

**PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CEFALÓPODOS:
EL CASO DE *Octopus maya***

Claudia Caamal (Tec Acad. Asoc. C. T.C.)

Carlos Rosas (Prof. Carr Tit. C. T.C.)

Sistema Nacional de Investigadores nivel 3

Profesores de la UNAM-Sisal Participantes

Cristina Pascual, Maite Mascaró, Pedro Gallardo, Jorge López Rocha, Sergio Rodríguez, Santiago Capella, Elsa Noreña, Leticia Arena, Karla Escalante, Ariadna Sánchez

Introducción.

Entre las especies abundantes de cefalópodos en el mundo se encuentra *O. maya* la cual, además de su importancia pesquera, por el precio que alcanza en el mercado internacional, es la base económica de los pescadores de las costas de Yucatán y Campeche.

Tomando en cuenta la tendencia reciente a la baja de las poblaciones silvestres registradas en las temporadas de pesca de los últimos años y considerando la poca información sobre los aspectos de la biología que pudieran ser útiles para el cultivo, en el programa de investigación en cefalópodos de la UMDI Sisal nos hemos avocado a generar información sobre la biología de la especie que sirva de base tanto para el manejo pesquero como para el desarrollo de paquetes tecnológicos para su cultivo. Para la realización de estos estudios el programa ha sido concebido siguiendo el esquema presentado en la figura 1.

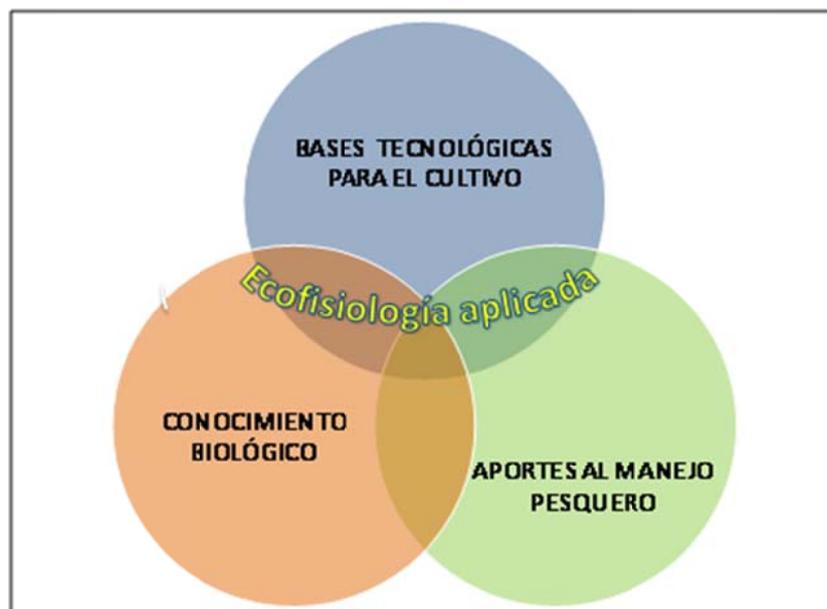


Fig. 1. Diagrama conceptual en el que se muestra la forma en que el programa de investigación en cefalópodos utiliza los conceptos y métodos de la ecofisiología aplicada como forma de vincular los conocimientos biológicos generados que son útiles para el cultivo y el manejo pesquero.

EL PROGRAMA

1. Estudios sobre la reproducción.

a. Bases Tecnológicas para el cultivo.

a.1 Estado actual: A partir de estudios realizados en el laboratorio se han diseñado métodos para estimular el desove de hembras silvestres en condiciones controladas. En estos ensayos se han podido establecer como la luz y la temperatura afectan directamente la conducta de desove de las hembras, así como la sobrevivencia de los pulpos en la etapa embrionaria. Producto de estos estudios se solicitó una patente internacional en la que se incluye todo el proceso desde la maduración funcional de las hembras hasta la obtención de crías mediante el uso de una incubadora artificial (Rosas et al., 2010).

a.2 Retos: Aunque a la fecha ya se han podido obtener desoves de hembras cultivadas en el laboratorio desde embriones, es necesario estandarizar los procedimientos que permitan la obtención constante de reproductores en condiciones controladas y bajo un esquema de domesticación de la especie.



