



RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD

REVISTA DIGITAL DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA



CENTRO DE INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S. C.



RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD, Año 2, Volumen 2, Número 1, Enero-Junio de 2016, es una publicación arbitrada de divulgación científica digital iniciativa del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR), Centro Público de Investigación de CONACyT. Editor en Jefe responsable Dr. Alfredo Ortega-Rubio. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo: en trámite; ISSN: en trámite. Responsable de la última actualización de este número, Dr. Alfredo Ortega-Rubio, Av. Instituto Politécnico Nacional 195, La Paz, Baja California Sur, C. P. 23096, Tel (612) 1238484, fecha de la última modificación 30 Junio 2016. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de esta publicación sin previa autorización de los autores de este número de **RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD**.

Con deferente gratitud **RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD** reconoce y agradece la colaboración de Lic. Gerardo R. Hernández García en la edición gráfica editorial para esta revista, de la M. en C. Diana Dorantes Salas en la revisión del idioma Inglés, de la Lic. Adriana Landa Blanco en la elaboración del Logotipo y del Lic. Oscar Fisher Dorantes en la elaboración y actualización de la página WEB. Fotografía de la Portada: Ignacio Rivas

<p>Dr. Daniel Bernardo Lluch Cota Director General</p> <p>Dr. Ilie Sava Racotta Dimitrov Director de Gestión Institucional</p> <p>Dr. Aradit Castellanos Vera Dirección de Planeación y Desarrollo Institucional</p> <p>Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra Directora de Estudios de Posgrado Formación de Recursos Humanos</p> <p>Dr. César Augusto Salinas Zavala Coordinador de Servicios Especializados y Proyectos Institucionales</p> <p>Dr. Humberto Villarreal Colmenares Coordinador de Biohelis Parque de Innovación Tecnológica</p> <p>Dra. Sara Díaz Castro Coordinadora Programa de Acercamiento de la Ciencia a la Educación (PACE)</p> <p>Dr. Jesús Alfredo de la Peña Morales Coordinador de la Oficina de Propiedad Intelectual y Comercialización de Tecnología</p> <p>Dra. María Sara Burrola Sánchez Coordinadora Unidad Guaymas</p> <p>MC. Rigoberto López Amador Coordinador Unidad Guerrero Negro</p> <p>M. en C. María Elena Castro Nuñez Directora Administrativa</p> <p>C.P. Antonio García Rodríguez Subdirector de Finanzas</p> <p>M. en C. Rafael Palomeque Morales Subdirector de Servicios Generales</p> <p>C.P. Bernardo Careaga Espinoza Subdirector de Recursos Humanos</p> <p>Lic. María Luisa de la Cruz Agüero Subdirectora de Análisis y Evaluación</p> <p>C.P. Liz Aleida Cota Almazán Subdirectora de Contabilidad</p> <p>M. en C. Luis Gómez Castro Subdirector de Planeación</p> <p>Lic. Cinthya Castro Iglesias Jefa del Departamento de Extensión y Divulgación Científica</p> <p>Lic. Ana María Talamantes Cota Jefa del Centro de Información- Biblioteca</p> <p>Lic. Silvia Yolanda Alzaga Mayagoitia Jefa del Departamento Eventos</p>	<p>Editorial _____ 7</p> <p>El poder de la biotecnología en la resolución de Problemas agrícolas. <i>Gracia Alicia Gómez Anduro, Eduardo Romero Vivas, Julio Hernández González, Mario Arce Montoya.</i> _____ 10</p> <p>Plantas como biofábricas de vacunas orales para animales. <i>Carlos Angulo, Perla Carlos, Beatriz Meza, Cristhian SándeZ, Rodrigo Celis, Crystal Guluarte, Silvia Martínez, Raziel Sosa, Abel Ramos, Lizeth Valladares, Ricardo Hernández, Alejandro Dibene, Sergio Barrera, Ricardo del Tejo.</i> _____ 22</p> <p>Reseña histórica y académica del cultivo de camarón en el CIBNOR. <i>Pérez-Enríquez R., Acosta-Salmón H., Arcos-Ortega F., Ascencio F., Campa-Córdova A.I., Campos-Ramos R., Civera-Cerecedo R., Cruz-Hernández P., Hernández-Llamas A., Ibarra-Humphries A.M., Mazón-Suástegui J.M., Mejía-Ruiz C.H., Mercier L., Nolasco-Soria H., Palacios-Mechetnov E., Racotta I.S., Romero-Vivas E., Vázquez-Juárez R., Villarreal-Colmenares H.</i> _____ 36</p> <p>Reseña de libro</p> <p>Oxígeno. La molécula que hizo al mundo. <i>Nick Lane. Oxford University Press, 2002. Por Fernando García Carreño, PH.D.</i> _____ 60</p> <p>Fichas curriculares _____ 65</p>
--	---



Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur; La Paz,
B.C.S. México; C.P. 23096, Tel:(52) (612) 123-8484

Editorial

Ante todo es muy grato llegar a este segundo número publicado de Recursos Naturales y Sociedad, cuya misión es la divulgación de los resultados de la investigación científica. En esta edición por primera vez se presenta una Reseña de Libro, modalidad que esperamos sea en lo sucesivo también considerada para las potenciales futuras contribuciones a esta revista

Asimismo se presentan tres trabajos del CIBNOR en el ámbito de la biotecnología, la agricultura y la acuicultura. El primer artículo, presenta una revisión y análisis de las contribuciones que la biotecnología puede aportar, en el campo de la agricultura, a la solución de problemas reales de nuestro país. El artículo presenta las aportaciones que éste grupo de investigación del CIBNOR ha desarrollado para solventar algunas necesidades, tal es el caso de la generación de kits de bajo costo para la detección de ADN transgénicos en campo y de kits para detección de ADN de

First and foremost it is really pleasant to reach this second published issue of Natural Resources and Society, whose mission is to disseminate the results of scientific research. In this edition a Book Review is presented for the first time, a practice that we hope will be hereinafter also considered for potential future contributions to this magazine. Three CIBNOR contributions in the field of biotechnology, agriculture, and aquaculture are also included.

The first article presents a review and analysis of the contribution that biotechnology can provide in the field of agriculture, solving real problems of our country. The article shows the contributions this CIBNOR research group has developed to address some needs, such as the case of the generation of inexpensive transgenic DNA detection kits in field and



microorganismos que causan enfermedades en agricultura en México. En la segunda de las contribuciones se aborda el tema de la producción de vacunas generadas en vegetales, describiendo a detalle todas las ventajas que estas tienen sobre las vacunas convencionales, especialmente para países como el nuestro, y se destacan las contribuciones concretas que ha realizado el Grupo de Inmunología y Vacunología del CIBNOR en la producción de vacunas en células de alfalfa, germinado de maíz y microalgas, especialmente aquella generada contra la enfermedad para tuberculosis del ganado. El tercer artículo está enfocado a reseñar los antecedentes y evolución del grupo de investigación sobre el cultivo del camarón, que constituye la actividad principal de la acuicultura en nuestro país. Las líneas, resultados y contribuciones en materia de Nutrición, Sanidad, Genética y Genómica, y Fisiología y Reproducción de este muy reconocido grupo de investigación, tanto a nivel nacional como internacional, se describen y analizan.

Todos los artículos concluyen en muy profundas reflexiones acerca de los temas de frontera, tanto en investigación científica como en desarrollo tecnológico, que será necesario abordar en el futuro inmediato para que en nuestro país se optimice y maximice la producción de alimentos que tanto requerimos, y todo ello en un contexto de sustentabilidad. Ciencia con pertinencia,

kits for DNA detection of microorganisms that cause diseases in agriculture in Mexico. In the second contribution, the issue of vaccine production generated in plants is discussed. It describes in detail all the advantages they have over conventional vaccines, especially for countries like ours. It also highlights the specific contributions made by the CIBNOR group of Immunology and Vaccinology in the production of vaccines in cells of alfalfa, germinated corn, and microalgae, especially those generated against paratuberculosis (Johne's disease) in cattle. The third article is aimed to review the history and evolution of the shrimp farming research group, which is the main activity of aquaculture in our country. Research lines, results and contributions on Nutrition, Health, Genetics and Genomics, and Physiology and Reproduction of this well-known research group, both nationally and internationally, are described and analyzed. All the items conclude in very deep reflections on border issues, both in scientific research and technological development, which need to be addressed in the immediate future for our country to optimize and maximize the required food production, and all in a context

es como bien podría intitularse este segundo número de Recursos Naturales y Sociedad. Esperamos gustosamente sus contribuciones para el tercer número que será publicado en el mes de diciembre de este 2016.

of sustainability. This second issue of Natural Resources and Society might as well be named Science with Pertinence. We gladly welcome your contributions to the third issue that will be published in December 2016.

Dr. Alfredo Ortega-Rubio

Verano/Summer, 2016.

El poder de la biotecnología en la resolución de Problemas agrícolas

*The power of biotechnology in solving
agricultural problems*

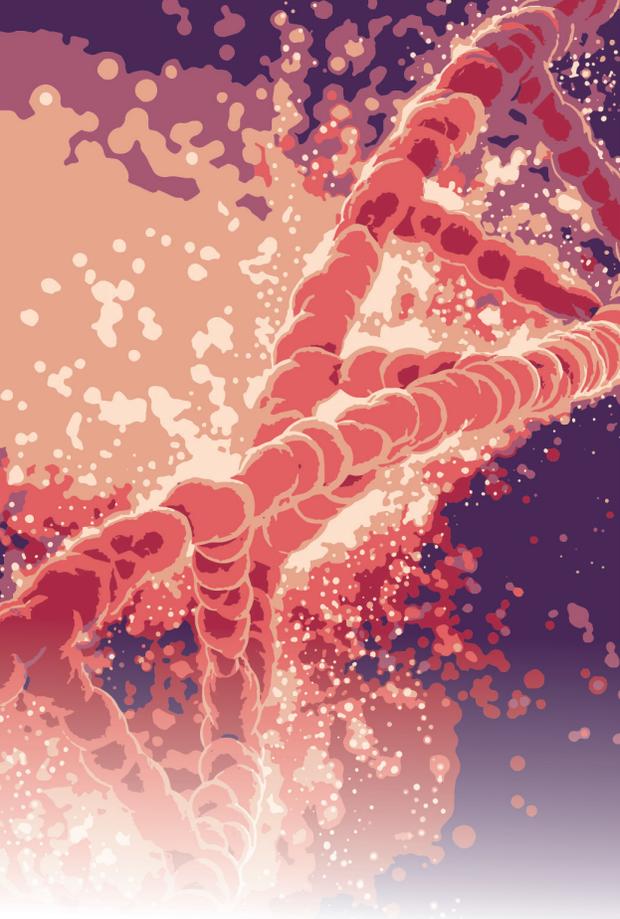
Resumen: En éstos días se habla mucho de la Biotecnología, visualizamos laboratorios sofisticados, equipos caros y personal tan especializado que solo ellos entienden lo que hablan.

¿y si te dijera, que podemos hacer biotecnología de bajo costo y alto impacto?, que los científicos nos aislamos por tanto tiempo y vivimos gran parte de nuestra vida leyendo y experimentando para entender los principios básicos que ahora nos permiten hacer económico lo que nuestra sociedad necesita?. Si te dijera, que después del descubrimiento de la estructura del ADN en 1953 que lleva toda la información de la creación de un organismo, después de aprender en 1986 que la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) nos permite hacer mucho

Recursos Naturales y Sociedad, 2016. Vol. 2 (1): 10-21.
DOI:10.18242/RENAYSOC.2016.02.02.01.0002

Gracia Alicia Gómez Anduro¹, Eduardo Romero Vivas¹, Julio Hernández González¹, Mario Arce Montoya¹

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.



ADN a partir de una sola hebra, de aprender que podemos manipular ese ADN en diferentes organismos: bacterianos (1978) y en la famosa oveja Dolly (1997); que después de todo eso...nos damos cuenta que necesitamos volver a ti y a tus necesidades. Que de nada sirve todo lo que sabemos si permanece guardado en un laboratorio o puesto en un artículo científico que solo pocos entendemos; que de nada sirve si no podemos devolvérselo a la sociedad que contribuyó en que nosotros pudiéramos formarnos y entender lo que ahora sabemos. En éste artículo presentaremos lo que la biotecnología puede hacer para solucionar problemas reales

de nuestro México, presentamos también el aspecto económico y de mercados que influyen en la toma de decisiones en el uso de la biotecnología que te llega como sociedad. Pero también presentamos una opción, una propuesta que empezamos a desarrollar en CIBNOR para aterrizar puntualmente el uso de la Biotecnología para nuestra gente, en el campo.

Palabras clave: Biotecnología, ADN, Agricultura, transgénicos, OGMs

Abstract

These days much has been said about biotechnology. We visualize sophisticated laboratories, expensive equipment, and staff so specialized that only they do understand what they speak about. What if I told you that we can make high impact biotechnology at low cost?, That scientists isolate ourselves for a long time and live a great part of our lives reading and experimenting to understand the basic principles that now allow us to make cheaper what our society needs. If I told you that after the discovery of DNA structure in 1953

that carries all the information of an organism; after learning in 1986 that the polymerase chain reaction allows us to make much DNA starting only from one strain; learning that we can put that DNA in other organisms; bacteria (1978) and in the famous sheep Dolly (1997) After all of that, we realized we need to get back to you and your needs. All our knowledge is worthless if it stays in a laboratory or in a scientific article that only few understand; it is worthless if we cannot give it back to the society that contributed so we could develop and understand what we know now. In this article we show what biotechnology can do to solve real problems in Mexico; we will also show the economic and market aspects that influence in decision making in the use of biotechnology for society. However, we also have an option, a proposal we have started to develop at CIBNOR to put our feet on the ground and use biotechnology for the people in the fields.

Key words: Biotechnology, DNA, Agriculture, transgenic, GMOs

Antecedentes

Te voy a contar de forma breve lo que ha pasado a través de los años y que son la base de lo que ahora llamamos “Biotecnología”. En 1676 se confirmó que las plantas se reproducen sexualmente, un año después se logra observar esperma animal en el microscopio y en 1838 se descubre que los organismos vivos están compuestos de células. 1859 es el año en el que Darwin le dice al mundo su teoría de la evolución de las especies y es el año en el que el mundo se ríe de pensar que el hombre viene de un ancestro semejante a los monos. Diez años después (1866), Mendel explica los fundamentos de la herencia a través de su experimento

tan conocido con chicharos verdes y amarillos, lisos y rugosos. Es decir, en éste punto los científicos sabían que había “algo” que se tenía que estar pasando entre los organismos, que



pexel: fern-green-plant-spring-56852-2

éste “algo” podía “evolucionar” y que cumplía con ciertas leyes, las “Leyes de Mendel”. En 1871 aíslan el ADN del núcleo de la célula y en 1909 le llaman “genes” a los pedacitos de ADN que son las unidades fundamentales de la herencia. Es en 1927 cuando el Biólogo y genetista Müller se dio cuenta que podía mutar o cambiar el ADN mediante rayos X lo cual le dijo al hombre que podía modificar genes al azar, si, modificar esas unidades fundamentales de la herencia. En 1943 el ADN es caracterizado como la molécula genética y entre 1940 a 1950 se descubre que cada gen da origen a una proteína. En una controversial historia en la que Watson y Crick trabajaban en la estructura del ADN y Rosalin Franklin hacía fotografías de los cristales de la molécula de ADN se empata la información de éstos científicos y es en 1953 cuando se propone la

estructura de la doble hélice del ADN. En 1959 se identifican 23 de pares de cromosomas del genoma humano, que es la forma en la que el ADN está empaquetado en la célula y 1966 es el año en el que aprendimos a leer el ADN, “el código genético”. Y éste hecho es genial para un biotecnólogo porque saber leer y leer es lo que nos hace aprender, y saber leer el ADN nos enseñó lo que es la ingeniería genética. En sus inicios, la ingeniería genética no fué más que hacer corte y confección con el ADN. Los primeros experimentos de ingeniería genética se hicieron en 1973, dos años después por inmunología tradicional se producen los primeros anticuerpos monoclonales (muy usados hoy en medicina). Por supuesto se ve el potencial de hacer dinero con la ciencia y tecnología y se crea en 1976 la primera empresa de Ingeniería genética en Estados Unidos (Genentech Inc. Que actualmente trabaja varios desarrollos con empresas transnacionales). Éste punto es crucial como veremos después en la situación de mercado que se vive actualmente con el desarrollo

de “Productos Biotecnológicos”, especialmente los llamados “transgénicos”. Éste año es donde se empieza a apoyar la biotecnología con fines médicos principalmente y en 1977 se produce una hormona humana en la bacteria *Escherichia coli*. En 1978 se clona el gen de insulina humana tan importante para las personas enfermas de diabetes y dos años después (1880) el tribunal supremo de Estados Unidos dictamina que se pueden patentar microbios obtenidos por ingeniería genética. Desde entonces y a la fecha, podemos visualizar 3 enfoques en el desarrollo “Científico-Tecnológico”:

El que hace ciencia por la ciencia misma-conocer, el que hace aplicaciones de la ciencia y el que visualiza la protección, venta y mercado de la ciencia. Esto último un tema muy controvertido entre los científicos y tecnólogos en el que no pretendemos ahondar.

Un año después de que se autoriza patentar microbios (1981), se logra el primer diagnóstico prenatal mediante análisis de ADN y en 1982 se crea el súper ratón transgénico que producía mayor cantidad de la hormona de

crecimiento. Estos dos últimos hechos, son el principio de los conflictos éticos que rodean a la Biotecnología, pues tenemos capacidad de detectar cualquier error prenatal en el ADN y capacidad de “mejorar” el ADN de los organismos de acuerdo a lo que alguien defina como “mejora”. En 1984 se construyen las primeras plantas transgénicas, en 1988 se hace la primera solicitud a México para pruebas en campo de jitomate genéticamente modificado y en 1994 se comercializa en California. En 1995 y 1996 son los años en que se facilita la secuenciación de genomas, primero los procariotes (*Hemophilus influenzae* y *Mycoplasma genitalium*) y después el eucariote (*Saccharomyces cerevisiae*); y es esto lo que facilita la ingeniería genética, pues si volvemos a la alusión de “corte y confección del ADN”, ahora los biotecnólogos tenemos “mucho tela que cortar”. Con conocimientos de fisiología animal, biología celular y molecular, nace “Dolly” en 1997, la famosa oveja clonada obtenida de la célula de la glándula mamaria de una oveja Finnish Dorset de 6 años de edad (Shiels et al., 1999). Dolly, fue y será el principio de la clonación, la única de 277 intentos fallidos; tuvo 3 partos siendo madre de 6 ovejas (Bonnie, Sally, Rosie, Lucy, Darcy y Cotton), fue sacrificada a los 6.5 años el 14 de Febrero del 2003 por una forma de cáncer de pulmón (la expectativa de vida para estas razas es de 11-12 años). Hoy en día ésta información es manejada por los niños desde nivel primaria siendo normal para ellos usar los términos: célula, ADN y clon.



oveja Dolly, expansión.mx

El uso de la biotecnología agrícola para la producción de alimentos

El tema del acceso a los alimentos es considerado un derecho para los seres humanos, por lo que de allí, se maneja la preocupación del desabasto de alimentos derivado del crecimiento poblacional. La pregunta es: ¿Hay realmente un desabasto de alimentos o estamos hablando más bien de una mala distribución de los alimentos con que contamos?. Derivado de una reunión de la FAO en 2010 sobre Agrobiotecnologías para los Países en Desarrollo (FAO 201 ABDC), que se llevo a cabo en la ciudad de Guadalajara, Mex. Se promueve la adopción de agrobiotecnologías apropiadas en los diferentes países para generar autosuficiencia como una forma de resolver el problema del hambre, y no la distribución a manera de donación de alimentos pues genera dependencia de otros países (Comentario personal Dr. Ariel Álvarez).

