Los rangos de edad están definidos conforme a la estructura de la base de datos de Proyecciones de la Población de los municipios de México, 2015-2030, para el año de 2022. Conaipo.

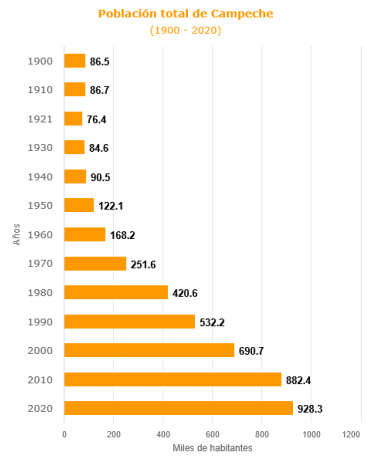
**Población en situación de pobreza, 2020<sup>7</sup>**  
(porcentaje respecto a la población total)



### Dinámica de la población

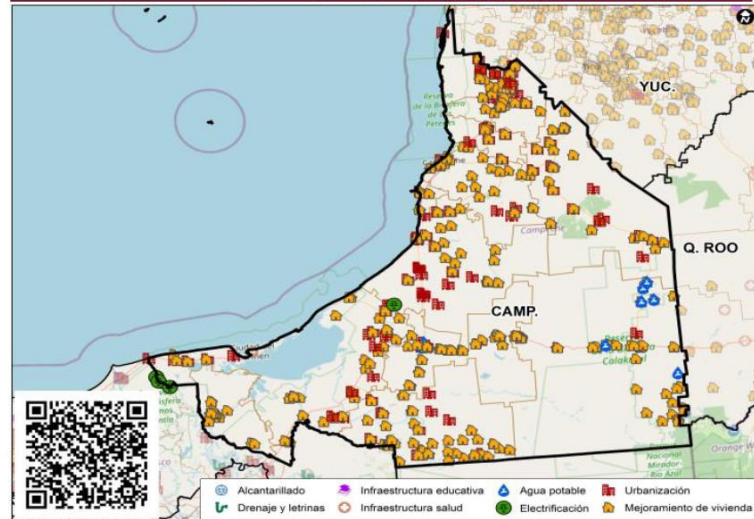
#### Crecimiento

Los censos de población realizados de 1900 a 2020, muestran el crecimiento de la población en Campeche.



FUENTE: INEGI. Censos de Población y Vivienda 1900-2020.

### VII. Infraestructura social básica



Fuente: Elaborado por la DOPB, Secretaría de Bienestar, con información georreferenciada de los proyectos planeados del FAIS de acuerdo con información proporcionada por la DGR. Los rubros que se presentan están contenidos en el Artículo 33 de la Ley de Coordinación Fiscal.

[https://sisge.bienestar.gob.mx/sisge?cve\\_geo=04](https://sisge.bienestar.gob.mx/sisge?cve_geo=04)

## Anexo 8. Educación en el estado de Campeche

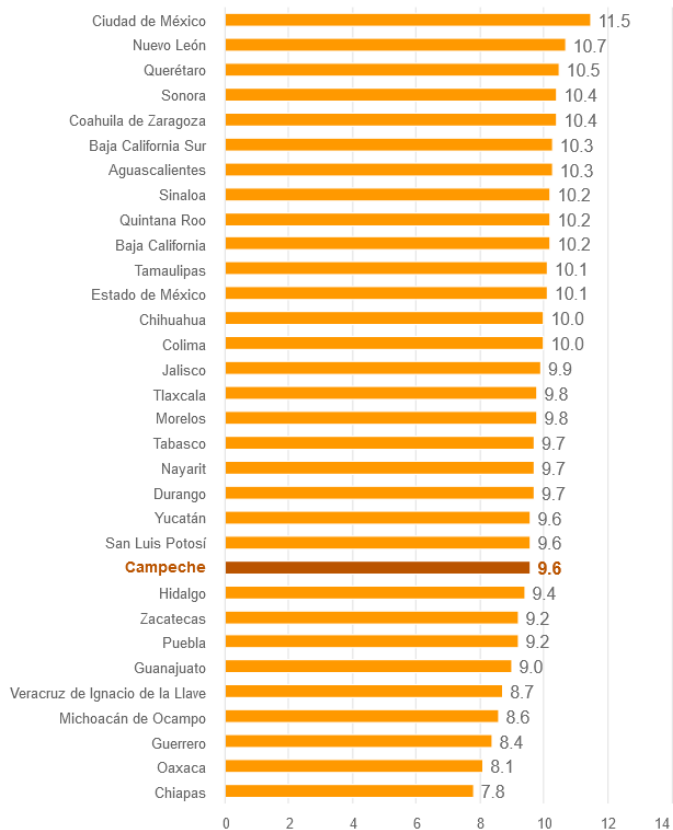
### Educación

#### Escolaridad

En 2020, en Campeche el **grado promedio de escolaridad de la población** de 15 años y más de edad es de **9.6**, lo que equivale a casi primer año de bachillerato.