Hembra de O. maya en acondicionamiento reproductivo. Incubadora artificial para huevos de pulpo

b. Conocimientos Biológicos: Aspectos nutricionales

b.1. Estado actual: Los estudios realizados en materia de nutrición para la reproducción han permitido establecer que las hembras de *O. maya* tiene un requerimiento cercano al 60% de proteína y 2% de ácidos grasos poliinsaturados, el cual, al igual que sucede con otras especies cultivadas, está basado en alimentos frescos-congelados. Las investigaciones llevadas hasta este momento permiten demostrar que las características nutricionales del alimento determinan significativamente las propiedades de los embriones y de los juveniles a la eclosión, hecho que sin duda es importante tanto para el cultivo como para la comprensión de los aspectos que rigen las adaptaciones ecofisiológicas de las poblaciones de esta especie.

b.2. Retos: Aunque en la actualidad se cuenta con un alimento apropiado para los reproductores es necesario realizar los estudios que permitan la sustitución de

materias primas frescas por otras más industrializadas que garanticen la estabilidad de las propiedades nutricionales de esos alimentos.

c. **Aportes al manejo pesquero**

c.1 Estado actual: La fecundidad real es un elemento fundamental para el manejo pesquero de cualquier especie. Los pulpos pasan por dos etapas reproductivas: la madurez fisiológica y la madurez funcional. Los estudios realizados a la fecha han permitido establecer que las hembras y los machos de *O. maya* son fisiológicamente maduros cuando alcanzan un peso de 20g, habiendo desarrollado completamente el ovario y/o el testículo desde 1g de peso. La madurez funcional, caracterizada por la aparición de huevos en el celoma reproductivo se presenta en las hembras cuando alcanzan pesos de 250g, sin mostrar una relación aparente entre el peso y el número de crías producidas (Avila-Poveda et al., 2009). Otro aspecto importante fue el descubrir que a pesar de que la población de *O. maya* se distribuye en una zona relativamente pequeña existen diferencias genéticas entre los animales que se encuentran en los extremos de su distribución. Todo parece indicar que el flujo génico se origina en las poblaciones de la zona costera adyacente a los puertos de Sisal y Celestún (Juárez et al., 2010).



Ejemplares de O. maya utilizados en el estudio de la caracterización del desarrollo reproductivo temprano.

c.2. Retos: En el caso de *O. maya* los estudios pesqueros han utilizado con frecuencia la fecundidad potencial (número de huevos en el ovario) para establecer la capacidad reproductiva de las poblaciones. Sin embargo la fecundidad real (número de crías nacidas por desove) es el elemento más sólido que debería de considerarse para ese tipo de evaluaciones. En la actualidad nos encontramos realizando estudios para evaluar la fecundidad real de la población silvestre de *O. maya* durante el pico de desove. Esta información será puesta a la consideración de los modelos pesqueros con el fin de estimar la abundancia en forma más realista de las poblaciones silvestres de esta especie. Así mismo estudios de conducta se están llevando a cabo con el fin de conocer como la multipaternalidad modula las características de la población pesquera.



*Aspectos del estudio de la evaluación de la fecundidad real de la población silvestre de *O. maya*. Se aprecian: al buzo revisando los refugios, un pulpo en la entrada de uno de ellos y una hembra desovando en la parte superior del refugio.*