Para no entrar en discusión, los biotecnólogos buscamos aportar nuestro granito de arena con lo que sabemos hacer, algunos trabajan entonces en aumentar el rendimiento por hectárea de los granos básicos, otros haciendo que la planta sea resistente a plagas y enfermedades para disminuir las pérdidas, los hay quienes se enfocan en aumentar la vida de anaquel para que el producto llegue a donde queremos que llegue sin descomponerse y estamos los que hacemos plantas resistentes a salinidad, sequía u otras condiciones que permitan utilizar terrenos que hoy día no sirven para la producción de alimentos o que puedan adaptarse a algunos efectos del cambio climático. Si re-tomamos este último punto, hay un hecho real que ha causado conflicto con el uso de la biotecnología y que no tiene nada que ver con que se piense que el transgénico es malo para la salud. Tiene que ver más con gestión del riesgo que con evaluación de riesgo, es decir, el análisis de riesgo para el OGM es un estudio minucioso y detallado basado en conocimiento científico sobre los posibles efectos del OGM en salud o medio ambiente (<http://ec.europa.eu/>

[research/biosociety/index_en.htm](http://ec.europa.eu/research/biosociety/index_en.htm)) y la gestión del riesgo implica el análisis del costo político-social-comercial-cultural de liberar un OGM. Un ejemplo, el sonado caso de la solicitud de MONSANTO para sembrar soya transgénica en Yucatán, lo que implicaba talar hectáreas de selva tropical para sembrar un mono-cultivo. Esto es dañino ecológicamente sea o no transgénico, si a eso le sumamos que en Campeche y Yucatán existen empresas exitosas dedicadas a apicultura orgánica (<https://youtu.be/JEq14vVying>), es lógico pensar que no debe haber sembradíos transgénicos cerca.

En materia de Biotecnología agrícola, las semillas modificadas genéticamente despuntaron con fuerza a partir del 2003.

Actualmente las semillas transgénicas que encontramos en los mercados resuelven problemáticas reales (por ejemplo el maíz Bt que mata al gusano barrenador o el maíz resistente a herbicidas, que reduce los costos del manejo de las plantaciones), y es común pensar que son las empresas (MONSANTO, DUPONT, BAYER entre otras) las que se

enriquecen al vender no solo la semilla, sino los paquetes tecnológicos completos que “aseguren” el rendimiento que ofertan. La realidad es que el agricultor también gana (aunque en menor magnitud), si no, simplemente no volvería a comprar



<http://www.odepa.cl/>

y la venta de semilla transgénica no sería un negocio. ¿Porqué la empresa de base biotecnológica es un buen negocio?, simplemente porque hacen negocio completo con bajo riesgo. El agricultor puede comprar no solo la semilla, sino el paquete tecnológico que le ofrece la empresa de base biotecnológica (sea o no de transgénicos) para tener el rendimiento esperado, lo que incluye: consumibles y asesoría

del personal de la empresa para asegurar su cultivo. El negocio de la empresa, es de riesgo mínimo en función de inversión-recuperación (aunque de inversión considerable), a diferencia del negocio del agricultor cuyos ingresos están sujetos a muchos

otros factores como: precio del producto, factores ambientales, enfermedades de la planta, etc. Pero a final de cuentas ¿quién es el que produce realmente el alimento?, ¡es el agricultor! Y es a él a quien debemos proteger, ¿cómo? creando empresas mexicanas que apoyen sus necesidades a bajo costo. Y al mismo tiempo estas empresas darán empleos a los muchos biotecnólogos talentosos

mexicanos que actualmente tienen que salir del país en busca de empleos y que muchos de ellos trabajan para empresas de base biotecnológica en el extranjero; de nuevo sería un negocio completo, pero esta vez para los mexicanos.

A la fecha, México no tiene ninguna empresa de competencia biotecnológica internacional, ¡vaya! ni siquiera tenemos productos propios patentados y liberados que resuelvan necesidades de los cultivos mexicanos. No los tenemos a la venta porque quizá por años la política mexicana fue apoyar la ciencia-por la ciencia misma y eso sentó las bases de lo que ahora tenemos guardado en los diferentes laboratorios de investigación científica y en las diferentes universidades. Las instituciones de investigación mantienen bajo resguardo material de relevancia y competencia enorme para nuestro país, que cabe decir, utilizan biotecnología de punta con diseños ingeniosos para la resolución de problemas. Entre algunos ejemplos tenemos: alfalfa que crece con 50% menos de agua y que incluso puede ser sembrada en suelo salino (Dr.



Iturriaga, Universidad de Morelos), maíz tolerante a sequía y frío (CIEA-9, Dra. Xoconostle en CINVESTAV-DF), frijol resistente a “Tizon de Halo” (Dr. Álvarez Cinvestav-Irapuato), microalgas que producen hormona de crecimiento para peces o vacunas específicas para ganado (generados en CIBNOR), entre muchos otros ejemplos.

Es prioritario que México apoye a sus científicos en la generación de patentes de semillas mejoradas y en impulsar empresas de base biotecnológica para evitar pagar regalías a empresas extranjeras. México requiere que se generen las políticas públicas necesarias para facilitar que, el trabajo que hemos venido haciendo los biotecnólogos mexicanos, salga de nuestros laboratorios a través de empresas mexicanas, que a su vez, generarán empleos para nuestros egresados de Posgrado que son recursos humanos en los que el país ha invertido por años.

Protección intelectual y Patentes

En principio la idea de patentar puede sonar bien, sin embargo, no va con la mentalidad del investigador, el científico, cuya filosofía es “compartir el conocimiento para ser criticado por sus pares y mejorarlo entre todos”. En biotecnología esto es fundamental ya que la mayor parte de la información que se utiliza la obtienen de manera gratuita a través de bases de datos públicas a las que puede acceder cualquier científico en cualquier parte del mundo, sin embargo generar esa información, mantenerla pública y accesible no es gratis. Los programas que se utilizan para analizar esa información, los sistemas operativos de las máquinas que guardan esa información, se le brindan totalmente gratis gracias a ese espíritu de cooperación. Estas pequeñas diferencias filosóficas son las que hoy en día nos conflictúan como investigadores, al que las políticas mexicanas actuales impulsan a patentar. Después de 1981, año en el que se autoriza la patente de microbios manipulados por ingeniería genética, se viene una filosofía de mercado de “proteger y vender el conocimiento”. Pero, ¿proteger contra qué?, ¿Contra la posibilidad de que alguien la use? No, puesto que deseamos que se use. ¿Proteger de la

posibilidad de que alguien que no pagó la investigación la explote?, creeríamos que sí, de hecho mucho escuchamos la frase “es que tu publicas y otro viene, patenta y te vende el producto”. Pero la realidad no es así, cuando un investigador publica sus resultados completos eso ya no es patentable puesto que se vuelve conocimiento de dominio público, entonces nadie puede usar nuestras publicaciones para una patente. Lo que sí puede pasar, es que llegue un inventor y utilice la información científica para darle una aplicación. Éste es un concepto diferente al del investigador puesto que uno publica y otro ve la aplicación, es por ello que en protección intelectual existe el concepto de “invención” que implica el uso de conocimiento científico publicado para darle una aplicabilidad. En éste sentido, la brecha entre el científico y el inventor es tan sutil y complicada que todos terminan creyendo tener créditos sobre todo a la hora de una patente.

¿Entonces que implica una patente?, 1) Mucha investigación detrás, 2) un análisis de protección intelectual en el que se ve “todo lo

que habría que proteger” e incluso a veces se exagera en el rango de protección para que alguien que lea la patente no pueda reproducirlo tal cual. Porque cabe señalar que una vez patentado algo, está disponible en la red, se puede reproducir con fines de investigación pero no de lucro. 3) Involucra el pago de la protección de esas patentes por país en el que se quiera proteger, es decir, un país en el que no tengamos pagada nuestra patente puede usar y vender el producto sin pagarnos regalías y 4) involucra mantener el pago de patentes al corriente para asegurar la protección a través del tiempo y 5) además, en caso de que exista una violación a la patente: ¿se cuenta con los recursos económicos y legales para llevar la situación a un juicio legal?. ¿Todo esto qué significa?, nada más y nada menos que se invirtió mucho dinero en que nadie sepa o pueda usar lo que hice y ESO...hay que recuperarlo. ¿Cómo se recupera? Explotando la patente el mayor tiempo posible.

Si visualizamos esto en una línea de tiempo, supongamos que tenemos una investigación

que llevó 10 años para tener un producto, 2-5 años que nos lleve patentar, 5-10 años en vender la patente o crear la empresa que la explotará más la infraestructura e insumos que requiere todo el canal de mercado. ¡Es una inversión enorme!, entonces entendemos el hecho de que las patentes que están en uso, son de investigaciones de al menos 20 años de viejas.

Una filosofía más amigable y compatible con el pensamiento científico es la filosofía de “código abierto”, esta permite reproducir, modificar, disponer, aprender, e inclusive comercializar lo que se libera bajo esta licencia siempre y cuando se mantenga el crédito correspondiente a su autor. Gracias a esto existe el internet, las bases de datos para que los biotecnólogos comparen sus secuencias, los programas que utilizan, miles de libros y publicaciones disponibles sin requerir un pago. Simplemente si estas bases de datos no estuvieran disponibles de forma gratuita para todo mundo la tecnología no avanzaría a esta velocidad. Esta filosofía no impide sin embargo, que lo invertido sea redituable,

empresas y fundaciones como Arduino, adafruit, raspberry pi entre otras, en las que su capital se logra vendiendo un producto del cual dan todas las características para que cualquiera lo pueda reproducir y mejorar, (En México por ejemplo, la tienda de electrónica steren ya comercializa su versión de Arduino). En este tipo de empresas la idea es transmitir la información lo más clara posible, brindando al usuario la posibilidad de reproducir el material que se requiere. Es decir “te digo completamente todo para hacerlo, e inclusive te enseñé como hacerlo, pero si quieres aquí tienes el producto terminado a bajo costo”, claro que además se añaden otros productos como asesorías, revistas, accesorios etc. Esto sin duda abre otras posibilidades de mercado, puesto que ya no vendemos caro sino que vendemos mucho. Y más aún, los que compran, retroalimentan el sistema para la mejora del producto, es decir, tenemos mejoradores de nuestro sistema en todo el mundo compartiendo con todos la información a través de la red. Y es hacia allá, donde como grupo científico del CIBNOR nos gustaría migrar.

Empresas y mercados

Partiendo del hecho de que la primera empresa de Ingeniería genética (Genentech Inc.) se creó en Estados Unidos en 1976, es sencillo entender la política de mercados que maneja la comunidad Europea y Estados Unidos. Estados Unidos llegó primero al mercado de la biotecnología, es uno de los principales productores y consumidores de productos transgénicos y su empresa MONSANTO es la número uno en producción de transgénicos (<http://transgenicoperu.foroperu.org/t5-las-5-empresas-mas-importantes-de-transgenicos>). Es claro y lógico entender entonces que la comunidad Europea protegiera su economía, cerrando el comercio de transgénicos y apoyando la agricultura orgánica (lo trato de ejemplificar gráficamente en la figura 1), ¿eso porqué?, porque a la fecha ninguna de sus empresas (ni siquiera todas juntas) son de competencia biotecnológica para MONSANTO (mas adelante nos referiremos a empresas de base

biotecnológica estadounidenses). Si a eso le añadimos el punto, de que la comunidad Europea “puede pagar” productos orgánicos (a diferencia de el promedio de los mexicanos), podemos entender porqué esa política se puede mantener (Comunicación personal, Dr. Ariel Álvarez-CINVESTAV).

Lo que es un hecho, es que la biotecnología agrícola es un negocio, un muy buen negocio que los mexicanos no hemos volteado a ver o estamos viendo con varios años de atraso. Pero eso no significa que no trabajáramos en ello, solo significa que no la hemos usado y está guardada en las instituciones científicas esperando ser sacadas. Pero, ¿cómo competirían nuestras patentes y nuestras empresas con empresas de base biotecnológica estadounidenses?, la respuesta es una opinión muy personal que les compartimos, no debemos tratar de competir con empresas de base biotecnológica estadounidenses; debemos dejar de querer vender todo a Estados Unidos y verlo como un competidor más, no como un ejemplo. Lo que debemos hacer es voltear al competidor mas cercano, la comunidad Europea,

y asociarnos a sus empresas, asociarnos para cubrir un mercado juntos, un mercado que no está cubierto. ¿Porqué eso pudiera funcionar?, por varias razones: 1) Europa tiene una política bien establecida de protección de su economía (específicamente anti-transgénicos, lo cual puede leerse contradictorio a lo que proponemos pero en los siguientes puntos se verá que no). Este tipo de política puede aumentar la posibilidad de que proteja el desarrollo de la asociación México-Europa mientras se le plantee una forma de mejorar su economía y crecer ofreciendo productos mejorados (por ejemplo cisgénicos, de lo que ablaremos mas adelante). 2) Las patentes que actualmente explotan las empresas de base biotecnológica estadounidense usan biotecnología vieja o de antigua generación (para decirlo de una forma sencilla), usando promotores de virus, terminadores de bacterias que luego meten a plantas, construcciones con genes de selección de antibiótico etc. Todas esas cosas que son muy criticadas por las corrientes ecologistas, estan allí, en esa

biotecnología que años atrás era la novedad, pero ya no. Pero las empresas estadounidenses tienen mucho dinero, ¿porqué no tienen la biotecnología nueva?, la verdad, muy probablemente ya la tienen y la tienen patentada, pero como comentábamos en la sección anterior “hay que terminar de explotar las patentes” y por lo tanto para recuperar su inversión necesitan usar tecnología vieja

biotecnología muy amigable que ofrece mejoramiento genético evitando romper las barreras entre especies, biotecnología puntual que logra hacer que un árbol sea transgénico sólo donde se requiere y no lo sea en el fruto que el humano consumirá (por decir un ejemplo real). Así, nuestros laboratorios mexicanos tienen mucho que ofrecer para asociarse con las empresas de la comunidad europea.

Europa no quiere transgénicos, ¿porqué aceptaría una asociación para producirlos?, primeramente seguirá habiendo mercados que no los quieran, sobre todo en países donde hay Organizaciones no Gubernamentales (ONG) bien organizadas contra transgénicos. Pero, podríamos entrar con fuerza al mercado estadounidense ofertando esta tecnología de competencia y al mercado Europeo con la tecnología

de cisgénicos. Veámoslo así, ¿que hizo MONSANTO para poder entrar al mercado Europeo?, era claro que con transgénicos no lo lograría y de allí que tenemos una parte de MONSANTO que vende productos para agricultura orgánica y más aun, una faseta oscura Estadounidense que apoya ONGs contra transgénicos en Europa para bajar recursos que de otra forma nopodría acceder. Es decir, simplemente se trata de llegar a nichos de mercado

adaptando las empresas para eso (si lo que nos interesa es el dinero y la empresa) y mediante las estrategias adecuadas. Es lo mismo que podemos hacer como asociación méxico-Europa.



Figura 1. Representación gráfica producto del análisis realizado para este artículo, de la competencia de mercado entre Estados Unidos y Europa. Del lado izquierdo se muestran las empresas biotecnológicas Estadounidenses y del lado derecho las empresas Europeas. En la parte central, se muestra una gráfica de las principales empresas productoras de OGMs en el mundo, en donde destaca claramente MONSANTO.

unos años más. Es allí donde entra México y su tecnología de cisgénicos (genes de plantas para plantas de la misma especie), biotecnología ingeniosa guardada en nuestros laboratorios,

Nosotros tenemos conocimiento producto de años de investigación, con el que se resuelven problemas alimentarios importantes y ellos tienen un mercado protegido por sus políticas internas. Pero

Consideraciones finales y perspectivas

La posibilidad de tener Biotecnología de bajo costo

Partiendo del hecho de que en México somos nuevos en temas de empresas biotecnológicas, es lógico pensar que iniciaremos por el camino “más fácil”: patentes. CIBNOR ha migrado parte de su ciencia a la plataforma tecnológica a través del impulso de patentes a través del Parque de Innovación Tecnológica BIOHelis. Esperamos que sea solo un proceso de transacción en lo que montamos la estructura para la creación de empresas de código abierto. Aún así, el proceso para hacer real y

revenderá al costo que su mercado le diga. Cuando decimos “tengamos que vender” es porque en realidad las empresas mexicanas de base biotecnológica son nacientes, es decir, no hay empresas mexicanas a quien venderle. Empezando por allí, nuestro grupo de Biología Molecular de Plantas en CIBNOR, estamos creando una plataforma de mercado con objetivos a corto, mediano y largo plazo. Con esta plataforma pretendemos llegar de hoy a 20 años a la mayoría de los estados del país generando empleos y usando nuestras propias patentes o patentes vencidas cuya seguridad ha sido demostrada.

En primera instancia, estamos patentando nuestros productos, productos que resuelven necesidades reales de México: microarreglos de ADN, kits de bajo costo para la detección de ADN transgénicos en campo, kits para detección de ADN de microorganismos que causan enfermedades en agricultura, vectores y promotores útiles en biotecnología entre otros. Actualmente estamos trabajando en crear la primera empresa de biotecnología con nuestros

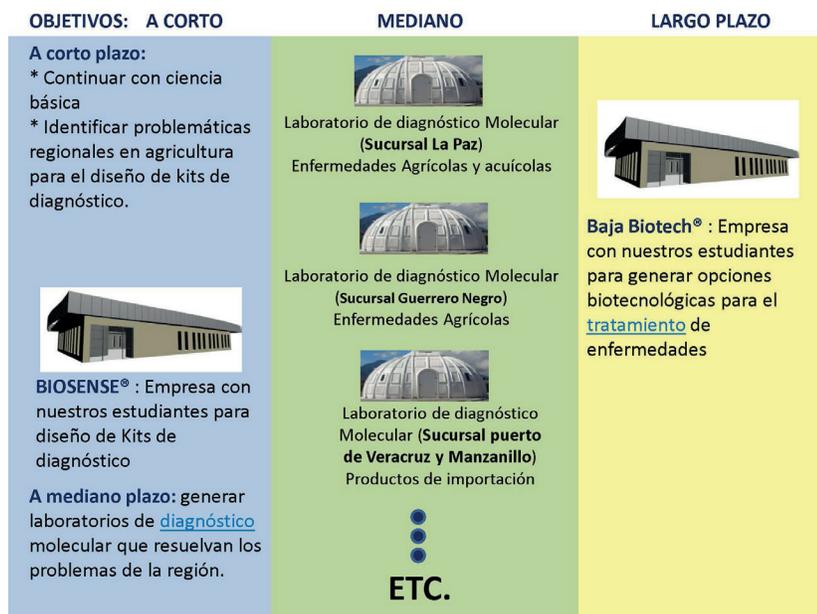


Figura 2. Objetivos a corto, mediano y largo plazo planteados por el grupo de Biología Molecular de Plantas del CIBNOR para resolver problemas agrícolas a través de la generación y aplicación de patentes propias.

aterrizada una patente es largo y depende de factores como por ejemplo que exista una empresa interesada en ella y un mercado competente para su uso. Para un investigador, enfrentar esta realidad es duro, como mexicanos queremos que lo que hicimos se quede con los mexicanos y no que se la tengamos que vender a una empresa extranjera que luego nos la

estudiantes egresados de Doctorado especialistas en Biotecnología vegetal y con ello impulsar la creación de naves de diagnóstico molecular que resuelvan las problemáticas que se requieran por estado de la República. A largo plazo, pretendemos que la empresa pase de ser una empresa de diagnóstico a una empresa que ofrezca un tratamiento de las principales enfermedades agrícolas que aquejan a nuestro país (figura 2). Sin duda, un camino largo y no fácil, pero las metas son claras y trabajamos enfocados en ciencia de calidad que día a día nos indica que vamos por buen camino.

Agradecimientos

Los Autores agradecemos al Lic. Gerardo Hernández el diseño gráfico editorial y a la Ms.C. Diana Dorantes la revisión del Idioma Inglés del Abstract.

Literatura citada

ISAAA 2014. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/49/pressrelease/pdf/B49-PressRelease-Spanish.pdf>

Shiels, P.G; Kind, A.J; Campbell, K.H; Waddington, D; Wilmut, I; Colman, A; Schnieke, A.E. 1999. Analysis of telomere lengths in cloned sheep. *Nature*. 399(6734):316-7.