#### Grado promedio de escolaridad de la población de 15 años y más por entidad federativa 2020



## Anexo 9. Áreas rural y urbana del estado de Campeche

### Rural y urbana

En 2020, la población de Campeche vive en:



A nivel nacional **79 % de la población vive en localidades urbanas y el 21 % en rurales.**

En Campeche hay **2,729** localidades rurales y **33** urbanas. A nivel nacional hay **185,243** localidades rurales y **4,189** urbanas.

FUENTE: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020.

### ¿Con qué servicios cuentan las viviendas?



**64.7 %** disponen de agua entubada dentro de la vivienda,



**98.2 %** cuentan con energía eléctrica y



**9.4 %** tienen drenaje conectado a la red pública.

FUENTE: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020.

De las viviendas particulares habitadas que cuentan con energía eléctrica **50.4 %** tienen de uno a cinco focos.

### ¿Qué materiales se utilizan para construir las viviendas?

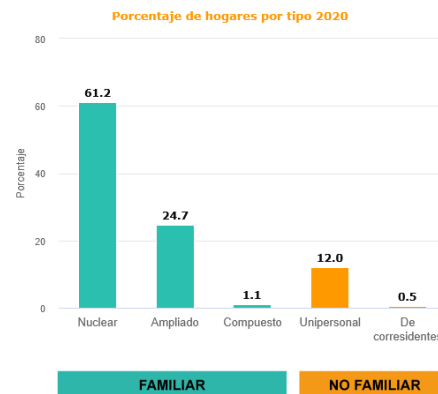


Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020.

### Hogares

Hogar es el conjunto de personas que pueden ser o no familiares y que comparten la misma vivienda. Una persona que vive sola también constituye un hogar.

En Campeche, **61 de cada 100** hogares son de tipo nuclear.

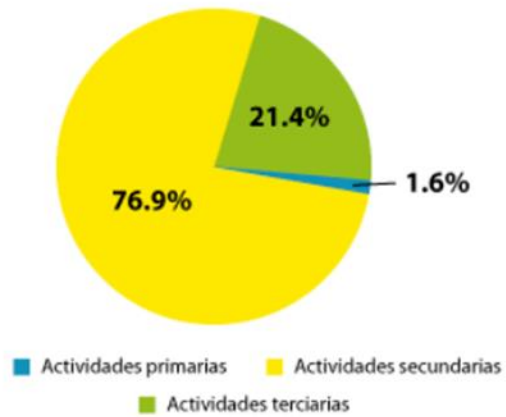


Nota: La suma de los porcentajes es menor al 100% debido a que hay un pequeño porcentaje no especificado.  
Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020.

## Anexo 10. Actividades económicas del estado de Campeche

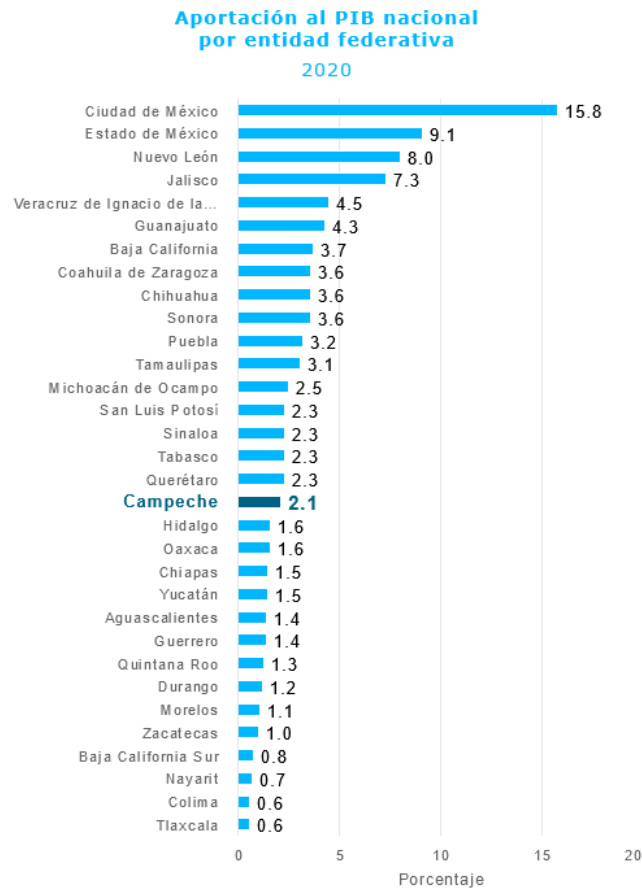
**Actividades económicas**• **Principales sectores de actividad**