2. Estudios en juveniles

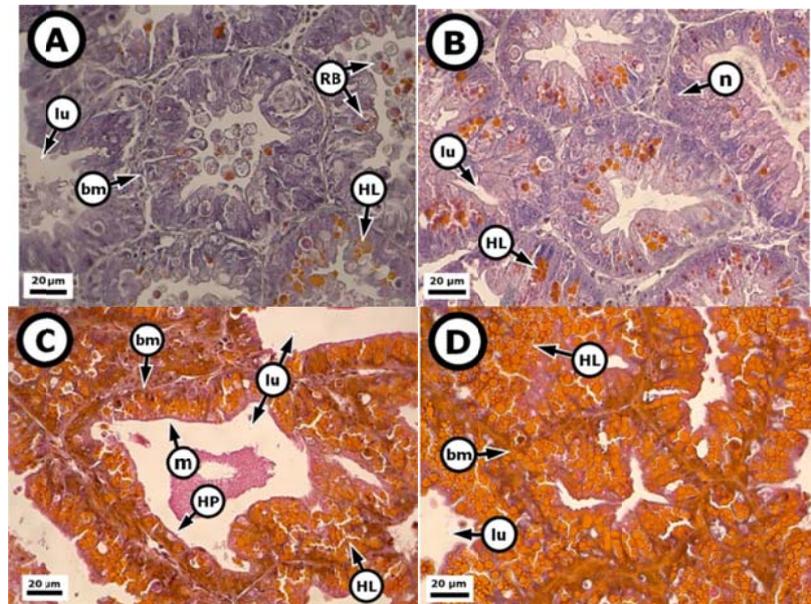
a. Aportes tecnológicos para el cultivo

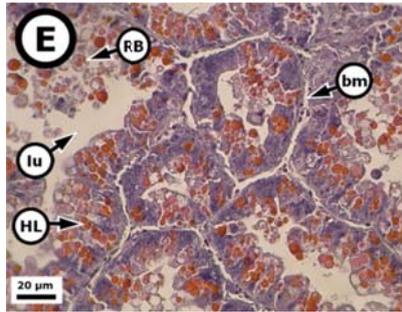
a.1. Estado actual. Se diseñó y probó un sistema de pre engorda para juveniles tempranos de *O. maya*. Tanques de 8 m² fueron utilizados para evaluar los efectos de la densidad de siembra en condiciones de cultivo. Los resultados indican que una densidad de siembra de 25 animales m⁻² es la apropiada para la pre-engorda de pulpos de entre 0.1 y 2 g de peso. Este sistema cuenta además con refugios, pastos artificiales y un sistema de alimentación automático el cual distribuye el alimento a los animales por la noche. En la actualidad la sobrevivencia en este sistema es de 50% (Mena et al., 2011). Los estudios de laboratorio también han señalado que una ración de 30% del peso corporal 3 veces al día es la apropiada para el cultivo de juveniles tempranos de *O. maya* (Quintana et al., 2010). Así mismo se diseñaron estanques de cultivo a nivel piloto experimental con el fin de conocer la forma en que se debería de cultivar los animales de una forma más cercana a la que se desarrollaría en un cultivo industrial. Aquí se descubrió que la forma de airear los estanques debe de considerar la morfología de los pulpos evitando que estos, capturen burbujas en el manto. Así mismo se observó que los juveniles en engorda son altamente eficientes con tasas de conversión de 1:3 (húmedo a húmedo) cuando las temperaturas son mayores de 28°C (Domingues et al., 2011).

a.2. Retos. Los retos tecnológicos están relacionados con el aumento de la sobrevivencia vía la reducción del canibalismo y la obtención de juveniles de mayor peso en el periodo de 60 días que dura la pre-engorda.

b. Conocimientos Biológicos: Aspectos nutricionales

b.1. Estado actual. La elaboración de un alimento balanceado para la engorda de juveniles de *O. maya* ha sido una prioridad del programa. La escases de información a nivel mundial a obligado a la realización de estudios básicos acerca de la capacidad nutricional de esta especie. Los primeros estudios fueron enfocados para conocer si con alimentos convencionales para animales acuáticos se podían crecer a los animales en cultivo. De esos estudios se pudo establecer que los alimentos preparados con harina de pescado, aun cuando fueron adicionados con hidrolizados de pescado, por alguna razón son de baja digestibilidad para los pulpos, afectando su crecimiento (Rosas et al., 2007; Domingues et al., 2007; Aguila et al., 2007). Esto llevó a la necesidad de desarrollar un alimento completamente nuevo que se basara en la fisiología digestiva de los pulpos. Para comenzar se probaron diferentes tipos de aglutinantes., encontrándose que para *O. maya* el más apropiado es la gelatina natural (Rosas et al., 2008). A partir de este conocimiento se pudo establecer que los pulpos requieren dietas con 60% o más de proteína en la dieta (Rosas et al., 2011). Posteriormente fue necesario estudiar las características de las enzimas que realizan la digestión extracelular e intracelular. En esos estudios se encontró que el jugo gástrico presenta su mayor actividad hidrolítica en pH 6, y que al menos un 18% de esa actividad es responsabilidad de la catepsina D (Martinez et al., 2010). El requerimiento de amino ácidos ha sido motivo de estudio también. Recientemente se ha podido establecer que la Arg, Thre, Lys, His son amino ácidos energéticos muy importantes para *O. maya*. Estudios de ayuno y recuperación así lo han demostrado (George-Zamora et al., 2011). Como producto de todos estos estudios se pudo diseñar y poner a prueba por primera vez la formulación de un alimento balanceado para *O. maya* la cual ha permitido la engorda de animales hasta animales con 80g de peso y con sobrevivencias mayores al 50%. Esta formulación será solicitada como patente próximamente.