Cita de este artículo

Gómez Anduro G.A. *, E. Romero Vivas, J. Hernández González, M. Arce Montoya. 2016. El poder de la biotecnología en la resolución de Problemas agrícolas. *Recursos Naturales y Sociedad*, Vol. 2 (1): 10-21. DOI:10.18242/RENAYSOC.2016.02.02.01.0002

Sometido: 25 de octubre de 2015

Revisado: 18 de enero de 2016

Aceptado: 05 de Abril de 2016

Editora asociada: Dra. Thelma Castellanos Cervantes

Idioma Inglés Abstract: Ms.C. Diana Dorantes

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández



Plantas como biofábricas de vacunas orales para animales

Plants as biofactories of oral vaccines for animals

Resumen: La producción de vacunas recombinantes en plantas inició hace casi 25 años con la producción de una vacuna proteica contra el virus de Newcastle para la industria avícola (Curtis y Cardineau, 1991).

La patente se consiguió en 2006 en los Estados Unidos de Norteamérica. Inicialmente, el concepto se probó en plantas pero posteriormente se extendió a las microalgas hace poco más de 10 años. En la actualidad, el CIBNOR desarrolla vacunas experimentales en plantas y microalgas marinas que puedan ser administradas vía oral y con el objetivo de contribuir a la salud de los animales de importancia en la producción de alimentos para el consumo humano. Durante 5 años de investigación

Recursos Naturales y Sociedad, 2016. Vol. 2 (1): 22-35.
DOI:10.18242/RENAYSOC.2016.02.02.01.0003

Carlos Angulo¹, Perla Carlos², Beatriz Meza², Cristhian Sánchez², Rodrigo Celis², Crystal Guluarte², Silvia Martínez², Raziél Sosa², Abel Ramos², Lizeth Valladares², Ricardo Hernández², Alejandro Dibene², Sergio Barrera², Ricardo del Tejo²

¹Investigador, SNI nivel I, Grupo de Inmunología & Vacunología. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

²Estudiantes que han contribuido en el desarrollo de vacunas en el CIBNOR, Grupo de Inmunología & Vacunología.



se ha logrado producir la primera vacuna oral contra la enfermedad paratuberculosis del ganado en plantas de alfalfa, aunque aún es necesario evaluarla en vacas, ovejas o cabras. El mismo concepto se ha explorado en las microalgas de nombre *Chlamydomonas* (dulceacuícola) y *Schizochytrium* (marina), y recientemente en la microalga marina *Phaeodactylum*. Sin embargo, en la presente revisión se expondrán los avances sobre el desarrollo de las vacunas comestibles producidas en plantas, lo que se le llama en el lenguaje científico “la frontera del conocimiento”, la contribución que está realizando el CIBNOR en el tema, y se ofrecerá una perspectiva de lo que probablemente contribuiremos en los próximos 5 a 10 años.

Palabras clave: Vacunas en plantas; inmunización de las mucosas; plantas como vehículos de administración oral; salud animal; seguridad alimentaria.

Abstract

The first recombinant vaccine production began 25 years ago starting with a protein vaccine against the Newcastle virus affecting poultry industry (Curtis y Cardineau, 1991). In 2006, a patent was obtained in the United States of America. At the beginning, this concept was tested in plants, but it was extended to microalgae 10 years ago. Currently, CIBNOR develops experimental vaccines in plants and marine microalgae that can be administered orally with the objective of contributing to health of farming animals relevant in food production for human consumption. During the last 5 years of research, we have produced the first vaccine in alfalfa plants against paratuberculosis (Johnes disease) in livestock although it still needs to be assessed in cattle, sheep or goats. The same concept has been explored in

the microalgae *Chlamydomonas* (freshwater) and *Schizochytrium* (marine), and recently in the marine microalgae *Phaeodactylum*. In this review, however, we will set out recent advances on edible plant-based vaccine, which in scientific language is known as border line of knowledge, the contribution of CIBNOR in this research field, and a perspective of our potential contribution in the following 5 to 10 years.

Key words: Plant-based vaccines; mucosal immunization; plants as oral delivery vehicles; animal health; food security.

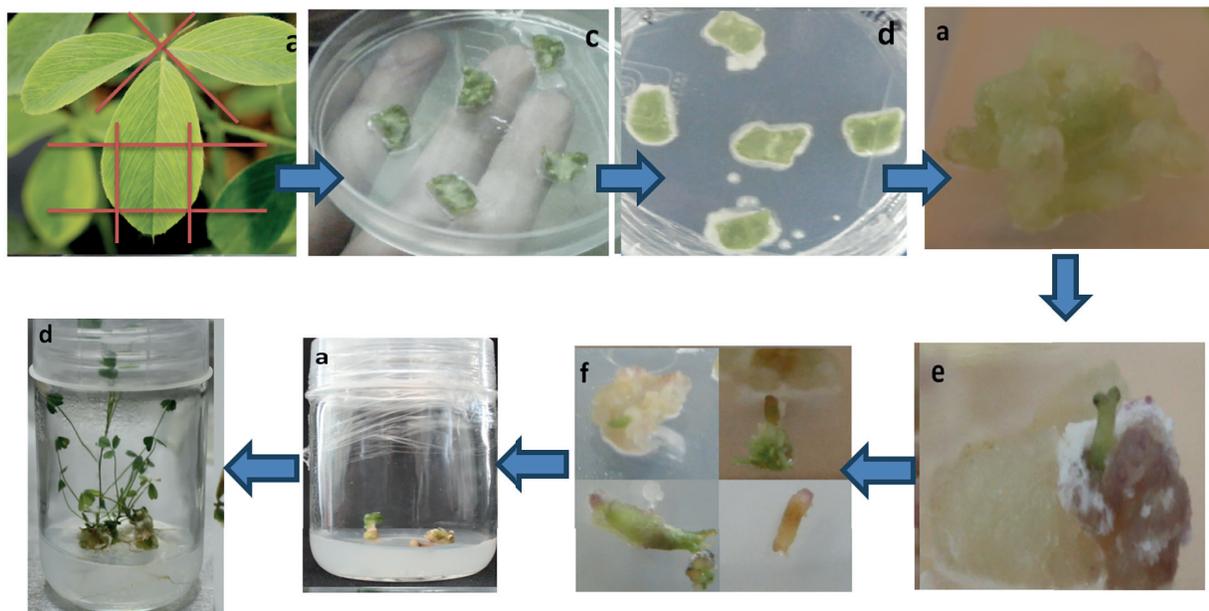
Antecedentes

El concepto original fue la producción de vacunas orales como una estrategia de fácil administración, libre del uso de jeringas e indolora porque sería consumida, barata porque se evitaría los costos de purificación de la vacuna y de personal especializado para su aplicación, y además se evitaría la famosa “cadena de frío” cuyo fin es mantener a la vacuna a 4°C para evitar que se inactive

y cuyo costo llega a representar hasta el 90-95% del costo total de una vacuna. Lo anterior es particularmente relevante para los países en desarrollo y los más pobres cuyo acceso a los servicios de salud y electricidad son escasos. Un atractivo adicional que se ha resaltado es el hecho de que las plantas y las microalgas no poseen patógenos que infecten al humano,

los estudios realizados con vacunas orales producidas en plantas y microalgas se han centrado en modelos de ratón, y sobre todo, con enfoque biomédico para su uso en humanos. Algunos ejemplos incluso han llegado a pruebas en humanos y, aunque no se tiene una vacuna autorizada aún, ya se comercializa una enzima producida en células de zanahoria (Shaaltiel

como especies afectivas, silvestres y de importancia en la producción de alimentos, es menos estricta. Dado que el CIBNOR posee un programa académico orientado a la producción agropecuaria sustentable en zonas áridas, el quehacer en este tema de vacunas está orientado a resolver problemas de salud de los animales de importancia en la producción



Protocolo de transformación de alfalfa (*Medicago sativa* L.) mediada por *Agrobacterium tumefaciens* como sistema de producción de vacunas de *Mycobacterium avium* subsp. *Paratuberculosis*. En esta figura se muestra paso a paso el proceso de transformación i regeneración: (a) explantes foliares de alfalfa en cortes de 0.5 cm², (b y c) inoculación y co-cultivo de explantes con la bacteria *A. tumefaciens* encargada de transmitir el material genético que contiene el gen de la vacuna, (d) proceso de indiferenciación y formación de callos, (e y f) formación y aislamiento de embriones transgénicos, (g) proceso de diferenciación y regeneración de alfalfa, y (h) planta de alfalfa produciendo la vacuna.

mientras que las vacunas que se producen en células de animales y de insectos tienen el riesgo de contaminación con patógenos y por lo tanto se deben someter a una validación estricta de este aspecto. Hasta el momento, la mayoría de

et al., 2015). Notablemente, las regulaciones para la producción de vacunas en organismos como plantas y microalgas para su aplicación en humanos es rigurosa. En cambio, su potencial uso en animales de interés veterinario,

de alimentos para el consumo humano. Las vacunas orales generadas, como todas las vacunas que se producen en plantas y microalgas, son a base de componentes del patógeno (virus, bacteria o

parásito) llamadas proteínas. Los humanos también tenemos un gran número de proteínas en todo el cuerpo, pero curiosamente nuestro cuerpo detecta como componentes extraños a las proteínas de los patógenos que nos enferman. Lo mismo sucede en los animales.

Entonces, la base de las vacunas producidas en plantas y microalgas son proteínas del patógeno contra el que queremos proteger,



las cuales inducen mecanismos del sistema inmunológico que protegen contra el agente infeccioso. En la arena de vacunas para animales, varios patógenos infecciosos de importancia económica han llamado la atención para desarrollar vacunas a base de plantas y microalgas. De todas ellas, a continuación se describirán las plantas que se han utilizado para la producción y entrega oral de vacunas para su uso en animales.

Vacunas contra enfermedades causadas por virus.

Como se mencionó anteriormente, el concepto de vacunas en plantas se exploró precisamente para la obtención de una vacuna contra el *Virus del Newcastle* en células de tabaco en la Universidad de Arizona, Estados Unidos Americanos. En este caso, la detección del *Virus del Newcastle* en los sistemas de producción de pollos de engorda es motivo de restricción para su comercialización, lo que representa grandes pérdidas para el sector aviar considerando que la carne de pollo en países como México son indispensables en la dieta de las familias. Después de este trabajo

pionero han existido numerosos ejemplos de plantas que producen vacunas y las ventajas principales después de 25 años son: existen herramientas de laboratorio desarrolladas para su manipulación, existen procesos de escalamiento agrícola-industrial, y la propiedad de bioencapsulación de vacunas en plantas que permite conservar su efectividad a temperatura ambiente por varias semanas o meses. Entre los ejemplos, destaca el grupo de investigación del Dr. Andrés Wigdorovitz del Instituto de Virología en Argentina

que han trabajado para la producción de una vacuna en alfalfa contra la enfermedad fiebre aftosa del ganado (vacas, cabras, ovejas, y cerdos, y también enferma a búfalos y venados).

Sus resultados, y los de otros grupos de investigación en el mundo, han permitido demostrar que las vacunas son funcionales y potencialmente pueden proteger a los animales de esta enfermedad, aunque hasta el momento solo se han evaluado en ratones y cuyos. La importancia de esta enfermedad radica en el debilitamiento de los animales porque pierden el apetito y aparecen llagas en la boca y las patas; y consecuentemente disminuye la producción de leche y carne en las poblaciones de animales infectados. En este caso, la enfermedad fue erradicada en México en la década de los 1950, sin embargo continua siendo un problema de salud en Sudamérica (África y Asia) y el riesgo de reintroducción a México es

latente. Otras plantas que se han utilizado para producir proteínas del virus de la fiebre aftosa han sido tabaco, papa, tomate, arroz, el arbusto forrajero crotalaria (*Crotalaria juncea*) y es interesante que se haya explorado el Tabardillo (*Stylosanthes guianensis*), un arbusto común en la flora de Baja California Sur, que se le atribuyen varias propiedades medicinales y que es consumido con frecuencia por el ganado que se pastorea. De todas ellas, la vacunación por vía oral se ha evaluado en roedores usando plantas de tabardillo, crotalaria y arroz; demostrándose una protección parcial ya que 2 de cada 3 animales fueron protegidos ante la infección experimental. Aunque los resultados son alentadores, es necesario aumentar la eficiencia de las vacunas y evaluarlas en vacas, ovejas, cabras o cerdos. No obstante, en nuestro país existen enfermedades virales declaradas de atención prioritaria y existen ejemplos de plantas que se usan para la producción de vacunas orales. Los *Rotavirus* causan mortalidad e importantes pérdidas económicas en el sector pecuario

mundial. Ante este problema de salud animal, se ha logrado producir exitosamente proteínas del este virus a niveles de 0.06-1% de las proteínas totales de plantas como alfalfa, tabaco, tomate y una especie de quelite (*Chenopodium amaranticolor*) que es una hierba común en México. Todos las evaluaciones de vacunación se han realizado en ratones y la inmunización oral con las vacunas producidas en alfalfa, tabaco y quelite inducen respuestas de

También en maíz se produjo una vacuna contra la enfermedad de Newcastle que afecta a las aves productoras de huevo para plato y pollos de engorda.

protección de hasta el 60% (6 de cada 10 animales protegidos) ante un reto infeccioso con el *Rotavirus*. Otras enfermedades importantes del ganado que causan pérdidas en la producción de alimentos de origen animal son las causadas por Papilomavirus Bovino, Virus de la Lengua Azul y el Virus de la Diarrea Viral Bovina. En todos estos

casos se han usado proteínas que se encuentran en la superficie de los virus y se ha utilizado tabaco para su producción, con excepción de la proteína E1 del Virus de la Diarrea Viral Bovina que también se produjo en alfalfa. En estas investigaciones las vacunas fueron inyectadas. Sin embargo, lo que destaca de estos estudios es que además de usar los modelos de roedores, también se evaluó la efectividad de las vacunas en ovejas y vacas. En el caso de las ovejas, se usaron machos de 1 año de edad de la raza Merino, la cual es la más eficiente para la producción de lana a nivel mundial. En este estudio, se produjo una proteína del virus en plantas de tabaco. Luego, los animales se inyectaron 3 veces a los días 0, 21 y 24, vía subcutánea (50 microgramos por dosis por cada animal), con las proteínas producidas por las plantas. Como resultado relevante se encontró que los borregos vacunados produjeron anticuerpos en la sangre que fueron capaces de neutralizar a los virus, incluso con mayor eficiencia que la vacuna comercial después de los 90 días

que duró el estudio. En el caso de las vacas se usaron becerros de la raza Aberdeen Angus que son animales que producen excelentes filetes de carne que se catalogan como calidad suprema. Primero se produjo la vacuna en plantas de alfalfa y las proteínas vacunales se purificaron. Después, los becerros fueron inyectados 2 veces (al día 0 y al 30) vía intramuscular (3 microgramos por animal por cada dosis) con las proteínas producidas en alfalfa. Los resultados son altamente promisorios en vista de que los animales fueron completamente protegidos de la infección experimental con el virus.

Otro problema importante es la enfermedad hemorrágica de conejos causada por un virus del mismo nombre. Para producir y evaluar la vacuna oral se utilizó la proteína del virus VP60 y la planta de papa. Los conejos que fueron alimentados 4 veces (en el día 0, 21, 42 y 63) con una porción de papa que contenía una concentración de 500 microgramos de la proteína recombinante, observando que fueron protegidos por más tiempo ante una infección experimental con el virus respecto

a los animales que no consumieron la vacuna. Otro ejemplo notable fue la evaluación de una vacuna contra una enfermedad que afecta a la industria porcina. La enfermedad es causada por el virus de la gastroenteritis transmisible y la vacuna consistió de la proteína S de la envoltura (superficie) del virus producida en granos de maíz. La inmunización oral de lechones con 2 miligramos de la proteína S en maíz durante 10 días consecutivos antes del reto resultó en menores signos de la infección que los animales que fueron inyectados con una vacuna comercial.

También en maíz se produjo una vacuna contra la enfermedad de Newcastle que afecta a las aves productoras de huevo para plato y pollos de engorda. Los pollos alimentados oralmente con el maíz que producía la vacuna fueron protegidos completamente ante el reto infeccioso experimental al mismo nivel que la protección alcanzada con la vacuna comercial.

Otro problema importante de salud en la industria aviar es el virus de la bronquitis infecciosa y al respecto se producido la glicoproteína S1 del virus en papa.

En este estudio, la alimentación de pollos de 1 día de nacidos en 3 ocasiones (día 1, 7 y 14) con la papa-vacuna, que contenía 57.2 microgramos de la glicoproteína S1 del virus, protegió completamente a los animales de la infección experimental. Otra enfermedad altamente infecciosa y mortal en pollos de temprana edad es la enfermedad de Gumboro o enfermedad de bursitis infecciosa. La vacuna basada en la proteína VP2 de la cubierta del virus se produjo y almacenó en semillas de arroz. Al igual que el ejemplo anterior, se observó protección total de la infección experimental en pollos que fueron alimentados con arroz que contenía 10 miligramos de la proteína recombinante. Algo interesante que se notó fue que las lesiones de los animales tratados con la vacuna-arroz fueron menores que las que recibieron la vacuna comercial basada en el virus completo muerto.

Vacunas contra enfermedades causadas por parásitos

En el campo de las enfermedades parasitarias existen varios esfuerzos para la generación de vacunas en plantas. El primer trabajo publicado fue en 2005 en el que se evaluó una vacuna contra la fasciolosis, una



enfermedad causada por la *Fasciola hepatica* que en su etapa adulta se alojan en el hígado del ganado bovino (vacas) y ovino (ovejas), de ahí su nombre. En este reporte, se usó el antígeno más prometedor como vacuna contra la fasciolosis: una proteasa tipo cisteína que produce el parásito y cuya función es ayudar en la digestión de tejidos durante su migración, alimentación y evasión de la detección del sistema inmune de defensa en los animales. Esta proteína se produjo en plantas de alfalfa y lechuga, y aunque no se ha evaluado en ganado, su capacidad para inducir una respuesta de defensa en ratones (2 dosis con 2 microgramos de proteína cada una) permitió descubrir que proteína era funcional cuando se producía en estas plantas y se administraba vía oral a los animales. Otro

parásito de importancia en la salud animal y humana es *Schistosoma japonicum*. Este parásito produce una proteína durante sus diferentes etapas de desarrollo, la Sj23, y su producción funcional se demostró en plantas de alfalfa. Aunque en este estudio no se realizaron experimentos en animales, los resultados encontrados sugieren que se puede producir esta vacuna en plantas de alfalfa. En cambio, la cisticercosis causada por el parásito *Taenia solium* es una enfermedad de preocupación mundial, tanto en animales como en seres humanos.

Los cerdos son los hospederos intermediarios, significa, que el parásito necesita obligatoriamente vivir una etapa de su vida en estos animales antes de infectar a su hospedero definitivo: el hombre.

La vacuna que se desarrolló bajo el concepto de vacuna oral en plantas se basó en una combinación de proteínas del parásito nombrada S3Pvac y se produjo en plantas de papaya. Aunque los resultados obtenidos en ratones vacunados indican 90% de protección ante la infección con esta vacuna, aún queda pendiente realizar los experimentos en cerdos para

comprobar su eficacia. El gusano de la hidátide es un parásito cuyo nombre científico es *Echinococcus granulosus* y cuya relevancia es importante para seres humanos y animales de importancia económica. Se descubrió que una de sus proteínas, la EG95, le ayuda a evadir las respuestas de defensa del hospedero (animal o humano) y poder sobrevivir. La vacuna oral que se desarrolló usando la EG95 se produjo en plantas de alfalfa.

Las hojas que expresaban el antígeno en cantidades mínimas (0.05% del total de proteínas que posee la planta) fueron suficientes para proteger a 64% de los ratones inmunizados por vía oral, comparado con un grupo de ratones no inmunizados. Un parásito que también es importante por su potencial de transmisión al humano, es el gusano *Ascaris summ.*

En las larvas en el tercer estado de desarrollo (digamos juveniles) y en los adultos se encontró que producían una proteína en su piel, la cutícula. La proteína se nombró As16 y se logró producir en semillas de arroz en cantidades suficientes para inmunizar ratones,

pero desafortunadamente la inducción de respuestas inmunes fue débil.