Sector de actividad económica	Porcentaje de aportación al PIB estatal (año 2016)
<b>Actividades primarias</b>	<b>1.6</b>
<b>Actividades secundarias</b>	<b>76.9</b>
<b>Actividades terciarias</b>	<b>21.4</b>
<b>Total</b>	<b>99.9</b>



FUENTE: INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México.  
Participación por actividad económica, en valores corrientes, 2016\*  
Nota: La suma de los parciales puede no coincidir con el total por el redondeo de las cifras.  
\*Cifras preliminares.

**Anexo 11. Aportación del PIB nacional del estado de Campeche**



Nota: Los porcentajes pueden no sumar 100 % debido al redondeo.

FUENTE: INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa* (precios corrientes). Año Base 2013, 2020 preliminar.

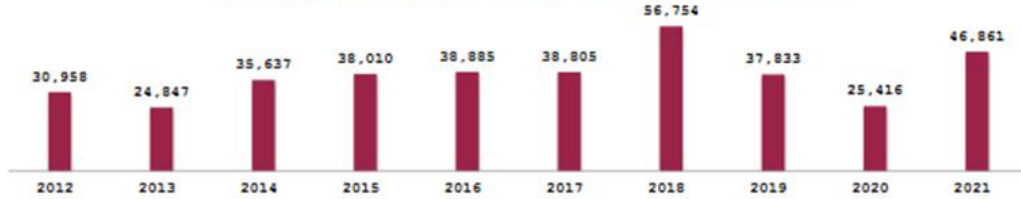
Temas adicionales de la entidad...



Anexo 12. Datos estadísticos y de producción de la captura de pulpo en Campeche y a nivel nacional

# PULPO

SERIE HISTÓRICA DE LA PRODUCCIÓN (PESO VIVO EN TONELADAS)



SERIE HISTÓRICA DE LA PRODUCCIÓN DE PULPO

ENTIDAD	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>TOTAL</b>	<b>30,958</b>	<b>24,847</b>	<b>35,637</b>	<b>38,010</b>	<b>38,885</b>	<b>38,805</b>	<b>56,754</b>	<b>37,833</b>	<b>25,416</b>	<b>46,861</b>
YUCATÁN	19,280	14,719	24,974	24,780	27,035	25,122	36,965	25,070	13,784	29,605
CAMPECHE	9,850	8,337	8,434	10,721	9,460	9,494	14,934	10,083	9,487	15,102
BAJA CALIFORNIA SUR	551	391	526	740	819	1,469	1,684	1,089	1,050	1,052
QUINTANA ROO	308	41	238	630	199	231	576	205	45	328
SONORA	157	106	200	185	275	360	613	298	266	233
BAJA CALIFORNIA	179	155	133	61	104	190	206	151	227	204
GUERRERO	131	202	152	311	280	591	499	294	183	122
JALISCO	219	612	589	259	322	569	510	482	264	98
OAXACA	135	164	266	157	88	165	178	62	76	76
OTRAS*	149	120	124	165	304	614	589	100	34	40

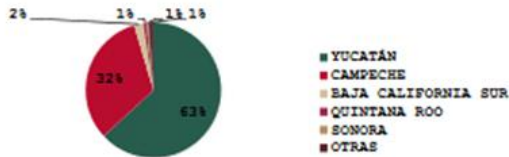
\*COLIMA, MICHOACÁN, NAYARIT, BINALOA, TABASCO, TAMAULIPAS, VERACRUZ.

COMPARATIVO DE LA PRODUCCIÓN DE PULPO

VARIABLE	2020	2021	DIF	DIF %
VOLUMEN (PESO VIVO EN TONELADAS)	25,416	46,861	21,445	84%
VALOR (MILES DE PESOS)	1,300,083	3,289,136	1,989,052	153%
CAPTURA (PESO VIVO EN TONELADAS)	25,416	46,673	21,257	84%

El Pulpo por su volumen se encuentra posicionado en el lugar 6 de la producción pesquera en México; sin embargo, por su valor, lo encontramos en el lugar 3. La tasa media de crecimiento anual de la producción en los últimos 10 años es de 3.65%. En las exportaciones se encuentra en el lugar número 5 de las especies pesqueras, siendo Italia, Estados Unidos de América y España.

PARTICIPACIÓN PORCENTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE PULPO EN LAS PRINCIPALES ENTIDADES





Anexo 13. Puertos petroleros del estado de Campeche