Cambios en la glándula digestiva de O. maya a 0 (A), 1 (B), 4 (C), 6 (D) y 8h (E). Nótense los cambios de color asociados con la aparición del alimento en la glándula digestiva conforme pasa el tiempo de digestión



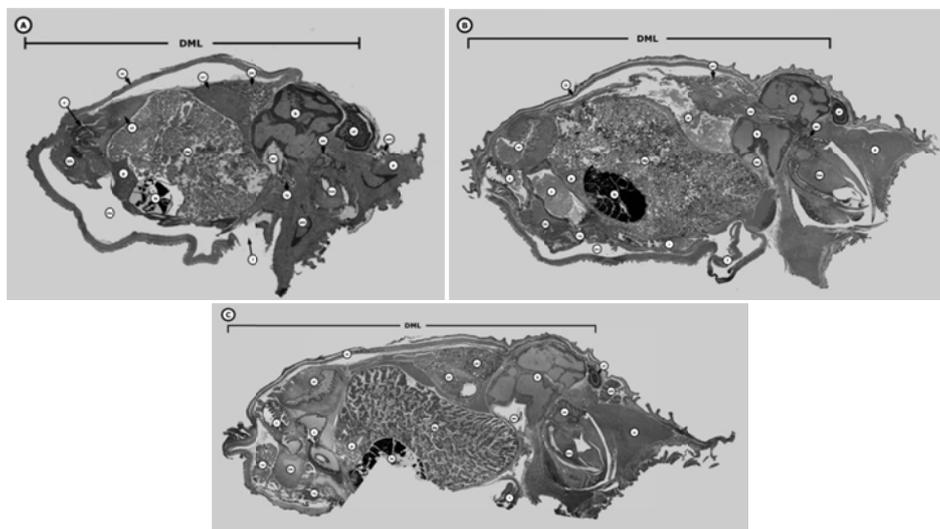
Toma de muestras para análisis de actividad de las enzimas digestivas en juveniles de O. maya

b.2. Retos. Diversos estudios sobre la fisiología digestiva se encuentran en curso con el fin de establecer la temporalidad del proceso digestivo y las consecuencias en la digestibilidad, transporte y asimilación de los nutrientes del alimento. También será necesario reducir el costo del alimento actualmente formulado con el fin de ampliar los márgenes de rentabilidad potencial que tiene este cultivo utilizando harinas alternativas no convencionales. Los aspectos de la ingeniería también son un reto que va implícito en la fabricación masiva del alimento. Las relaciones con las empresas son ya la piedra angular de estos desarrollos. El metabolismo de lípidos será otro aspecto importante a determinar con el fin de esclarecer el papel que tienen estos nutrientes en los pulpos.

c. Aportes al manejo pesquero

c.1 Estado actual: Los estudios realizados en los juveniles tempranos han arrojado información novedosa referente a la biología de *O. maya*. Al eclosionar, los pulpos pasan por un período de transición entre la vida embrionaria y juvenil, caracterizada por la absorción del vitelo remanente, ajustes en la actividad de las enzimas digestivas y cambios en la morfología externa, principalmente en las proporciones que guardan los brazos con respecto al largo total. Esta condición tiene un impacto en la conducta; los juveniles recién eclosionados no muestran una conducta depredatoria definida (Moguel et al., 2010; Martínez et al., 2011). Con el fin de establecer las presas potenciales de los juveniles tempranos de *O. maya* se realizó un estudio en el que se