Aunque se probó que es posible producir esta proteína en semillas de arroz y ser funcional en ratones, los esfuerzos siguientes son mejorar el nivel de producción de la proteína y aumentar la eficacia. Por último, una enfermedad persistente en todos los sistemas de producción de animales de interés para la obtención de alimentos de consumo humano es la coccidiosis.

Esta enfermedad es causada por un parásito microscópico, su cuerpo es una célula, pero es altamente infeccioso. Existen varias especies que infectan distintas especies animales (pollos, gallinas, cerdos, ovejas, cabras, vacas) pero todas pertenecen a la clasificación

(género) llamada *Eimeria*. La especie que ha llamado más la atención es *Eimeria tenella* por su importancia en la producción de pollo de engorda y cuyo control puede ser muy difícil en cada ciclo de producción. En este caso, la investigación permitió identificar la proteína EtMIC1 y EtMIC2 que se produjeron en hojas de tabaco.

La inmunización oral de pollos alimentados con hojas de tabaco que producían estas proteínas aseguró niveles de protección similares a la vacuna comercial basada en el uso del patógeno muerto. La ventaja de esta vacuna oral es importante si se considera que los costos para producir la vacuna del patógeno muerto son elevados y la técnica es laboriosa.

Vacunas contra enfermedades causadas por bacterias

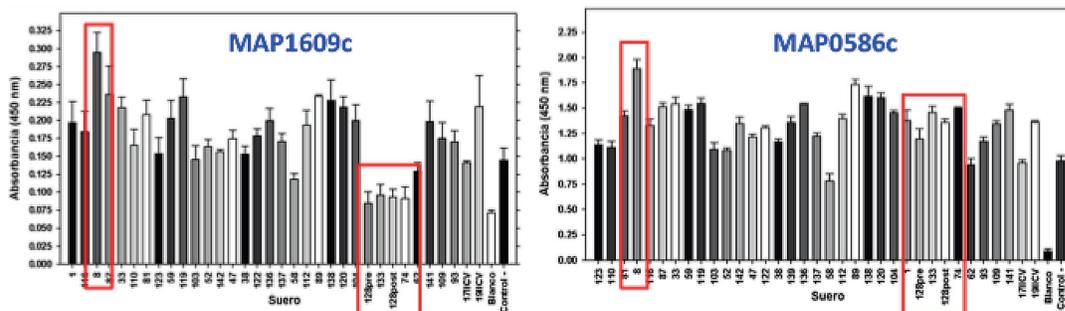
Existen menos esfuerzos orientados a la producción de vacunas orales en plantas contra bacterias infecciosas de los animales. Entre los problemas de salud animal causados por bacterias infecciosas tenemos a *la Escherichia coli* enterohemorrágica que en lechones causa mortalidades importantes. Esta bacteria también enferma a los seres humanos. Una proteína de la superficie de la bacteria llamada FaeG, que le ayuda a la bacteria a adherirse al intestino para poder alojarse ahí, se ha logrado expresar exitosamente en plantas de tabaco, alfalfa y semillas de cebada. En este caso, se usaron lechones de una mezcla de la reproducción de



2 razas (Padre: Finnish Landrace y Madre: Yorkshire) que son las razas comerciales más utilizadas en el mundo, incluida Baja California Sur. En estos lechones, la vacunación oral con 30 gramos de alfalfa productora de la proteína FaeG (4 miligramos) los protegió parcialmente de la infección al reducir el número de bacterias patógenas que lograron sobrevivir. Las plantas de tabaco y lechuga se han usado para la producción de otra proteína que produce esta

evaluarla en un modelo animal. *Mannheimia haemolytica* es una bacteria que coloniza las vías respiratorias de las vacas y provoca neumonía. Una de las proteínas de superficie de esta bacteria llamada GS60 se produjo en plantas de alfalfa. En este ejemplo se usaron conejos de la raza Nueva Zelanda Blancos que se emplean para la producción de carne de conejo por su alto rendimiento y que es un modelo experimental. Para evaluar la vacuna se alimentaron

saber si la vacuna protegía a los animales, o mejor aún realizar el experimento en vacas o becerros, los resultados indican que esta vacuna administrada por vía oral es capaz de estimular una respuesta de defensa inmune contra la bacteria. Otra proteína de esta bacteria es la Lkt que se ha logrado producir en tabaco y en la planta forrajera trébol blanco, aunque no se ha evaluado su funcionalidad como vacuna oral.



Reconocimiento de las proteínas vacunales Ag85B (MAP1609c) y MAP0586c de *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* producidas en alfalfa por anticuerpos de ovejas con Paratuberculosis. En la figura se muestran barras y cada una representa el valor de reacción de anticuerpos del suero de animales infectados con *Mycobacterium avium* subsp. *Paratuberculosis* contra extractos de plantas de alfalfa productoras de la vacuna. Nótese la comparación con la barra "Control - (negativo)". Como se observa algunos anticuerpos de animales infectados presentaron mayor o menor reactividad (que el control negativo) contra los extractos de alfalfa.

bacteria para matar la células de los animales: la Toxina Shiga. Recientemente, esta toxina se ha producido en lechuga con una eficiencia de producción de 80 miligramos por cada 100 gramos de planta, sin embargo es necesario

a los conejos con 48 gramos de la alfalfa-vacuna por 5 días y se repitió la misma alimentación 14 días después. Se observó que las defensas de los animales contra la bacteria se fortalecían. Aunque no se hizo un reto infeccioso para

Discusión académica

Sin lugar a dudas 25 años de biotecnología básica y aplicada al desarrollo de vacunas en plantas respaldan el uso de estos organismos como biofábricas de vacunas. El concepto que se

planteó desde su inicio fue contar con vacunas que pudiera ser distribuidas de forma global, más baratas que las convencionales y de fácil administración vía oral, principalmente para los países pobres y en desarrollo. Desde luego que las expectativas se orientaron y continúan enfocadas principalmente hacia su uso en humanos. Sin embargo, es importante mencionar que a pesar de los logros alcanzados y el desarrollo de estudios clínicos en

humanos con vacunas producidas en plantas, hasta la fecha no existe una vacuna comercial basada en estos organismos fotosintéticos.

Los desarrollos más prominentes en plantas ha sido la producción de anticuerpos neutralizantes contra virus o anticuerpos dirigidos a células del cuerpo que causan enfermedades crónico-degenerativas en humanos.

Sin embargo, este enfoque requiere forzosamente de la purificación de los anticuerpos, lo cual es un proceso muy costoso comparado con el enfoque de vacunas orales en las que se plantea no purificar las vacunas.

Además, el mantener una

vacuna o un anticuerpo purificado en refrigeración o en hielo para que conserve su actividad llega a representar el 90% del costo total. Es decir, si la vacuna cuesta mil pesos, novecientos pesos

del costo son necesarios para mantenerla a 4°C. El logro más importante del uso de plantas para ayudar a la salud humana es la comercialización de una enzima que se usa en el tratamiento de la enfermedad de Gaucher y que es el único producto biofarmacéutico producido en plantas aprobado por la Agencia de Fármacos y Alimentos de los Estados Unidos. Lo anterior obedece a las restricciones rigurosas para cualquier producto biológico o químico para su empleo en humanos. Ante este panorama, el desarrollo de vacunas para animales posee la ventaja de que las regulaciones para su comercialización son

menos estrictas. Más aún, desde la declaratoria “El Decenio de las Vacunas 2011-2020” por la Organización Mundial de la Salud (OMS) han existido esfuerzos orientados a atender las

enfermedades de los animales que se transmiten a los seres humanos. Tal es el caso del Convenio de la OMS-la Organización Mundial de la Salud Animal (OIE)-la Agencia para la Agricultura y Alimentación (FAO) en donde han coordinado esfuerzos para atender este tipo de enfermedades infecciosos. Bajo el eslogan de “Una Sola Salud” se coordinan actividades de investigación, de sociabilización, de administración, y de atención hospitalaria, entre otras, para el desarrollo, distribución y aplicación de vacunas para animales contra enfermedades que pueden ser transmitidas al hombre. Este escenario actual ha recibido la

Los desarrollos más prominentes en plantas ha sido la producción de anticuerpos neutralizantes contra virus o anticuerpos dirigidos a células del cuerpo que causan enfermedades crónico-degenerativas en humanos.



atención de médicos de seres humanos y médicos veterinarios para cooperar y colaborar en la atención de estas enfermedades. El desarrollo de vacunas en plantas se encuentra en este campo de acción y por ello muchos los ejemplos mencionados son patógenos que enferman a los animales y a los seres humanos. O bien, patógenos que por su importancia pueden colapsar la producción de alimentos para el consumo humano, como los recientes caso de gripe aviar (influenza aviar) en pollos y gallinas de postura de huevo para plato o el síndrome de la mortalidad temprana en los cultivos de camarón en nuestro país. Aquí la ventana de oportunidad para el desarrollo y comercialización de vacunas veterinarias en plantas está abierta y es prometedora en México y el mundo.

Retos

Los principales retos del desarrollo de vacunas en plantas son 2: (1) el bajo nivel producción de proteínas vacunales comparado con los sistemas convencionales (bacterias y levaduras); y (2) la baja

inducción de respuesta de defensa mediante la administración oral de plantas que producen las vacunas.

En el caso de la baja producción de proteínas vacunales los esfuerzos se dirigen a aplicar estrategias de ingeniería genética novedosas que en combinación con el uso de plantas específicas puedan producir más de estas proteínas. Para la baja inducción de respuesta inmune el reto es un poco más complejo por lo siguiente: la respuesta normal de un animal o un ser humano a la administración oral de una planta es su digestión para aprovechar sus nutrimentos y el cuerpo es tolerante a las proteínas que tiene una planta, es decir son su alimento y las reconoce como seguras, no dañinas. Esto quiere decir, que cuando se administra una dosis de material vegetal que produce una vacuna, ésta será digerida como cualquier otro alimento, lo que afecta la eficacia de la vacuna. Para sobrellevar lo anterior existen 2 estrategias principales: (1) evaluar caso a caso la(s) dosis y las veces que tiene que aplicarse la vacuna; y (2) usar un potenciador de la respuesta inmune de defensa.

De mayor importancia para este reto es encontrar sustancias que induzcan una respuesta inmune benéfica, no patológica como las que inducen los patógenos. Este reto ha llevado a la búsqueda de nuevos potenciadores y los más empleados hasta el momento para la vacunación oral usando plantas son la toxina del cólera (producida por la bacteria *Vibrio cholerae*) y la toxina termolábil (producida por la bacteria *Escherichia coli*).

Consideraciones finales y perspectivas en los próximos 5 a 10 años

El CIBNOR dedica sus esfuerzos a la solución de problemas relacionados con la producción de alimentos seguros e inocuos de origen animal. Entre sus actividades se encuentra la producción de vacunas que sean efectivas, de bajo costo y de fácil administración para los animales de interés económico y de importancia en la producción de alimentos. En los últimos 5 años se han identificado proteínas candidatas para producir vacunas contra la bacteria *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* (MAP), que causa la paratuberculosis de

vacas, cabras y ovejas. Esta bacteria causa una enfermedad intestinal provocando diarrea intermitente, inflamación del intestino y eventualmente la muerte de los animales. Como consecuencia, disminuye la producción de carne y leche de las poblaciones de animales infectados. La distribución de esta enfermedad es mundial y ha sido declarada de importancia global por la Organización Mundial de la Salud Animal, el homólogo de la OMS de los seres humanos, por su importancia en la producción de alimentos. En México, las pérdidas económicas asociadas a esta enfermedad en el ganado productor de leche se estiman en 10 mil pesos por vaca infectada por año. Por ello se hace necesario implementar estrategias que permitan su control, prevención y curación.

Además, resulta interesante que todas las micobacterias, como *Mycobacterium bovis* que causa la tuberculosis bovina y *Mycobacterium tuberculosis* que causa la tuberculosis humana, se parecen en un 98 a 99% desde el punto de vista genético (esto es lo mismo que el parecido genético

entre los simios y el ser humano).

Por lo tanto, los hallazgos y vacunas efectivas que puedan funcionar contra esta micobacteria podrían tener aplicaciones en otras enfermedades causadas por micobacterias patógenas en otros animales o incluso en seres humanos. Partiendo de la genética (el genoma) de MAP, en el CIBNOR se ha encontrado que existen proteínas asociadas a la superficie de esta bacteria. Con la ayuda de programas de computadora que predicen la respuesta inmune de un animal contra esas proteínas, se han seleccionado varias de ellas para su producción en plantas de alfalfa y germinados de maíz. En alfalfa, la producción de 2 de estas proteínas (Ag85byMAP0586c) se ha efectuado exitosamente puesto que son reconocidas por anticuerpos de ovejas con paratuberculosis.

También, la alimentación con 4 dosis (una por semana) de alfalfa-vacunas en ratones induce la producción de anticuerpos contra dichas proteínas. La siguiente etapa comprenderá la realización de un reto infeccioso en los ratones que permita saber si las vacunas orales producidas en alfalfa

protegen contra la infección. En germinados de maíz, los resultados aún están en fase de ingeniería y producción por lo que es necesario saber si los germinados producen la proteína funcional y después hacer los bioensayos en ratón para saber si son capaces de inducir respuestas de defensa inmune. Por otra parte, es interesante el hecho de que las plantas son capaces de producir anticuerpos funcionales, de entrega oral y dirigidos a las mucosas donde la mayoría de las infecciones microbianas ocurren. En la actualidad se ha demostrado la capacidad de algunas plantas como tabaco, maíz y tomate, entre otras (Vasilev et al., 2016). Finalmente, se ha explorado el potencial de microalgas dulceacuícolas y marinas para la producción de vacunas orales. En este tema se usa la microalga de agua dulce *Chlamydomonas reinhartii*, que constituye el modelo de estudio más empleado en el mundo para la producción de vacunas orales. De especial interés son las microalgas marinas *Schyzochitrium* sp. y *Phaeodactylum tricornutum*, que se emplean para la producción de biomoléculas de interés biomédico



y cosmético a través de procesos industriales bien establecidos. Lo anterior es un ventaja pensando en que los procesos de producción industrial de vacunas en estas microalgas serán implementados fácilmente. Dadas nuestras condiciones ambientales y recursos naturales en Baja California Sur, el interés por emplear el abundante recurso de agua marina con el que disponemos para el cultivo de microalgas marinas hace más interesante esta línea de investigación.

La perspectiva en 5 años es contar con vacunas orales evaluadas en los animales domésticos que puedan ser adoptadas por productores ganaderos o empresarios visionarios. Dado que el CIBNOR, como institución pública, dedica sus esfuerzos al bienestar de la sociedad a través de la investigación científica y desarrollo tecnológico, el Grupo de Inmunología & Vacunología tiene esa visión, y se dedica a la producción de vacunas en plantas y microalgas, y a la investigación y desarrollo tecnológico para ofrecer soluciones frente a los problemas de salud de los animales de importancia económica regional y mundial.

Agradecimientos

Al CONACYT por el financiamiento de los proyectos CB-2010-01-151818, INFR-2014-01-225924 y PDCPN2014-01-248033. A los colaboradores del CIBNOR, de Instituciones Nacionales e Instituciones de otros Países por su entusiasta ayuda. En especial, a todos los Estudiantes que con entusiasmo, pasión y dedicación han contribuido al quehacer del CIBNOR en su región, país y en el mundo. Los Autores agradecemos al Lic. Gerardo Hernández el diseño gráfico editorial y a la Ms.C. Diana Dorantes la revisión del Idioma Inglés del Abstract.

Literatura citada

(recomendada para su lectura científica)

1. Jantan, I., W. Ahmad, B.A. Abbas. 2015. *Plant-derived immunomodulators: an insight on their pre-clinical evaluation and clinical trials*. *Frontiers in Plant Science* 6:655.
2. Liew, P.S. y M. Hair-Bejo. 2015. *Farming of Plant-Based Veterinary Vaccines and Their Applications for Disease Prevention in Animals*. *Advances in Virology* 2015: 936940.
3. Ruiz, V., M.V. Mozgovoij, M.J. Dus Santos, A. Wigdorovitz. 2015. *Plant-produced viral bovine vaccines: what happened during the last 10 years?* *Plant Biotechnology Journal*. 13(8):1071-1077.
4. Jacob, S.S., S. Cherian, T.G. Sumithra, O.K. Raina, M Sankar. 2013. *Edible vaccines against veterinary parasitic diseases-current status and future prospects*. *Vaccine* 31(15): 1879-1885.
5. Kolotilin, I., E. Topp, E. Cox, B. Devriendt, U. Conrad, J. Joensuu, E. Stöger, H. Warzecha, T. McAllister, A. Potter, M.D. McLean, J.C. Hall, R. Menassa. 2014. *Plant-based solutions for veterinary immunotherapeutics and prophylactics*. *Veterinary Research* 45: 117.
6. MacDonald, J., K. Doshi, M. Dussault, J.C. Hall, L. Holbrook, G. Jones, A. Kaldis, C.L. Klima, P. MacDonald, T. McAllister, M.D. McLean, A. Potter, A. Richman, H. Shearer, O. Yarosh, H.S. Yoo, E. Topp, R. Menassa. 2015. *Bringing plant-based veterinary vaccines to market: Managing regulatory and commercial hurdles*. *Biotechnology Advances* pii: S0734-9750(15)30020-3.
7. Shaaltiel Y, Gingis-Velitski S, Tzaban S, Fiks N, Tekoah Y,

Aviezer D. Plant-based oral delivery of β -glucocerebrosidase as an enzyme replacement therapy for Gaucher's disease. Plant Biotechnology Journal 13:1033-1040.

Cita de este artículo

Angulo, C. *, P. Carlos, B. Meza, C. Sáñez, R. Celis, C. Guluarte, S. Martínez, R. Sosa, A. Ramos, L. Valladares, R. Hernández, A. Dibene, S. Barrera, R. del Tejo. 2016. Plantas como biofábricas de vacunas orales para Animales. Recursos Naturales y Sociedad, 2016. Vol. 2 (1): 22-35. DOI:10.18242/RENAYSOC.2016.02.02.01.0003

Sometido: 10 de noviembre de 2015

Revisado: 27 de enero de 2016

Aceptado: 06 de Abril de 2016

Editora asociada: Dra. Thelma Castellanos Cervantes

Idioma Inglés Abstract: Ms.C. Diana Dorantes

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández



RESEÑA HISTÓRICA Y ACADÉMICA DEL CULTIVO DE CAMARÓN EN EL CIBNOR

HISTORICAL AND ECONOMIC REVIEW OF SHRIMP FARMING IN CIBNOR

Resumen: El cultivo de camarón ha sido la actividad de acuicultura más importante en México en los últimos 20 años y su desarrollo ha dependido en gran medida de la aplicación de la investigación científica y tecnológica.

En esta reseña se presentan antecedentes sobre la creación del grupo de investigación del CIBNOR enfocado al cultivo del camarón y su vinculación con la industria, y se muestran datos de productividad académica que ha sido base de su consolidación como un prominente grupo de investigación acuícola en el ámbito nacional e internacional. Asimismo, se resumen algunos de los resultados académicos más relevantes en el ámbito de las siguientes especialidades: Nutrición, Sanidad, Genética y Genómica, y Fisiología y Reproducción. Se concluye con reflexiones acerca de los temas de investigación y desarrollo tecnológico de frontera

Recursos Naturales y Sociedad, 2016. Vol. 2 (1): 36-59.
DOI:10.18242/RENAYSOC.2016.02.02.01.0004

Pérez-Enríquez R., Acosta-Salmón H., Arcos-Ortega F., Ascencio F., Campa- Córdova A.I., Campos-Ramos R., Civera-Cerecedo R., Cruz-Hernández P., Hernández-Llamas A., Ibarra-Humphries A.M., Mazón-Suástegui J.M., Mejía-Ruiz C.H., Mercier L., Nolasco-Soria H., Palacios-Mechetnov E., Racotta I.S., Romero-Vivas E., Vázquez-Juárez R., Villarreal-Colmenares H.

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Instituto Politécnico Nacional No. 195. Colonia Playa Palo de Santa Rita Sur. C.P. 23096. La Paz, Baja California Sur, México.