observó que los gamáridos marinos *Hyalé media* producen crecimientos mayores del 8% diario en animales de entre 0 y 15 días de edad, etapa que es fundamental para la sobrevivencia de los reclutas después de la eclosión (Baeza-Rojano et al., 2011). Los pulpos han demostrado ser altamente variables en su crecimiento. Aunque a la fecha no han sido posible establecer las razones de esta característica, los estudios realizados en el laboratorio han podido establecer que esta variabilidad podría estar asociada con las propiedades de los juveniles al momento de la eclosión. Un uso diferencial de la energía derivada al crecimiento podría ser una de las razones que expliquen esa condición de *O. maya* (Briceño-Jacques et al., 2010a; Briceño-Jacques et al., 2010b). Otro aspecto interesante ha sido el relacionado con la eficiencia de crecimiento de la especie. Estudios de fisiología comparada han permitido establecer que *O. maya* como especie tropical es menos eficiente en los procesos de transformación de la energía ingerida en biomasa que las especies sub polares, lo cual posiblemente está relacionado con los efectos que la temperatura relativamente alta tiene en esta especie (Farias et al., 2009).



Desarrollo de la organogénesis en juveniles tempranos de O. maya 2 (A), 23 (B) y 45 días después de la eclosión.

c.2. Retos: Los cefalópodos han demostrado ser altamente sensibles a los cambios de temperatura. Por esa razón y tomando en consideración el interés de establecer organismos monitores de cambio climático, establecer la tolerancia térmica de *O. maya* es un tema de estudio dentro de este programa. La dinámica trófica de las poblaciones silvestres y su relación con la reproducción no han sido investigadas aún. No obstante estos aspectos serán objeto de los estudios que se requieren para comprender la dinámica de las poblaciones en el ecosistema marinos de la Península de Yucatán.

VINCULACIÓN CON OTROS INVESTIGADORES

El programa de investigación en cefalópodos actualmente cuenta con la colaboración de académicos de diversas partes de América, Europa y Oceanía y en particular con los siguientes investigadores: En México: Dra Ma. Teresa Viana (UABC, Ensenada BC), Dr. Alfonso Alvarez, (UJAT, Villahermosa Tab.), Dr. Omar Chasín (UBJO, Oaxaca, Oax), Jaime Saldivar Rae (UNIMAYAB, Mérida Yuc.), M en C. Omar Avila

Poveda (Universidad del Mar de Oaxaca), Dra Rosario Martínez (Universidad Autónoma de Guanajuato), Dr. Ronald Santos, Dr. Sergio Guillen, Carlos González, Luis Sarmiento (Universidad Autónoma de Yucatán), Dra. Silvia Salas, Dr. Miguel Olvera (CINVESTAV-Mérida), Dr. Jorge Tello (IT-Mérida), Dr. Unai Marcaida (ECOSUR-Campeche), Dra Julia Ramos, Dr. Domingo Flores (EPOMEX - Universidad Autónoma de Campeche).

Estados Unidos: Andrew Sih (UCL).

En Europa: Dr. Pedro Domingues (IEO, Vigo, España), Dr. Eduardo Almanza (IEO, Palmas de Mallorca, España), Dr. Noussithe Koueta (Universidad de Caen, Francia), Dr. Antonio Sykes (Universidad de Algarve, Portugal), Dr. Roger Villanueva (CSIC, Barcelona, España)

En América Latina: Iker Uriarte (Universidad Austral de Chile), Dra. Ana Farías (Universidad Austral de Chile), Dr. Oscar Zuñiga (Universidad de Antofagasta, Chile), Dr. Raúl Madrid (LABOMAR, UFC, Brasil), Dra. Luz Adriana Velasco (Moluscos Marinos de la Universidad del Magdalena).

Oceanía

Dr. Gerard Cuzón (IFREMER Tahiti, PF), Dra Gretta Pecl, Jason Semmens (Hobart University, Tasmania Au).

PUBLICACIONES DEL PROGRAMA

- Aguila,J., Cuzon,G., Pascual,C., Domingues,P., Gaxiola,G., Sánchez,A., Maldonado,T., Rosas,C., 2007. The effects of fish hydrolysate (CPSP) level on *Octopus maya* (Voss and Solis) diet: Digestive enzyme activity, blood metabolites, and energy balance. *Aquaculture* 273, 641-655.
- Avila-Poveda,O., Colin-Flores,R., Rosas,C., 2009. Gonad Development During the Early Life of *Octopus maya* (Mollusca: Cephalopoda). *Biol. Bull.* 216, 94-102.
- Baeza-Rojano,E., Domingues,P., Camaal-Monsreal,C., Guerra-García,J., Capella,S., Noreña,E., Rosas,C., 2011. Use of marine and freshwater gammarids as alternative prey to culture *Octopus maya* hatchlings. *Aquaculture* In press.
- Briceño-Jacques,F., Mascaró,M., Rosas,C., 2010a. Energy demand during exponential growth of *Octopus maya*: exploring the effect of age and weight. *ICES J. Mar. Sci.* 67, 1501-1508.
- Briceño-Jacques,F., Mascaró,M., Rosas,C., 2010b. GLMM-based modelling of growth in juvenile *Octopus maya* siblings: does growth depend on initial size? *ICES J. Mar. Sci.* 67, 1509-1516.
- Domingues,P., López,N., Muñoz,J.A., Maldonado,T., Gaxiola,G., Rosas,C., 2007. Effects of an artificial diet on growth and survival of the Yucatan octopus, *Octopus maya*. *Aquaculture Nutrition* 13, 1-9.
- Domingues,P., López,N., Rosas,C., 2011. Preliminary trials on the use of large outdoor tanks for the ongrowing of *Octopus maya* juveniles. *Aquaculture International* doi: 10.1111/j.1365-2109.2011.02797.x.
- Farias,A., Uriarte,I., Hernández,J., Pino,S., Pascual,C., Caamal,C., Domingues,P., Rosas,C., 2009. How size relates to oxygen consumption, ammonia excretion, and ingestion rates in cold (*Enteroctopus megalocyathus*) and tropical (*Octopus maya*) octopus species. *Mar. Biol.* 156, 1547-1558.

- George-Zamora,A., Viana,T., Rodriguez,S., Espinoza,G., Rosas,C., 2011. Amino acid mobilization and growth of juvenile *Octopus maya* (Mollusca: Cephalopoda) under inanition and re-feeding. Aquaculture In press(AQUA-D-10-01269R1).
- Juárez,O., Rosas,C., Arena,L., 2010. Heterologous microsatellites reveal moderate genetic structure in the *Octopus maya* population. Fish. Res. 106, 209-213.
- Martinez,R., López-Ripoll,E., Avila-Poveda,O., Santos-Ricalde,R., Mascaró,M., Rosas,C., 2011. Cytological ontogeny of the digestive gland in post-hatching *Octopus maya*, and cytological background of digestion in juveniles. Aquatic Biology 11, 249-261.
- Martinez,R., Santos,R., Alvarez,A., Cuzon,G., Arena,L., Mascaró,M., Pascual,C., Rosas,C., 2010. Partial characterization of hepatopancreatic and extracellular digestive proteinases of wild and cultivated *Octopus maya*. Aquaculture International DOI: 10.1007/s10499-010-9360-5.
- Moguel,C., Mascaró,M., Avila-Poveda,O., Caamal,C., Sánchez,A., Pascual,C., Rosas,C., 2010. Morphological, physiological, and behavioural changes during post-hatching development of *Octopus maya* (Mollusca: Cephalopoda) with special focus on digestive system. Aquatic Biology 9, 35-48.
- Quintana,D., Rosas,C., Moreno-Villegas,E., 2010. Relationship between nutritional and rearing parameters of *Octopus maya* juveniles fed different rations of crab paste. Aquaculture Nutrition In pres, doi: 10.1111/j.13652095.2010.00772.x.
- Rosas,C., Caamal,C., Cazares,R., 2010. Incubation process for Octopus and incubator. Mexico, pp. 1-6.
- Rosas,C., Cuzon,G., Pascual,C., Gaxiola,G., López,N., Maldonado,T., Domingues,P., 2007. Energy balance of *Octopus maya* fed crab and artificial diet. Marine Biology 152, 371-378.
- Rosas,C., Sanchez,A., Pascual,C., Aguila y Elvira,J., Maldonado,T., Domingues,P., 2011. Effects of two dietary protein levels on energy balance and digestive capacity of *Octopus maya*. Aquacult Int. 19, 165-180.
- Rosas,C., Tut,J., Baeza,J., Sánchez,A., Sosa,V., Pascual,C., Arena,L., Domingues,P., Cuzon,G., 2008. Effect of type of binder on growth, digestibility, and energetic balance of *Octopus maya*. Aquaculture 275, 291-297.