* Autor de correspondencia: rperez@cibnor.mx

que será necesario afrontar en los próximos años para que el cultivo de camarón contribuya a atender el gran reto de nuestro país en la producción de alimentos en un marco de sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: Investigación científica, desarrollo tecnológico, vinculación academia-industria, acuicultura, camaronicultura

Abstract

Shrimp farming has been the most important aquaculture activity in Mexico for the past 20 years, and its development has been highly dependent on scientific and technological research. This review provides background information of the research group dedicated to shrimp farming at CIBNOR and its linkage with industry. It also shows the academic productivity data that has been the basis for the consolidation of this prominent aquaculture research group both at the national and international level. It discusses an overview of some of the most relevant academic results in the specialties of Nutrition, Aquatic Health, Genetics and Genomics,

and Physiology and Reproduction and concludes with considerations about borderline topics on research and technological development that the group will have to face in the following years to make shrimp farming a main contributor to sustainable feed production.

Keywords: Scientific research, technological development, academia-industry linkage, aquaculture, shrimp farming

Introducción

El cultivo de camarón en el mundo contribuye con el 6% de la producción acuícola por volumen (4.3 millones de toneladas) y con el 14% en valor (20 mil millones de dólares) (FAO, 2014). En 2012, México contribuyó con 100,031 ton de camarón que representó el 2% de la producción mundial posicionándolo en el lugar 7°

por detrás de China, Tailandia, Vietnam, Indonesia, Ecuador e India (CONAPESCA, 2013). Aunque se han investigado y cultivado varias especies de camarón, actualmente el 75% del camarón cultivado en el mundo es el camarón blanco (*Penaeus* [= *Litopenaeus*] *vannamei*) (FAO, 2014).

Los estados de la región noroeste de México (Sonora, Sinaloa, Nayarit y Baja California Sur) producen más del 90% del camarón nacional. Hasta 2009, la tasa de crecimiento de la producción de camarón en México era superior a la de cualquier otra industria primaria con un 13% anual (Fig. 1). A pesar de que la mortalidad por enfermedades ocasionó una reducción de la producción entre 2010 y 2013 llegando a un mínimo de 60,292 ton (CONAPESCA, 2013), los datos más recientes indican un repunte en 2014 y 2015 (Fig. 1).

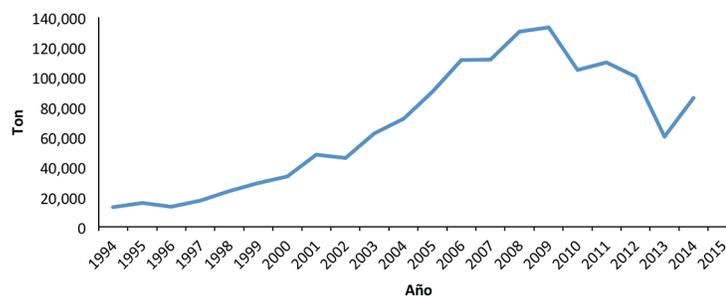


Fig. 1. Serie histórica de la producción de camarón de cultivo en México (Fuente: CONAPESCA, 2013; <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx>).

Un componente esencial para el mejoramiento productivo, ha sido la investigación científica y el desarrollo tecnológico en áreas enfocadas a la producción (nutrición, genética, reproducción y el manejo de los sistemas de cultivo) y a la prevención de enfermedades (patología, inmunología, epidemiología, entre otras). En este escenario y de acuerdo con la base de datos SCOPUS, a partir de 2000 la producción científica del CIBNOR enfocada al camarón de cultivo ha sido de 181 publicaciones, abarcando las especialidades antes mencionadas (Fig. 2).

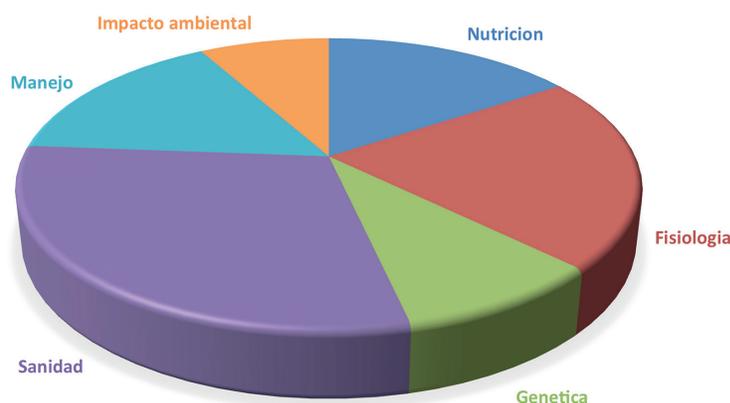


Fig. 2. Producción científica del CIBNOR enfocada al camarón de cultivo por área del conocimiento.

Reseña del cultivo de camarón en el CIBNOR

Las primeras investigaciones sobre cultivo de camarón azul *Litopenaeus stylirostris* en el entonces Centro de Investigaciones Biológicas de La Paz (CIB) tuvieron lugar en 1985. Los trabajos experimentales se realizaron en una granja ubicada en el área de Puerto Chale B.C.S., en las inmediaciones de Bahía Magdalena bajo un proyecto interinstitucional con la participación de la Delegación Federal de Pesca (SEPES), la Unidad de Fomento Pesquero y el Centro de Investigaciones Biológicas de B.C.S., en

atención a una solicitud realizada por la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera “Ley Federal de Aguas No. 1”. Con las experiencias desarrolladas de 1985 a 1988 se lograron evaluar los modelos tecnológicos existentes, detectar los principales problemas inherentes al proyecto tales como; la calidad de agua, el clima y las especies nativas. A partir de esos trabajos, también se generó la primera publicación arbitrada sobre bioeconomía del cultivo de camarón en México (Hernández-Llamas y Magallón-Barajas, 1991), así como las primeras sobre cultivo del camarón en estanques en nuestro país (Hernández-Llamas et al., 1993; Hernández-Llamas et al., 1995). Sin embargo, el proyecto de “Puerto Chale” requería para su desarrollo un modelo tecnológico apropiado con un mayor respaldo técnico y científico. Es por ello que la entonces División de Biología Marina y la dirección general del Centro plantearon una estrategia de desarrollo que permitiera generar más y mejor investigación incorporando especialistas de áreas como la nutrición, fisiología, patología y genética para fortalecer

el conocimiento científico a fin de ser competitivos con los avances a nivel mundial. La siguiente especie que se estudió fue el camarón café, curiosamente, a consecuencia de un desove incidental de una hembra capturada en Bahía Magdalena y transportada al CIB, en mayo de 1990, derivándose así las primeras investigaciones relacionadas con el efecto de la temperatura sobre el desarrollo embrionario de esta especie.

En 1988 y 1989 se inició la construcción de un laboratorio y estanquería para el cultivo experimental de camarón en las instalaciones del CIB, mismos que sirvieron de base para construir lo que ahora es una importante infraestructura que ha permitido desarrollar investigación sobre cultivo de camarón con impacto a nivel nacional e internacional.



Fig. 3. Estanquería de mareas del CIBNOR (Foto H. Acosta Salmón).

En ese momento se iniciaron los estudios con camarón blanco a través de la donación de postlarvas por parte de la empresa Acuacultores de la Península (APSA). Los primeros estudios fueron sobre nutrición con el uso de dietas basadas en langostilla como sustituto de harina de pescado. El primer “contrato” de servicios con la industria se dio con la empresa Purina, que facilitó dietas comerciales y experimentales que utilizaban para camarón blanco. Como resultado se demostró que un tratamiento mostraba posibles deficiencias de vitamina C, que al final se rastrearon a un proveedor que había accidentalmente cambiado la vitamina C termoestable por una normal en una dieta experimental.

La presencia de enfermedades en la industria, específicamente

la ocasionada por el virus de la necrosis hipodérmica y hematopoyética (IHHNV) fue el parteaguas para que se diera el primer taller academia-empresa en el CIB, que se organizó con diversos empresarios. Ahí arrancó la relación firme que se tiene ahora con los productores. Como resultado, se organizaron las primeras capturas de reproductores en el barco del CIB. De manera paralela, con el apoyo de la Unidad Guaymas, se logró la instalación del que fue el primer laboratorio de patología en una empresa comercial (APSA).

El primer intento de cultivo intensivo de camarón blanco en el CIBNOR se realizó en un par de estanques supralitorales a finales de los noventa. Una falla del sistema de aireación propició que de la cosecha de emergencia se generara el primer lote de camarón de ciclo cerrado al “seleccionarse” accidentalmente los organismos más grandes, los cuales resultaron ser reproductores aptos que fueron utilizados como reproductores por un laboratorio comercial para producir postlarvas. Los resultados fueron sobresalientes y dieron un impulso que la industria necesitaba

al prescindir de la necesidad de capturar reproductores silvestres. Además, permitió la implementación del primer programa de selección genética de la industria en México con la participación del CIBNOR y las empresas APSA, PIASA y Maricultura del Pacífico, junto con la Red de Acuicultura en México.



Fig. 4. Elaboración de dietas experimentales para camarón en la planta de alimentos del Laboratorio de Nutrición Acuícola (Foto: H. Acosta Salmón).

Por otra parte, el Simposio Internacional de Nutrición Acuícola y los proyectos internacionales de CYTED, le dieron la relevancia internacional al trabajo del Centro, sobre camarón.



Fig. 5. Estanquería supralitoral del CIBNOR (Foto: H. Acosta Salmón)

Cuando nuevas mortalidades de camarón afectaron al país (1999), el Programa de Acuicultura y Biotecnología Marina, organizó a un grupo de

expertos del Centro para analizar el problema. El grupo determinó que lo que afectaba al cultivo era el virus de la Mancha Blanca, siendo la primera institución académica que presentaba evidencias científicas de la presencia de la enfermedad ante la Secretaría de Pesca, empresarios acuícolas e instituciones académicas.

El campo de la sanidad acuícola ha sido uno de los más importantes para el CIBNOR, contribuyendo con diversos productos y servicios al desarrollo acuícola del noroeste del país, principalmente a través del campus Hermosillo de la Unidad Sonora. El objetivo del ahora denominado Laboratorio de Referencia, Análisis y Diagnóstico en Sanidad Acuícola (LARADSA) ha sido mantener en operación un laboratorio de investigación, desarrollo y transferencia tecnológica en sanidad acuícola, que por sus potencialidades y capacidades atienda problemas sanitarios de la acuicultura.

La participación del CIBNOR en el desarrollo de los programas acuícolas del gobierno federal ha sido muy relevante. Un ejemplo de ello fue la elaboración de

un documento relativo a las orientaciones estratégicas para el desarrollo sustentable de la acuicultura (Magallón-Barajas *et al.*, 2008). Este libro constituyó en su momento, un elemento base para la propuesta de un Programa Rector que articulara al Plan Sectorial de Pesca y Acuicultura.

El esfuerzo e interés de vinculación ha sido permanente. A raíz del “Taller para la instrumentación de proyectos acuícolas de base tecnológica en el noroeste de México” llevado a cabo entre la academia y el sector productivo, el CIBNOR creó y coordinó los trabajos de la Alianza Estratégica y Red de Innovación de la Industria Acuícola (AERI) durante el período 2006-2013. Los proyectos realizados en el marco de esta Alianza se convirtieron en importantes contribuciones en el ámbito de la sanidad, genética y ecoeficiencia, entre otros temas.

En el período más reciente (2010-2015) el Programa de Acuicultura ha focalizado la vinculación de la investigación con el sector productivo a través de proyectos específicos de investigación, transferencia de

tecnología o servicios especializados con empresas en el ámbito de la nutrición, el cultivo hiperintensivo, la genética y el uso de probióticos, entre otros.

Aportaciones académicas del CIBNOR

A continuación se presenta una revisión de varios de los resultados académicos más relevantes en el ámbito de las siguientes especialidades: Nutrición, Sanidad, Genética y Genómica, Fisiología y Reproducción.

Nutrición

El alimento representa entre el 60 y el 70% de los costos de producción en el cultivo de camarón. Por ello, el alimento que se proporcione en los cultivos tiene que cumplir con características como: alto valor nutritivo, bajo costo y sustentabilidad ambiental.

La línea de trabajo sobre Nutrición Acuícola del CIBNOR ha tenido como objetivo realizar investigación para desarrollar alimentos balanceados funcionales para camarón, a base de ingredientes y aditivos de alta calidad. Los trabajos se han enfocado principalmente a: 1) Determinación de requerimientos nutricionales de camarones y 2) Evaluación nutricional de recursos naturales como ingredientes o aditivos en alimentos para crustáceos.

Derivado de estos estudios, se conocen ahora los requerimientos de proteína del camarón café *Farfantepenaeus californiensis* y la influencia de los niveles de ácidos grasos altamente insaturados en el alimento de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* expuestos a estrés por salinidad (Hurtado *et al.*, 2007; Palacios *et al.*, 2004) y que el desempeño de camarones durante el cultivo no depende de altos niveles de DHA/colesterol lo cual puede disminuir los costos considerablemente durante la engorda (Navarro-Hurtado *et al.*, 2013). Asimismo, se han hecho investigaciones sobre la fisiología y actividad enzimática digestiva de diversas especies y se ha determinado la digestibilidad aparente *in vivo* de diversos ingredientes y alimentos (Vega-Villasante *et al.*, 1995).

Estos estudios en su conjunto, han permitido desarrollar alimentos balanceados altamente digestibles, que optimizan el crecimiento y la supervivencia de los organismos en cultivo, así como su resistencia al estrés, a la vez que tienen menor impacto en el ambiente.

macroalgas *Sargassum* y Kelp y la microalga *Spirulina platensis*, así como harinas de subproductos pesqueros (vísceras de almeja Catarina, hacha y calamar) que no sólo permiten sustituir ingredientes convencionales en alimentos, como la harina de pescado, la pasta de soya y el trigo, sino

uso en alimentos para camarón (Villarreal-Colmenares y Civera-Cerecedo, 2015).

Por otra parte, se ha enfatizado en el uso de sustancias que mejoren la atracción de los alimentos por el camarón. La inclusión de estos *atrayerentes* en alimentos formulados aumenta su consumo y reducen la pérdida del alimento en los estanques, contribuyendo a disminuir los costos de producción.

Para ello, se ha evaluado el potencial atrayente de moléculas naturales y extractos de animales y vegetales, todos ellos incluidos en dietas prácticas. Los alimentos que presentaron los mejores resultados fueron aquéllos con inclusión de cadaverina, arginina, extracto de coco y el liofilizado de langostilla.

Con base en lo anterior, se han desarrollado técnicas de medición de la atracción de alimentos, ingredientes y moléculas, con el fin de incrementar la calidad del alimento ofrecido a los organismos en la acuicultura (Nolasco, 2014a).

El aprovechamiento óptimo de los alimentos requiere que, además de que cumplan con los requerimientos nutricionales del organismo en cultivo, sean



Fig. 6. Cromatógrafo de gases con detección de ionización de flama (FID) utilizado principalmente para análisis de ácidos grasos metil-esterificados, de esteroles y de isómeros del ácido linoleico conjugado (Foto H. Acosta Salmón).

Dentro de los recursos naturales también mejoran el crecimiento evaluados como ingredientes del camarón y su calidad o aditivos se encuentran la nutricional para consumo humano langostilla roja (Goytortúa-Bores y la textura; adicionalmente *et al.*, 2006; Hernández-Llamas mejoran la estabilidad en el agua *et al.*, 2006), el cártamo (Galicia y atractabilidad de los alimentos González *et al.*, 2010), insectos (Ezquerro *et al.*, 1997; Palacios *et al.*, 2014; Villarreal *et al.*, 2006). (Martínez-Córdova *et al.* 2013), el frijol yorimón (Rivas-Vega *et al.*, 2006), *Artemia franciscana* De manera particular, se cuenta (Campaña-Torres *et al.*, 2010), las con una patente para la extracción de harina de langostilla para su

altamente digestibles. Por lo anterior se hace necesario conocer la digestibilidad de insumos y alimentos para su adecuado suministro a los sistemas de cultivo. Para ello, se desarrolló un Manual de Digestibilidad *in vitro* (Nolasco, 2014b), el cual presenta una metodología novedosa para determinar la digestibilidad de ingredientes y alimentos con uso potencial y actual en la acuicultura de diferentes especies. La digestibilidad *in vitro* debe ser considerada como una herramienta complementaria en el pronóstico de digestibilidad por los organismos en cultivo.

El manejo de la alimentación ha sido también elemento relevante que se ha desarrollado en el CIBNOR en términos del desempeño en función de la reducción del recambio de agua (Martínez-Córdova et al., 1995), el incremento de la aireación (Martínez-Córdova et al., 1997) y estrategias de alimentación (Martínez-Córdova et al., 1998), entre otros elementos ambientales.

Sanidad

Las especies en cultivo pueden estar sometidas a diversas presiones ambientales como el hacinamiento, variaciones en factores físico-químicos del agua (oxígeno disuelto, salinidad, temperatura, amonio, etc.), manejo, alimentación deficiente, entre otras.

Este conjunto de presiones crea las condiciones adecuadas para que los patógenos presentes en el agua o en organismos silvestres, infecten a las poblaciones en cultivo causando la enfermedad y, eventualmente, la muerte de los organismos (Laurencin y Vigneulle, 1994).

En el caso del cultivo del camarón, patógenos virales como el IHNV (virus de la necrosis hipodérmica y hematopoyética), TSV (virus del Síndrome de Taura), WSSV (virus del Síndrome de la Mancha Blanca) o bacterianos como *Vibrio* spp, han causado o siguen causando serias mortalidades. Por ello, las enfermedades son la causa más importante de pérdidas económicas en la industria, no sólo en términos de la producción sino también en otros elementos de

la cadena productiva (empleos, divisas, etc.). La estimaciones de pérdidas económicas en el continente americano suman más de 5 mil millones de dólares (Lightner et al., 2012).

Por lo anterior, es de suma importancia llevar a cabo estudios sobre patogénesis microbiana e inmunología, encaminados a conocer los principales factores de virulencia por medio de los cuales agentes patógenos pueden causar procesos infecciosos, así como para conocer los mecanismos de defensa inmune por medio de los cuales el camarón pueda contrarrestar un proceso infeccioso, y con ello diseñar estrategias preventivas de aplicación de suplementos inmunoestimulantes e inmunobióticos, para el control y manejo de enfermedades infecciosas.

En este contexto, se ha trabajado con el aislamiento y caracterización de microorganismos benéficos de diferentes fuentes marinas y hospederos blanco para utilizarse como mejoradores de la respuesta inmune y como remediadores de la calidad de agua en cultivo de camarón blanco (Campa-Córdova

et al., 2002; Campa-Córdova *et al.*, 2004; Pacheco *et al.*, 2012). Se han caracterizado, seleccionado e identificado microorganismos *in vitro* e *in vivo* que utilizados en mezclas sinérgicas que inducen experimentalmente el incremento con el Síndrome de Taura (Zarain-Herzberg *et al.*, 2003), *Vibrio penaeicida* (Aguirre-Guzman *et al.*, 2005), Síndrome del Virus de la Mancha Blanca (Sánchez-Paz 2010) y el IHHNV (Vega-Heredia *et al.*, 2012), entre otros.



Fig. 7. Toma de muestra de hemolinfa de camarón blanco para análisis de patógenos (Foto: R. Pérez Enríquez).

en crecimiento, respuesta inmune y respuesta antioxidante (actividad enzimática y expresión génica), así como en resistencia a infecciones virales (Luna-González *et al.*, 2013), supervivencia larvaria (Luis-Villaseñor *et al.*, 2013) y resistencia a infecciones experimentales bacterianas (Luis-Villaseñor *et al.*, 2015).

Los estudios de caracterización de patógenos y su comportamiento en el ambiente se ha realizado

Dada su importancia, el WSSV se ha estudiado de manera más intensiva para mejorar los métodos de detección y diagnóstico (Moser *et al.*, 2012), determinar variaciones en el sistema antioxidante del hospedero ante infecciones (Parrilla-Taylor *et al.*, 2013), entender el comportamiento epidemiológico en estanques (Durán-Avelar *et al.*, 2015; Esparza-Leal *et al.*, 2009; Esparza-Leal *et al.*, 2010; Esparza-Leal *et al.*,

2012; Ruiz-Velazco *et al.*, 2010) y evaluar el impacto económico de la enfermedad (Hernández-Llamas *et al.*, 2014a).

Se ha trabajado de igual manera en proponer estrategias de manejo para su prevención a través de la modificación de prácticas de manejo (Hernández-Llamas *et al.*, 2014b) y se han logrado importantes avances para su control mediante la aplicación de un tratamiento biotecnológico basado en el ARN de interferencia (Mejía-Ruiz *et al.*, 2011; Álvarez-Ruiz *et al.*, 2013). Asimismo, se han obtenido significativos avances en la prevención de mortalidad por *Vibrio parahaemolyticus* mediante productos homeopáticos (Mazon *et al.*, 2015).

Genética y Genómica

El mejoramiento genético se ha reconocido como una alternativa para el incremento de la producción a través de la selección hacia características productivas como tasa de crecimiento, resistencia a enfermedades, capacidad reproductiva, entre otras y con ello contribuir a satisfacer la demanda futura de proteína animal.

El inicio de los programas de mejoramiento genético del camarón en México ocurrió alrededor del año 1998, paralelamente al desarrollo de investigaciones dirigidas a establecer el primer pie de cría de camarón en el CIBNOR con la participación principal de la empresa APSA (Pérez-Rostro *et al.*, 1999).

Con la introducción a México del virus de la mancha blanca en el año 1999, la producción de un pie de cría de camarón utilizando reproductores silvestres no fue posible, por lo que éste se inició utilizando una línea importada de Venezuela, conocida como la línea Mélagos. Las investigaciones realizadas con esta línea, la cual fue inicialmente replicada por seguridad en el CIBNOR y en instalaciones de la empresa Maricultura del Pacífico en Sinaloa, indicaron que de realizarse una selección se obtendría una mejora generacional del peso del camarón similar en ambos sitios (Pérez-Rostro e Ibarra, 2003). A pesar de que un análisis molecular reveló suficiente variabilidad genética de este lote, en la tercera generación se realizó un entrecruzamiento

con ejemplares derivados de una línea colombiana que contribuyó a incrementar la diversidad genética (Cruz *et al.*, 2004).

Con el fin de conocer si la selección podría ser aplicada para mejorar características reproductivas del camarón

al primer desove, número de desoves, fecundidad, tamaño de huevo, contenido de vitelina, lípidos y proteínas en huevo, peso en hembras maduras, entre otros (Arcos *et al.*, 2004; Arcos *et al.*, 2005; Ibarra *et al.*, 2005, Ibarra *et al.*, 2007a, Ibarra *et al.*,



Fig. 8. Marcaje con elastómeros de color para identificación de grupos genéticos (Foto: R. Pérez Enríquez)

blanco, se estimó la heredabilidad (proporción heredable de una característica particular de un individuo) de caracteres reproductivos y la correlación genética entre ellos. Se demostró la existencia de variabilidad genética-aditiva y asociaciones genéticas entre distintos caracteres usados para evaluar la capacidad y potencial reproductivo de hembras, como son la latencia

2009). Finalmente, debido a que la tendencia para el cultivo del camarón es realizarlo en cultivos controlados a altas densidades, se evaluó si la selección realizada en una densidad baja resultaría también en una mejora para organismos cultivados a altas densidades, encontrando que cada densidad de cultivo requerirá el desarrollo de su propio programa de selección bajo esas condiciones

(Ibarra y Famula, 2008).

Asimismo, se ha desarrollado trabajo de genética en poblaciones, cuyo enfoque ha sido determinar los niveles de diversidad y endogamia (grado de parentesco entre individuos) en poblaciones de cultivo. Entre los resultados más relevantes se tiene que se desarrolló un panel de marcadores genéticos tipo microsatélites (Cruz *et al.*, 2002) para su aplicación en los estudios de variabilidad genética en una línea de reproductores, lo que permitió monitorear los cambios en la diversidad genética a través de dos generaciones y con base en ello proponer estrategias específicas de entrecruzamiento (Cruz *et al.*, 2004). Se encontró que los niveles de variabilidad genética de las poblaciones en cultivo son menores a lo registrado en el medio silvestre, aunque mayores a lo esperado de poblaciones cerradas (Perez-Enriquez *et al.*, 2009).

Asimismo, derivado de los niveles de endogamia observados en las poblaciones de cultivo, se propuso la instrumentación de estrategias para enriquecer la diversidad y disminuir la endogamia.

Genómica

En la actualidad el mejoramiento genético puede apoyarse de forma importante en desarrollos en el campo global de la genómica, la cual comprende el estudio de la secuencia del ADN de los organismos en relación con sus características de desarrollo. Por ejemplo, el desarrollo de mapas genéticos que localizan diferentes genes o loci en los

establecida desde 2007 en la revisión realizada por Ibarra *et al.* (2007b). Hoy en día contamos con librerías de genes asociados a la reproducción, la muda y genes involucrados con la diferenciación sexual (Galindo-Torres, 2014; López-Cuadros, 2014).

Estos últimos son importantes para una aplicación futura en la producción de cultivos monosexo, específicamente en cultivos de 'solo hembras' debido a que éstas



Fig. 9. Bioruptor utilizado para seccionar el DNA en fragmentos como paso intermedio para generar librerías de secuenciación. (Foto H. Acosta Salmón)

cromosomas permite llevar a cabo una selección de tipo asistida por marcadores moleculares. En el caso del camarón, la importancia de encontrar genes específicamente asociados con características productivas y reproductivas fue

alcanzan mayor peso que los machos.

En el marco de un proyecto sobre genómica de camarón se generó un microarreglo de ADN específico de camarón blanco. Los microarreglos de ADN se usan para

analizar la expresión diferencial de genes, es decir, para determinar o conocer los genes que un organismo tiene “encendidos” o “apagados” en una situación en particular. El microarreglo obtenido (CIBarray®) incluye 5,275 genes por triplicado relacionados con funciones ecofisiológicas, inmunogenómicas, de intensificación, nutrigenómica y reproducción, que pueden ser evaluados en experimentos de cuantificación de expresión génica (ver aplicación en Ascencio *et al.*, 2015).

Adicionalmente se ha desarrollado la línea de bioinformática que tiene como objetivo el desarrollar métodos matemáticos, estadísticos y computacionales para almacenar, analizar, predecir o simular la composición o estructura de material genético y proteínas. Se han analizado y procesado las bases de datos para el diseño de microarreglos de expresión génica para *L. vannamei* y se han desarrollado los métodos para su análisis optimizados en unidades de procesamiento gráfico GPU (Romero Vivas *et al.*, 2013), además de diseñar e implementar la

infraestructura computacional que requiere el CIBNOR para análisis bioinformáticos (Romero-Vivas *et al.*, 2012).

Fisiología y Reproducción

El estrés es una respuesta adaptativa ante condiciones adversas que al repetirse o prolongarse pierde su carácter adaptativo y se convierte en un desbalance fisiológico perjudicial para el organismo (Mercier *et al.*, 2009). Este tipo de respuestas ocurre frecuentemente durante diferentes etapas y tipos de cultivo de camarón ante cambios ambientales (e.g. hipoxia, cambios de salinidad) o prácticas de manejo (e.g. biometría, cosechas parciales) inherentes al cultivo.

Por ello, la evaluación de la susceptibilidad del camarón al estrés en función de variables fisiológicas y del sistema inmune se considera un elemento importante para mejorar las prácticas de manejo acuícola (Mercier *et al.*, 2009). Los resultados indican que la glucosa y el lactato son dos de las variables metabólicas más apropiadas para detectar condiciones de estrés agudo (de

horas a algunos días) (Mercier *et al.*, 2006; Racotta y Palacios, 1998).

De igual manera, el efecto del estrés causado por altas densidades durante la precría del camarón se ha visto aminorado con el empleo de sistemas “bioflocs”, los cuales consisten en cultivar a los organismos en presencia de flóculos microbianos (Martínez-Antonio, 2014; Guemez-Sorhouet, 2015).

Por otro lado, una dieta rica en ácidos grasos altamente insaturados (HUFA, por sus siglas en inglés) de la familia de los omega 3 incrementa significativamente la concentración de la lipoproteína HDL-BGBP (High Density Lipoprotein-Beta Glucan Binding Protein, por sus siglas en inglés) en la hemolinfa del camarón (Mercier *et al.*, 2009), mientras que una dieta alta en HUFA omega 6 incrementa la tolerancia al estrés, la producción de oxígeno reactivo y la coagulación (Aguilar *et al.*, 2012).

De manera más reciente, se ha estudiado la respuesta de escape como modelo particular de estrés por representar el mecanismo de defensa más común de camarones peneidos tanto en su medio



natural (importancia ecológica) como en condiciones de cautiverio (importancia en acuicultura) (Robles-Romo *et al.*, 2013). El patrón comportamental y energético de dicha respuesta escape representa un índice de vigor fisiológico que se ha usado de manera reciente en estudios nutricionales, en los cuales el mayor vigor fisiológico está relacionado con un mejor desempeño en cultivo con dietas elaborada a partir de desechos pesqueros (calamar y callo de hacha) (Licon-Jain, 2015).

Asimismo, se ha observado que la infección por virus de la mancha blanca implica ciertas alteraciones en el metabolismo energético del camarón (Apun-Molina, 2014), lo cual permite entender más a fondo la evolución de la infección viral que está causando grandes pérdidas en la industria camaronícola.

Otro de los temas desarrollados fue establecer criterios de calidad para huevos, larvas y postlarvas de camarón que puedan ser usados para predecir la supervivencia y desempeño posterior, sobre la base de variables fácilmente medibles con el propósito de que éstas sean usadas por los productores. Así, se

establecieron una serie de criterios bioquímicos y productivos de calidad temprana en los estadios de huevo, nauplio y zoea (Palacios *et al.*, 1998, Racotta *et al.*, 2003, 2004) y se validó el uso de la tolerancia de las postlarvas al estrés de salinidad como predictor de supervivencia durante la siembra en estanques (Álvarez *et al.*, 2004; Palacios y Racotta, 2007).

Por otra parte, los estudios de fisiología reproductiva están orientados a entender los mecanismos fisiológicos y genómicos-moleculares asociados con el proceso reproductivo y su control neuroendocrino en hembras y machos. La investigación en machos relativa a la glándula androgénica, indica que ésta se desarrolla a partir de los 65-70 días como postlarva, diferencia la gónada en testículo y desarrolla las características sexuales secundarias en los machos. En la espermatogénesis, la meiosis es continua durante el ciclo de muda, sin embargo, la cantidad de esperma es fija una vez que el camarón muda y forma el nuevo espermátforo, el cual contiene su máxima carga energética.

La hormona que produce esta glándula es del tipo de la insulina y a nivel de expresión del gen *Litopenaeus vannamei* Insulin-like Androgenic Gland (LVIAG), el ápula terminal es el órgano en donde más se transcribe. La glándula androgénica está bajo el control del complejo de la glándula del seno-órgano X, localizado en los pedúnculos oculares, y la síntesis de la hormona está sincronizada con el ciclo de muda (Campos-Ramos *et al.*, 2006; Garza-Torres *et al.*, 2009; 2011; Vázquez-Islas *et al.*, 2013; 2014; 2015).

En colaboración con laboratorios de producción comercial se determinó que los ciclos de producción, dados por lo que se conoce como agotamiento reproductivo de los camarones, se deben a una diferencia entre la capacidad reproductiva de hembras, donde algunas siguen produciendo huevos después de más de 20 desoves, mientras que otras no desovan nunca después de la ablación del tallo ocular (Palacios *et al.*, 1999a; 1999b; 2003). Esta diferencia de capacidad reproductiva se usó como uno de los criterios de selección del pie

de cría de una empresa comercial en 1998 (Arcos *et al.*, 2003; 2004; 2005). También se evaluó el efecto de la producción en machos (Ceballos *et al.*, 2004) y sobre la calidad de los huevos, larvas y postlarvas resultantes (Palacios *et al.*, 1998; 1999a; 2001).

Conclusiones y Perspectivas

Sin duda, el papel de CIBNOR en el desarrollo de la industria de camarón del país es notorio y

formación de recursos humanos capacitaciones, seminarios, congresos, asesorías, etc.

El reto de la industria acuícola es grande. Se estima que para el 2030 deberá estar proveyendo alrededor del 60% de la proteína animal de origen acuático a la producción mundial, con un incremento de la producción del camarón de cultivo de un 10% (FAO, 2014). En este sentido, el propio reto del Programa de

incremento de la producción y la rentabilidad del cultivo de camarón en un marco de sostenibilidad ambiental.

Las oportunidades en el ámbito de la biotecnología y la genómica para la fabricación de alimentos y aditivos que aporten elementos necesarios con el fin de mejorar caracteres fisiológicos, la respuesta inmune y el control de patógenos, incidir en la función y selección de genes específicos de interés para



Fig. 10. Cosecha de camarón blanco de la estanquería de mareas del CIBNOR (Foto H. Acosta Salmón)

se manifiesta no sólo a través de su participación en publicaciones científicas, sino también a través de proyectos de investigación y transferencia de tecnología,

Acuicultura del CIBNOR será el de continuar generando conocimiento científico y realizando desarrollos tecnológicos que aporten soluciones para coadyuvar al

los productores e intensificar los cultivos en ambientes multitrofos más propicios, entre otros, son una realidad sobre la cual el CIBNOR está enfocando sus estrategias de



investigación para los próximos años.

Por otra parte, el CIBNOR ha sido factor fundamental para fortalecer la vinculación de la academia con el sector productivo. Actualmente, la mayoría de las investigaciones en camarón se hacen en colaboración con empresas; en donde estas mismas son las que vienen a buscar el apoyo del Centro. Ese seguirá siendo un elemento indispensable para que el desarrollo futuro del cultivo de camarón cuente con sólidas bases científicas.

Agradecimientos

Las aportaciones de tres revisores anónimos contribuyeron a la mejora del manuscrito. Los Autores agradecemos al Lic. Gerardo Hernández el diseño gráfico editorial y a la Ms.C. Diana Dorantes la revisión del Idioma Inglés del Abstract.

Literatura citada

Aguilar V., I.S. Racotta, E. Goytortua, M. Wille, P. Sorgeloos, R. Civera y E. Palacios. 2012. *The influence of dietary arachidonic acid on the immune response*

and performance of Pacific whiteleg shrimp, Litopenaeus vannamei, at high stocking density. Aquaculture Nutrition, 18(1): 258-271.

Aguirre-Guzman, G., F. Ascencio y D. Saulnier. 2005. *Pathogenicity of Vibrio penaeicida for white shrimp Litopenaeus vannamei; a cysteine protease-like exotoxin as a virulence factor.* Diseases of Aquatic Organisms 67(3): 201-207.

Álvarez, A.L., I.S. Racotta, O. Arjona y E. Palacios. 2004. *Salinity stress test as a predictor of survival during growout in Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei).* Aquaculture, 237(1-4): 237-249.

Apun-Molina, J.P. 2014. *Indicadores fisiológicos e inmunológicos de la condición de salud del camarón blanco Litopenaeus vannamei en diferentes condiciones experimentales y cultivado en granjas ante la incidencia del virus de la mancha blanca.* Tesis Doctoral. Instituto Tecnológico de Sonora.

Álvarez-Ruiz, P., C.H. Mejía-Ruiz, F.J. Magallón-Barajas y C.M. Escobedo-Bonilla. 2013. *Silencing Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei LvRab7 reduces mortality in brooders challenged with white spot syndrome virus.* Aquaculture Research 44(5): 772-782.

Arcos G. F., A.M. Ibarra, E. Palacios, C. Vazquez-Boucard e I.S. Racotta. 2003. *Feasible predictive criteria for reproductive performance of white shrimp Litopenaeus vannamei: egg quality and female physiological condition.* Aquaculture, 228(1-4): 335-349.

Arcos, F.G., I.S. Racotta y A.M. Ibarra. 2004. *Genetics parameters for reproductive traits and egg composition in Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei.* Aquaculture 236: 151-165.

Arcos, F.G., E. Palacios, I.S. Racotta y A.M. Ibarra. 2005. *Ovary development at the onset of gametogenesis is genetically determined and correlated with reproductive traits at maturity in shrimp Penaeus*

- (*Litopenaeus vannamei*). Marine Biology 148: 339-346.
- Ascencio, F., E. Velazquez y H. Villarreal. 2015. *Expression of immune related genes in White Shrimp (Litopenaeus vannamei) after treatment with mineral extract used as feed additive (MEFA) to reduce WSSV and Vibrio parahaemolyticus infections: DNA Microarray analysis.* Middle East Aquaculture Forum 2015, Dubai, U.A.E.
- Campa-Córdova, A.I., N.Y. Hernández-Saavedra, R. De Philippis y F. Ascencio. 2002. *Generation of superoxide anion and SOD activity in American white shrimp (Litopenaeus vannamei) haemocytes and muscle as a response to β -glucan and sulfated polysaccharides.* Fish and Shellfish Immunology 12: 353-366.
- Campa-Córdova, A.I., N.Y. Hernández-Saavedra, R. De Philippis y F. Ascencio. 2004. *Antioxidant response of superoxide dismutase in American White Shrimp (Litopenaeus vannamei) exposed to sulfated polysaccharide and β -glucan.* Journal of Marine Biotechnology 6: S91-S94.
- Campos-Ramos, R., R. Garza-Torres, D.A. Guerrero-Tortolero, A.M. Maeda-Martínez y H. Obregón-Barboza. 2006. *Environmental sex determination, external sex differentiation, and structure of the androgenic gland in the Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei (Boone).* Aquaculture Research 37: 1583-1593.
- Campana-Torres, A., L.R. Martinez-Cordova, H. Villarreal-Colmenares y E. Cortes-Jacinto. 2010. *Evaluation of different concentrations of adult live artemia (Artemia franciscana, Kellogs 1906) as natural exogenous feed on the water quality and production parameters of Litopenaeus vannamei (Bonne 1931) intensively pre grown.* Aquaculture Research 42, 40-46.
- Ceballos-Vázquez, P., B. Aparicio-Simón, E. Palacios e I.S. Racotta. 2004. *Sperm quality over successive spermatophore regenerations in the Pacific White shrimp Litopenaeus vannamei.* Journal of the World Aquaculture Society, 35(2): 178-188.
- CONAPESCA. 2013. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca, Edición 2013. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Mazatlán, Sinaloa, México.
- Cruz, P., C.H. Mejia-Ruiz, R. Perez-Enriquez y A.M. Ibarra. 2002. *Isolation and characterization of microsatellites in Pacific white shrimp Penaeus (Litopenaeus) vannamei.* Molecular Ecology Notes 2 (3): 239-241.
- Cruz, P., A.M. Ibarra, C.H. Mejia-Ruiz, P.M. Gaffney y R. Perez-Enriquez. 2004. *Genetic variability assessed by microsatellites in a breeding program of Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei.* Marine Biotechnology 6(2): 157-164.



- Durán-Avelar, M.J., R. Pérez-Enríquez, J.F. Zambrano-Zaragoza, L. Montoya-Rodríguez, R. Vázquez-Juárez y N. Vibanco-Pérez. 2015. *Genotyping WSSV isolates from northwestern Mexican shrimp farms affected by white spot disease outbreaks in 2010–2012*. *Diseases of Aquatic Organisms* 114: 11-20.
- Esparza-Leal, H.M., C.M. Escobedo-Bonilla, R. Casillas-Hernández, P. Álvarez-Ruiz, G. Portillo-Clark, R.C. Valerio-García, J. Hernández-López, J. Méndez-Lozano, N. Vibanco-Pérez y F.J. Magallón-Barajas. 2009. *Detection of white spot syndrome virus in filtered shrimp-farm water fractions and experimental evaluation of its infectivity in Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Aquaculture* 292(1-2): 16-22.
- Esparza-Leal, H.M., F.J. Magallón-Barajas, G. Portillo-Clark, R. Perez-Enriquez, P. Alvarez-Ruiz, C.M. Escobedo-Bonilla, J. Méndez-Lozano, N. Mañón-Ríos, R. Valerio-García, J. Hernández-López, N. Vibanco-Pérez y R. Casillas-Hernández. 2010. *Infection of WSSV-negative shrimp, Litopenaeus vannamei, cultivated under fluctuating temperature conditions*. *Journal of the World Aquaculture Society* 41: 912-922.
- Esparza-Leal, H.M., F.J. Magallón-Barajas, R. Perez-Enriquez, R. Casillas-Hernández, J.A. Cabanillas-Ramos y W. Valenzuela-Quiñónez. 2012. *Región endémica y regímenes de infección con el virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) en las granjas camaronícolas del noroeste de México*. *Ra Ximhai* 8: 117-129.
- Ezquerro, J. M., F.L. García-Carreño, R. Civera y N.F. Haard. 1997. *pH-stat method to predict protein digestibility in white shrimp (Penaeus vannamei)*. *Aquaculture* (157): 249-260.
- FAO. 2104. *The State of World Fisheries and Aquaculture. Opportunities and challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- García-González, A., E. Goytortúa-Bores, F.J. Moyano-López, L.E. Cruz-Suárez, D. Ricque-Marie, E. Palacios y R. Civera-Cerecedo. 2010. *Chemical Composition and Digestibility of Three Mexican Safflower Meals Used as Ingredients in Diets for Whiteleg Shrimp, Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society* 41(S2): 191-202.
- Galindo-Torres, P.E. 2014. *Caracterización del transcrito del gen fem-1 en Litopenaeus vannamei (Boone, 1931) y análisis de su función en la reproducción mediante RNA de interferencia*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 112 p.
- Garza-Torres, R., R. Campos-Ramos y A.M. Maeda-Martínez. 2009. *Organogenesis and subsequent development of the genital organs in female and male Pacific white shrimp Penaeus (Litopenaeus)*

- vannamei*. Aquaculture 296(1-2): 136-142.
- Garza-Torres, R, A.M. Maeda-Martínez, D.A. Guerrero-Tortolero, H. Obregón-Barboza y R. Campos-Ramos. 2011. *Description of meiosis in female and male Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei* (DECAPODA: PENAEIDAE). Journal of Crustacean Biology, 31(1): 75-81.
- Goytortúa-Bores, E., R. Civera-Cerecedo, S. Rocha-Meza y A. Green-Yee. 2006. *Partial replacement of red crab (Pleuroncodes planipes) meal for fish meal in practical diets for the white shrimp Litopenaeus vannamei. Effects on growth and in vivo digestibility*. Aquaculture 256 (1-4): 414-422.
- Guemez-Sorhouet, E.E. 2015. *Respuesta fisiológica e inmune del camarón Litopenaeus vannamei bajo condiciones de alta densidad e hipoxia aguda, en presencia de flóculos biológicos y sustratos artificiales durante la precría*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 141p.
- Hernández Llamas A. y F.J. Magallón Barajas. 1991. *Análisis bioeconómico del cultivo del camarón azul (Penaeus stylirostris) con fertilizantes orgánicos e inorgánicos y alimentación balanceada*. Investigaciones Marinas CICIMAR 6(2): 267-281.
- Hernández Llamas A., J.L. Hernández Lizardi, M. González Garibay y F.J. Magallón Barajas. 1993. *Growth and survival response of Penaeus stylirostris to fertilization, pelleted feed and stocking density in earthen ponds*. Aquaculture and Fisheries Management 24: 57-69.
- Hernández Llamas A., F.J. Magallón Barajas, C.H. Lechuga Devezé, J.J. Bustillos Guzmán y D. López Cortés. 1995. *Growth potential of wild juvenile (Penaeus stylirostris) in earthen ponds receiving chemical and organic fertilizers and pelleted feed*. Aquacultural Engineering 14(4): 317-330.
- Hernández-Llamas A., E.F. Balart, G. Ponce-Díaz y R. Civera-Cerecedo. 2006. *Feasibility of a new fishery in Baja California, Mexico based on the red crab Pleuroncodes planipes: preliminary economic evaluation and risk assessment*. Aquatic Living Resources 19: 173-179.
- Hernández-Llamas, A., J. Cabanillas-Ramos y F.J. Magallón-Barajas. 2014a. *Estimating impact of white spot disease on economic risk in semi-intensive shrimp farms in Mexico: the case of the State of Sinaloa*. Reviews in Aquaculture 6: 1-10.
- Hernández-Llamas, A., F.J. Magallón-Barajas, R. Pérez-Enriquez, J. Cabanillas-Ramos, H.M. Esparza-Leal y G. Portillo-Clark. 2014b. *Pond shutdown as a strategy for preventing outbreaks of white spot disease in shrimp farms in Mexico*. Reviews in Aquaculture 5: 1-8.
- Hurtado, M.A., O. Arjona, L. Ibarra, R. Civera, M. Hernández-Rodríguez, I.S. Racotta, y E. Palacios. 2007. *Effect*



- of hypo- and hypersaline conditions on osmolarity and Na⁺/K⁺-ATPase activity in juvenile shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed low and high-HUFA diets. *Comparative Biochemistry and Physiology* 147A(3): 703-710.
- Ibarra, A.M., F.G. Arcos, T.R. Famula, I.S. Racotta y E. Palacios. 2005. *Heritability of the categorical trait 'number of spawns' in Pacific white female shrimp Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Aquaculture* 250: 95-110.
- Ibarra A.M., C.I. Pérez-Rostro, J.L. Ramirez y E. Ortega-Estrada. 2007a. *Genetics of the resistance to hypoxia in postlarvae and juveniles of the Pacific white shrimp Penaeus (Litopenaeus) vannamei (Boone 1931)*. *Aquaculture Research* 38: 838-846.
- Ibarra, A.M., I.S. Racotta, F.G. Arcos y E. Palacios. 2007b. *Progress on the genetics of reproductive performance in penaeid shrimp*. *Aquaculture* 268: 23-43
- Ibarra, A.M. y T.R. Famula. 2008. *Genotype by environment interaction for adult body weights of shrimp Penaeus vannamei when grown at low versus high densities*. *Genetics, Selection, Evolution* 40: 541-551.
- Ibarra, A.M., T.R. Famula y F.G. Arcos. 2009. *Heritability of vitellogenin in haemolymph, a pre-spawning selectable trait in Penaeus (Litopenaeus) vannamei, has a large genetic correlation with ovary maturity measure as oocytes mean diameter*. *Aquaculture* 297: 64-69.
- Laurencin, F.B. y M. Vigneulle. 1994. *Aquaculture diseases*. Part V. En: Barnabé, G. (Ed.) *AQUACULTURE. Biology and Ecology of Cultured Species*. Ellis Horwood Limited, Hertfordshire, U.K. pp. 375-392.
- Lightner, D.V., R.M. Redman, C.R. Pantoja, K.F.J. Tang, B.L. Noble, P. Schofield, L.L. Mohny, L.M. Nunan y S.A. Navarro. 2012. *Historic emergence, impact and current status of shrimp pathogens in the Americas*. *Journal of Invertebrate Pathology* 110: 174-183.
- López-Cuadros, I. 2014. *Caracterización y localización de la expresión de Sxl (Sex-lethal) en camarón blanco del Pacífico Litopenaeus vannamei (Boone, 1931)*. Tesis Maestría en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 103 p.
- Licona-Jain, A.B. 2015. *Respuesta al estrés y calidad bioquímica post-mortem del camarón blanco en relación a la inclusión del sub-productos pesqueros en el alimento*. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Luis-Villaseñor, I.E., A.I. Campa-Córdova, N. Huerta-Aldaz, A. Luna-González, J.M. Mazón-Suástegui y F. Flores-Higuera. 2013. *Effect of beneficial bacteria on larval culture of Pacific whiteleg shrimp, Litopenaeus vannamei*. *African Journal of Microbiology Research* (7)27: 3471-3478.
- Luis-Villaseñor, I.E., D. Voltolina, B. Gomez-Gil, F. Ascencio, A.I. Campa-Córdova, J.M.

- Audelo-Naranjo y O.O. Zamudio-Armenta. 2015. *Probiotic modulation of the gut bacterial community of juvenile Litopenaeus vannamei challenged with Vibrio parahaemolyticus* CAIM 170. Latin American Journal of Aquatic Research 43(4): 766-775.
- Luna-González, A., J.T. Moreno-Herrera, A.I. Campa-Córdova, H.A. González-Ocampo, J.A. Fierro-Coronado, P. Álvarez-Ruiz y M.A. Bueno-Ibarra. 2013. *Respuesta inmune y expresión de genes en el camarón blanco (Litopenaeus vannamei) inducida por inmunostimulantes microbianos*. Latin American Journal of Aquatic Research 42, 898-907.
- Magallón-Barajas, F.J., H. Villarreal-Colmenares, F. Arcos-Ortega, S. Aviles-Quevedo, R. Civera-Cerecedo, P. Cruz-Hernández, A. González-Becerril, V. Gracia-López A. Hernández-Llamas, J. Hernández-López, A.M. Ibarra-Humphries, C. Lechuga-Deveze, J.M. Mazón-Suástegui, A.F. Muhlia-Melo, J. Naranjo-Paramo, R. Pérez-Enriquez, M. Porchas-Cornejo, G. Portillo-Clark y J.C. Pérez-Urbiola. 2008. *Desarrollo Sustentable de la Acuicultura en México. Orientaciones Estratégicas*. Cámara de Diputados, LX Legislatura. 256 pp.
- Martínez-Antonio, E. 2014. *Niveles de nutrientes residuales, ecoeficiencia, desempeño productivo y estado fisiológico de Litopenaeus vannamei a diferentes niveles de proteína por efecto de micro biota en cultivos hiperintensivos*. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Martínez-Córdova, L.R., H. Villarreal-Colmenares y M. POrchas-Cornejo. 1995. *Culture of white shrimp Penaeus vannamei in reduced water exchange ponds in Sonora, Mexico*. World Aquaculture 26, 47-48.
- Martínez-Córdova, L.R., H. Villarreal-Colmenares, M. Porchas-Cornejo, J. Naranjo-Paramo y E.A. Aragon Noriega. 1997. *Effect of aeration rate on growth, survival and yield of white shrimp Penaeus vannamei in low water exchange ponds*. Aquaculture Engineering 16, 85-90.
- Martínez-Córdova, L.R., M. Porchas-Cornejo y H. Villarreal-Colmenares. 1998. *Respuesta del fitoplancton, zooplancton y bentos a tres estrategias de alimentación utilizadas en el cultivo de camarón blanco Penaeus vannamei Boone, 1931, en estanques con bajo recambio de agua*. Investigaciones Marinas 24, 267-281.
- Martínez-Córdova, L.R., A. Campaña-Torres, H. Villarreal-Colmenares, J. Ezquerro-Brauer, M. Martinez-Porchas, y E. Cortes-Jacinto. 2013. *Evaluation of partial and total replacement of formulated feed by live insects trichocorixa spheroptera corixidae on the productive and nutritional response and postharvest quality of shrimp Litopenaeus vannamei Boone 1931*, Aquaculture Nutrition 19, 218-226.



- Mazón-Suástegui, J.M., M. García-Bernal, F. Abasolo-Pacheco, M.A. Avilés-Quevedo, A.I. Campa-Córdova, M.C. Rodríguez-Jaramillo y R. Medina Marrero. 2015. *Homeopathy for shrimp aquaculture: Increased survival and superoxide dismutase activity in juvenile white shrimp Litopenaeus vannamei during a bacterial pathogen-challenge*. Poster; HRI Rome Jun-2015 / Cutting Edge Research in Homeopathy.
- Mejía-Ruíz, C.H., S. Vega-Peña, P. Álvarez-Ruiz y C.M. Escobedo-Bonilla. 2011. *Double-stranded RNA against white spot syndrome virus (WSSV) vp28 or vp26 reduced susceptibility of Litopenaeus vannamei to WSSV, and survivors exhibited decreased susceptibility in subsequent re-infections*. Journal of Invertebrate Pathology 107: 65–68.
- Mercier, L., E. Palacios, A.I. Campa-Córdova, D. Tovar-Ramírez, R. Hernández-Herrera e I.S. Racotta. 2006. *Metabolic and immune responses in the whiteleg shrimp Litopenaeus vannamei exposed to a chronic stress*. Aquaculture 258, 633-640.
- Mercier, L., I.S. Racotta, G. Yepiz-Plascencia, A. Muhlia-Almazán, R. Civera, W.M. Quiñones-Arreola, P. Sorgeloos y E. Palacios. 2009. *Effect of diets containing different levels of highly unsaturated fatty acids on metabolic and immune responses in Pacific whiteleg shrimp Litopenaeus vannamei exposed to handling stress*. Aquaculture Research 40, 1849-1863.
- Moser, J.R., D.A. Galván Álvarez, F. Mendoza Cano, T. Encinas García, D.E. Coronado Molina, G. Portillo Clark, M. Risoleta, F. Marques, F.J. Magallón Barajas y J. Hernández López. 2012. *Water temperature influences viral load and detection of White Spot Syndrome Virus (WSSV) in Litopenaeus vannamei and wild crustaceans*. Aquaculture 326-329: 9-14.
- Nolasco, H. 2014a. *Manual de Digestibilidad in vitro*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 67 pp.
- Nolasco, H. 2014b. *Manual de Atractabilidad de Ingredientes y Alimentos*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 29 pp.
- Pacheco, R., A.I. Campa, G. Aguirre, A. Luna, M.A. Guzmán y F. Ascencio. 2012. *Effect of Debaryomyces hansenii on the antioxidant response of juvenile white shrimp Litopenaeus vannamei*. Revista MVZ Córdoba 17: 2820-2826.
- Palacios E. e I.S. Racotta. 2003. *Effect of number of spawns on the biochemical composition of eggs and nauplii of Penaeus vannamei (Boone)*. Aquaculture Research 34: 427-435.
- Palacios, E. e I.S. Racotta. 2007. *Sailinity stress test in shrimp postlarvae: Relation to further performance and physiological basis*. Aquaculture 268: 123-135.
- Palacios, E., A.M. Ibarra, J.L. Ramírez, G. Portillo e I.S. Racotta.

1998. *Biochemical composition of egg and nauplii in white pacific shrimp, Penaeus vannamei (Boone), in relation to the physiological condition of spawners in a commercial hatchery.* Aquaculture Research 29: 183-189.
- Palacios, E., C.I. Pérez-Rostro, J.L. Ramírez, A.M. Ibarra e I.S. Racotta. 1999a. *Reproductive exhaustion in shrimp (Penaeus vannamei) reflected in larval biochemical composition, survival, and growth.* Aquaculture 171: 209-221.
- Palacios E., I.S. Racotta y APSA. 1999b. *Spawning frequency analysis of wild and pond-reared Penaeus vannamei broodstock under large-scale hatchery conditions.* Journal of the World Aquaculture Society 30: 180-191.
- Palacios E., I.S. Racotta, H. Heras, Y. Marty, J. Moal, E. Krauffe y J.F. Samain. 2001. *Relation between lipid and fatty acid composition of eggs and larval survival in white pacific shrimp (Penaeus vannamei).* Aquaculture International 9: 531-543.
- Palacios E., I.S. Racotta y M. Villalejo. 2003. *Assessment of ovarian development in a commercial hatchery and its relation to mating in wild and pond-reared Penaeus vannamei shrimp.* Journal of the World Aquaculture Society 34: 466-477, 2003.
- Palacios, E., A. Bonilla, A. Pérez, I.S. Racotta y R. Civera. 2004. *Influence of highly unsaturated fatty acids on the responses of white shrimp (Litopenaeus vannamei) postlarvae to low salinity.* Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 299: 201-215.
- Palacios, E., C. Navarro-Hurtado, E.A. Toyas-Vargas, R. Civera y M. Casas. 2014. *Use of alternative marine products for fishmeal and oil replacement in feed for shrimp Litopenaeus vannamei.* World Aquaculture, Adelaide, Australia 7-11 de Junio.
- Parrilla-Taylor, D.P., T. Zenteno-Savin y F.J. Magallon-Barajas. 2013. *Antioxidant enzyme activity in pacific whiteleg shrimp (Litopenaeus vannamei) in response to infection with white spot syndrome virus.* Aquaculture 380-383: 41-46.
- Perez-Enriquez, R., F. Hernández-Martínez y P. Cruz. 2009. *Genetic diversity status of White shrimp Penaeus (Litopenaeus) vannamei broodstock in Mexico.* Aquaculture 297: 44-50.
- Pérez-Rostro, C.I., J.L. Ramírez y A.M. Ibarra. 1999. *Maternal and cage effects on genetic parameter estimation for Pacific white shrimp (Penaeus vannamei Boone).* Aquaculture Research 30: 681-693.
- Pérez-Rostro, C.I. y A.M. Ibarra. 2003. *Heritabilities and genetic correlations of size traits at harvest size in sexually dimorphic Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei) grown in two environments.* Aquaculture Research 34: 1079-1085.
- Racotta, I.S. y E. Palacios. 1998. *Haemolymph metabolic variables in response to experimental manipulation stress and se-*



- rotonin injection in *Penaeus vannamei*. Journal of the World Aquaculture Society 29: 351-356.
- Racotta, I. S., E. Palacios y A.M. Ibarra. 2003. *Shrimp larval quality as a function of broodstock condition: A review*. Aquaculture 227: 107-130.
- Racotta, I.S., E. Palacios, R. Hernández-Herrera, A. Bonilla, C.I. Pérez-Rostro y J.L. Ramírez. 2004. *Criteria for assessing larval and postlarval quality of Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei, Boone, 1931)*. Aquaculture 233: 181-195.
- Rivas-Vega, M.E., E. Goytortúa-Bores, J. M. Ezquerro-Brauer, M. G. Salazar-García, L. E. Cruz-Suárez, H. Nolasco y R. Civera-Cerecedo. 2006. *Nutritional value of cowpea (Vigna unguiculata L. Walp) meals as ingredients in diets for Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei Boone)*. Journal of Food Chemistry 97 (1): 41-49.
- Robles-Romo, A., M.O. Arjona Lopez e I. Racotta Dimitrov. 2014. *Influence of sampling, storage, processing and optimal experimental conditions on adenylate energy charge in penaeid shrimp*. Archives of Biological Sciences 66: 651-666.
- Romero Vivas, E., F.D. Von Borstel Luna, J. Gutierrez Jaguey y R. VazquezJuarez. 2012. *Análisis de información genómica: Investigación Bioinformática (CIBNOR)*. Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo de México PCTI 119(5).
- Romero-Vivas, E., F.D. Von Borstel e I. Villa-Medina. 2013. *Analysis of Genetic Expression with Microarrays using GPU Implemented Algorithms*. Computación y Sistemas 17: 357-364.
- Ruiz-Velazco, J.M.J, A. Hernández-Llamas, V.M. Gomez-Muñoz y F.J. Magallon. 2010. *Dynamics of intensive production of shrimp Litopenaeus vannamei affected by white spot disease*. Aquaculture 300(1-4): 113-119.
- Sánchez-Paz, A. 2010. *White spot syndrome virus: an overview on an emergent concern*. Veterinary Research 41(6): 43.
- Vázquez-Islas, G., I. S. Racotta, A. Robles-Romo y R. Campos-Ramos. 2013. *Energy balance of spermatophores and sperm viability during the molt cycle in intact and bilaterally eyestalk ablated male Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei*. Aquaculture: 414-415: 1-8.
- Vázquez-Islas G., R. Garza-Torres, D.A. Guerrero-Tortolero y R. Campos-Ramos. 2014. *Histology of the androgenic gland and expression of the insulin-like androgenic gland hormone precursor gene in the genital organ of Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei*. Journal of Crustacean Biology 34: 293-299.
- Vázquez-Islas, G., D.A. Guerrero-Tortolero, R. Garza-Torres, P. Álvarez-Ruiz, H. Mejía-Ruiz y R. Campos-Ramos. 2015. *Quantitative analysis of hypertrophy and hyperactivity in the androgenic gland of eyestalk-ablated male Pacific*

- white shrimp Litopenaeus vannamei during molt stages.* Aquaculture 439: 7-13.
- Vega-Heredia, S., F. Mendoza-Cano y A. Sánchez-Paz. 2012. *The infectious hypodermal and haematopoietic necrosis virus: A brief review of what we do and do not know.* Transboundary Emergent Diseases 59(2): 95-105.
- Vega-Villasante, F., H. Nolasco y R. Civera. 1995. *The digestive enzymes of the Pacific brown shrimp Penaeus californiensis. II.- Properties of protease activity in the digestive tract.* Comparative Biochemistry and Physiology 112B: 123-129.
- Villarreal, H., R. Civera-Cerecedo y A. Hernández-Llamas. 2006. *Effect of partial and total substitution of shrimp meal, fish meal and soy meal with red crab meal Pleuroncodes planipes (Stimpson) on the growth of juvenile white shrimp Litopenaeus vannamei (Boone).* Aquaculture Research 37: 293-298.
- Villarreal-Colmenares, H. y R. Civera-Cerecedo, R. 2015. *Método de extracción de harina de langostilla roja de base seca.* Título de patente 330201, Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. Fecha de otorgamiento: 20 de Febrero de 2015.
- Zarain-Herzberg, M., N.Y. Hernandez-Saavedra y F. Ascencio. 2003. *Biological characterization of Taura Syndrome in Pacific White Shrimp Litopenaeus vannamei (Crustacea:Decapoda) cultured in Sinaloa, Mexico: gross Signs, histopathological lesions, and mortalities.* International Journal of Aquaculture 34: 99-105.

Cita de este artículo

Pérez-Enríquez R*, H. Acosta-Salmón, F. Arcos-Ortega, F. Ascencio, A.I. Campa-Córdova, R. Campos-Ramos, R. Civera-Cerecedo, P. Cruz-Hernández, A. Hernández-Llamas, A.M. Ibarra-Humphries, J. M. Mazón-Suástegui, C.H. Mejía-Ruiz, L. Mercier, H. Nolasco-Soria, E. Palacios-Mechetnov, I. S. Racotta, E. Romero-Vivas, R. Vázquez-Juárez, H. Villarreal-Colmenares. 2016 *Reseña histórica y académica del cultivo de camarón en el CIBNOR.* Recursos Naturales y Sociedad, 2016. Vol. 2 (3): 9-34. DOI:10.18242/RENAYSOC.2016.02.02.01.0004

Sometido: 25 de octubre de 2015

Revisado: 12 de enero de 2016

Aceptado: 26 de Marzo de 2016

Editor asociado: Dr. Alfredo Ortega Rubio

Idioma Inglés Abstract: Ms.C. Diana Dorantes

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández

OXÍGENO. LA MOLÉCULA QUE HIZO AL MUNDO.

Nick Lane.

OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2002.

Reseña de libro por Fernando García Carreño, Ph.D.

Book review by Fernando García Carreño, Ph.D.

Oxígeno. La molécula que hizo al mundo.

Nick Lane. Oxford University Press, 2002.

Oxygen. The molecule that made the world

Nick Lane. Oxford University Press, 2002.

En una época en la que la ciencia de la vida, la biología, está dominada por el paradigma de la información genética (formas caricaturescas sobre la estructura del DNA son icónicas), la bioinformática, por un lado, y por la creencia popular sobre cómo evitar el estrés oxidativo, por el otro, este libro muestra que hay otros aspectos tan importantes para entender a los seres vivos y cómo el mundo es lo que es. Por fortuna, Nick Lane, un bioquímico de *University College* de Londres, ofrece explicaciones sobre la forma en que la vida llegó a ser y cómo ésta contribuyó a que la Tierra no fuera un desierto como lo son Venus y Marte.

Lane usa una serie de evidencias organizadas para soportar sus explicaciones; demuestra porqué la ciencia debe ser interdisciplinaria y las razones por las cuales, para entender la biología, es

Currently, when life science, biology, is understood by the paradigm of genetic information (cartoons of the DNA structure are iconic), bioinformatics on one hand and by the urban legend about oxidative stress on the other one, the book makes clear that other aspects are important to fully understand living things and how nature is. Fortunately, Nick Lane, a Biochemist at the University College London, gives clues about how life came to be and how life made the world, as it is, not a desert as Venus and Mars.

Lane argues in structured evidences, showing why science needs to be interdisciplinary and reasons why to fully appreciate biology, geology, biochemistry, oceanographic, environmental, and even molecular medicine sciences are needed. The resulting book is a vision for lay people to help them appreciate how nature works, and who would benefit by scientific

necesario comprender la geología y la bioquímica, la biogeoquímica, así como las ciencias ambientales, la oceanografía y hasta la medicina biomolecular.

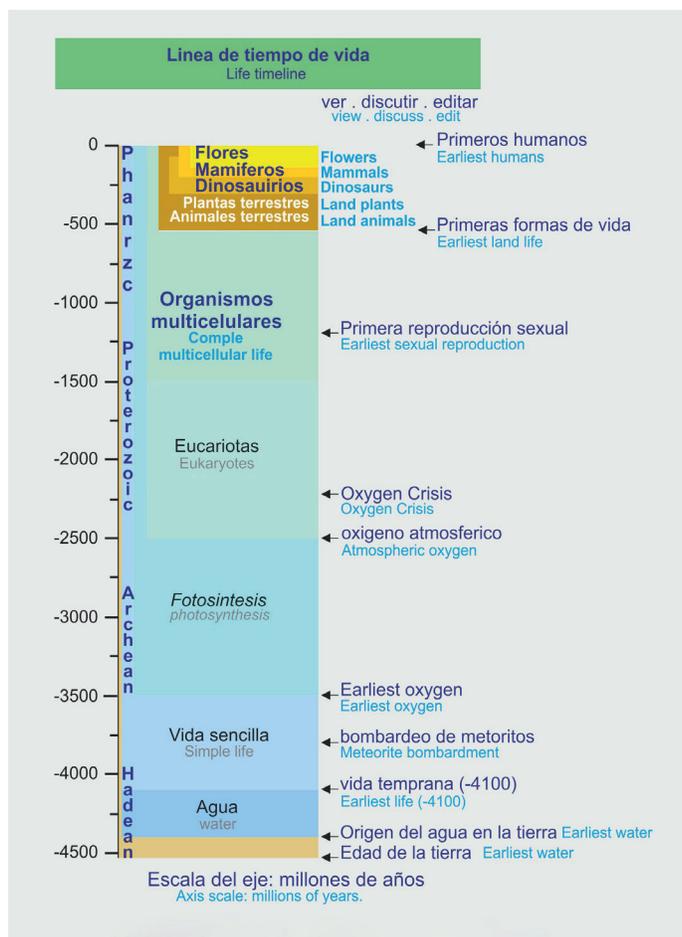
El resultado logrado por Lane es una visión que los no científicos pueden entender para conocer mejor al mundo y está redactada para ser comprendida por no expertos, quienes se beneficiarán adquiriendo una cultura científica, tan útil en la toma de decisiones de la vida cotidiana.

La obra trata de demostrar una forma más posible de origen de la vida, argumentando en contra del “caldo primigenio” que dominó el pensamiento científico por cinco décadas; en cambio, favorece la idea de una atmósfera similar a la actual y la intervención de chimeneas alcalinas recién descubiertas en la profundidad del océano Atlántico. En la figura 1 del libro se muestra una tabla de tiempo desde el origen de la Tierra hace 4,500 millones de años hasta la época actual, pasando por el surgimiento de la vida apoyado en la evidencia de fósiles que tienen una antigüedad de 4,000 millones de años.

El autor menciona que a pesar de lo abundante del oxígeno en el Universo, y por ende en la Tierra, éste no se encuentra de manera geológica como elemento puro, ni en nuestro planeta ni en otros cuerpos celestes, debido a que es muy reactivo. Y, con lujo de detalle, relata cómo la vida causó que el oxígeno puro, oxígeno molecular, O₂, apareciera en la atmósfera producto de desecho del metabolismo de los organismos fotosintéticos,

culture, so it is valuable in decision making in daily life.

In the book, Lane, skillfully elaborates about a possible origin of life contending against the “primordial soup” that reigned supreme on the scientific thinking for half a century; alternatively, Lane shows evidence of an atmosphere similar to the



current one and the mediation of alkaline chimneys in the depths of the Atlantic Ocean. Figure 1 of the book shows a timetable from the origin of the planet Earth 4,500 million years ago till the present with the origin of life supported by 4,000 million years of fossil evidences.

en ese entonces las cianobacterias (las algas y las plantas vinieron mucho después). ¡La basura de unos es el tesoro de otros, dice la conseja!

Esta liberación de oxígeno molecular permitió la aparición de nuevas formas de vida; hasta entonces, solo existían seres microscópicos unicelulares sencillos tipo bacteria, los que aún hoy no tienen núcleo, los procariontes. El aumento de oxígeno en la atmósfera a lo largo de miles de millones de años facilitó el desarrollo de organismos con núcleo, los eucariotas, y después de organismos multicelulares complejos. La aparición de la fotosíntesis y su producto, el oxígeno molecular, es la razón la cual la Tierra es como es y tuvo un desarrollo diferente y contrastante al de otros planetas.

Un nuevo orden metabólico en un nuevo mundo.

Para que esto ocurriera, la evolución seleccionó a aquellos organismos que adquirieron la capacidad de proliferar en una atmósfera con más de 15% de oxígeno, gracias a la adquisición de metabolismos que amortiguaran productos de la asimilación del oxígeno que son dañinos para la célula. Todo ser aerobio sintetiza mecanismos para evitar la oxidación dañina; posee una capacidad antioxidante. Todos los aerobios somos “ricos en antioxidantes”.

Lo que nos lleva al otro tema popularizado por algunos científicos y usado para fines mercantilistas por comerciantes, el estrés oxidativo.

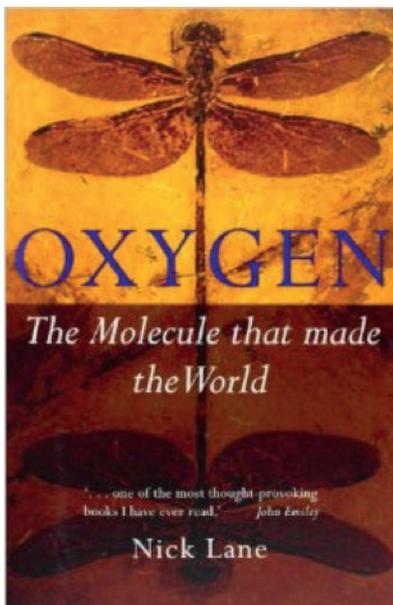
The author indicates that in spite of the abundance of oxygen in the universe, and hence in planet Earth, the element is only found forming chemical compounds and not free in any cosmic bodies because it is quite reactive. He stylishly shows how life caused that free oxygen, molecular oxygen, be part of the atmosphere as a byproduct of photosynthetic

organisms, cyanobacteria (algae and plants came later). “One man’s trash is another man’s treasure”

Production of molecular oxygen triggered diversification of life; at that time, only simple unicellular microscopic organisms bacteria-like existed, those lacking nucleolus, prokaryotes. Increase in the concentration of molecular oxygen on the atmosphere favored eon-elicited evolution of cells with nucleus, eukaryotes, and then

complex multicellular organisms. Photosynthesis and its waste product, molecular oxygen, is the main reason why Earth is as it is, differing from other planets. A new metabolic order in a brand new planet.

For this reason, evolution selected organisms with capacity of thriving in an environment with a concentration higher than 15% molecular oxygen by acquiring metabolismes to buffer metabolites otherwise detrimental to the cell. All aerobic organisms are packed with several types of antioxidants, which takes us to a popular topic among some scientists and an abused one by those making money on it, oxidative stress.



Lane en su libro, con profundo conocimiento de todas las disciplinas involucradas, sobre todo de la bioquímica, analiza y desmitifica al estrés oxidativo (recibió El premio de la "Royal Society" para libros de ciencia).

Ver también: <http://www.nick-lane.net/About%20Oxygen.htm>

Lane, who is not only an expert (won the Royal Society Prize for Science Book) in Biochemistry, but a lucid, accessible prose writer, analyzes and debunks oxidative stress.

Further reading in: <http://www.nick-lane.net/About%20Oxygen.htm>

Agradecimientos

Se agradece a la Lic. Adriana Landa, y al Lic. Gerardo Hernández, el diseño gráfico editorial y a la Ms.C. Diana Dorantes la revisión del Idioma Inglés en este documento.

Fichas curriculares

Héctor Acosta Salmón. Ingeniero en Acuicultura por el Instituto Tecnológico del Mar, Maestro en Ciencias en Acuicultura por la Universidad Autónoma de Baja California Sur, Doctorado en Ciencias en Acuicultura por la Universidad James Cook y Postdoctorado en Acuicultura en Harbor Branch Oceanographic Institute. Técnico Titular del CIBNOR. 24 publicaciones científicas en revistas indizadas, 11 de ellas como autor principal. 7 artículos de divulgación científica, 1 patente registrada en México, Panamá, Nueva Zelanda, las Bahamas y E.U.A. hacostas@cibnor.mx

Carlos Angulo. Doctor en Ciencias en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales. Autor de 24 artículos de investigación. Ha dirigido 6 proyectos de investigación y transferencia tecnológica. Ha dirigido 7 Tesis de maestría, y en proceso dirige o Co-dirige 9 de maestría y 5 de doctorado. Investigador Nacional Nivel I. eangulo@cibnor.mx

Mario Arce-Montoya. Maestro en Ciencias en Biotecnología Vegetal, coautor de 9 publicaciones de investigación, 3 capítulos en libros y 4 reportes técnicos aceptados por la industria. Ha dirigido 6 tesis y 4 memorias de residencias profesionales en licenciatura. Ha impartido cursos en el área a nivel licenciatura en la Facultad de Ciencias de la UNAM y a nivel de posgrado en el Centro de Investigación Científica de Yucatán y en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Actualmente integrante de la Comisión de Bioseguridad del CIBNOR. Marce04@cibnor.mx

Fabiola Arcos-Ortega, SNI I, farcos04@cibnor.mx, Variación genética de organismos acuáticos.

Gustavo Alberto Arnaud Franco. Doctor en Ciencias en Biología del Comportamiento, con Diplomados en Pedagogía, Comportamiento y Geomática. Investigador titular del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, adscrito al Programa de Planeación Ambiental y Conservación donde es coordinador de la Línea Estratégica sobre Biodiversidad. Miembro de la Viper Specialist Group, de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), para México y el Caribe. Miembro del Consejo Técnico Asesor del Parque Nacional Bahía de Loreto. Ha publicado más de 40 artículos científicos, más de 20 capítulos de libros. Ha formado recursos humanos en diferentes niveles: doctorado, maestría y licenciatura.



Felipe de Jesús Ascencio-Valle. Doctorado en Microbiología Médica por la Universidad de Lund, Suecia. Investigador Titular D y responsable del Laboratorio de Patogénesis Microbiana del Programa de Acuicultura del CIBNOR. Nivel 3 del SNI. Responsable de varios proyectos de investigación en el campo de la inmunología marina, patogénesis microbiana y biotecnología, con 6 posdoctorantes, 20 estudiantes de doctorado, 19 de maestría y 5 de licenciatura graduados, y actualmente con 10 de doctorado y 3 de maestría en proceso. Más de 140 publicaciones científicas indizadas en el JCR.

Narciso Ávila-Serrano, estudió ingeniero zootecnista en la Universidad Autónoma de Baja California Sur, la maestría en ciencias en producción animal en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y el doctorado en ciencias en el uso, manejo y preservación de los recursos naturales con orientación en ecología de zonas áridas en el CIBNOR. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Perfil deseable PROMEP. Miembro y socio fundador de la Red Mexicana sobre Conservación y Utilización de los Recursos Zoogenéticos, A. C. Líneas de investigación: manejo, fisiología y sanidad de rumiantes y desarrollo agropecuario sustentable. E-mail: reval1997@hotmail.com

Sergio Barrera. Tesista Graduado de Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales. Instituto tecnológico de la Paz. Desarrolló su tesis en el CIBNOR con el título: “Integración de BCEPred al sistema de herramientas inmunoinformáticas Revxine 2.0 (Programa de predicción de vacunas)”.

Angel Isidro Campa Cordova. Doctorado en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Investigador Titular B en el CIBNOR, responsable del Laboratorio de Inmunogenómica del Programa de Acuicultura. Nivel II de SNI, responsable de 7 proyectos de investigación, 3 estudiantes de Licenciatura, 6 de Maestría y 4 de Doctorado graduados, 44 artículos publicados indizados y 4 arbitrados, 2 capítulos de libro publicados.

Rafael Campos Ramos. Ph.D., Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland, UK. Investigador Titular B. SNI nivel II; 26 publicaciones científicas en revistas indizadas; 1 artículo en revista nacional; 3 abstracts en revistas indizadas; 3 estudiantes de Doctorado graduados y 1 en proceso; 1 estudiante de Maestría graduado; 1 proyecto de investigación propio y 4 como colaborador SEP-CONACYT.

Perla Carlos. Servicio Social, Residencias Profesionales, Tesis de Licenciatura y Tesista Graduada de Maestría en Ciencias en el Uso, Manejo y Conservación de los Recursos Naturales. Programa de Agricultura en Zonas Áridas. Título de la tesis: “Expresión de antígenos de *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* en *Chlamydomonas reinhardtii*-2016.”

Rodrigo Celis. Tesista Graduado de Licenciatura en Biología. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Desarrolló su tesis en el CIBNOR con el título: “Transformación de alfalfa (*Medicago sativa* L.) mediada por *Agrobacterium tumefaciens* como sistema de producción de vacunas utilizando los genes MAP1609c (Ag85b) y MAP0586c de *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis*-2012”.

Roberto Civera-Cerecedo. Doctorado en Ciencias de la Universidad de Bretaña Occidental y el IFREMER-Brest,

Francia. Investigador Titular C del CIBNOR con 25 años de experiencia en alimentación y nutrición de organismos acuáticos. Responsable del laboratorio de Nutrición Acuícola del Programa de Acuicultura. Nivel 1 del SNI, responsable de 24 proyectos de investigación, 15 vinculaciones con el sector privado; 13 estudiantes de licenciatura, 15 de Maestría y 6 de Doctorado graduados; 46 publicaciones científicas en revistas indizadas, 14 capítulos de libro, 9 libros, y 1 patente aprobada. Doctorado en Ciencias por Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Investigador Titular C del CIBNOR. 32 publicaciones científicas en revistas indizadas, 4 estudiantes de licenciatura titulados, 7 estudiantes de maestría y 4 de doctorado graduados. Responsable de 7 proyectos de investigación. pcruz@cibnor.mx

Ricardo del Tejo. Tesista Graduado de Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales. Instituto tecnológico de la Paz. Desarrolló su tesis en el CIBNOR con el título: Integración de ABCPred al sistema de herramientas inmunoinformáticas Revxine 2.0 (Programa de predicción de vacunas)."

Alejandro Dibene. Tesista de Maestría (proceso) en Sistemas Computacionales. Desarrolla su tesis con el título "Algoritmo concurrente para la predicción de afinidad con MHC-II (predicción de vacunas potenciales mediante programas de computadora)."

Fernando García Carreño. Dr. en Biotecnología por la UNAM; Postdoctorado en la Universidad de California, Davis; Investigador titular D en CIBNOR; Miembro regular de la Academia Mexicana de Ciencia; Investigador III SNI; Delegado por BCS y miembro de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería; Interés académicos: Biotecnología marina, tecnología enzimática y bioquímica; Intereses paracadémicos: uso de la ciencia por la sociedad; Director del programa "Conocer para decidir, ciencia para vivir mejor". fgarcia@cibnor.mx

Gracia Alicia Gómez Anduro. Doctorado en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Investigador Titular del CIBNOR y responsable del Laboratorio de Biología Molecular de Plantas en el programa de Agricultura en Zonas Áridas. Nivel 1 del SNI, responsable de 6 proyectos de investigación, 9 estudiantes de Maestría graduados y 4 de Doctorado en proceso; 15 publicaciones científicas en revistas indizadas, 7 artículos de divulgación científica, 1 patente aceptada y 2 en proceso, apoyo en la formación de la empresa biotecnológica BIOSENSE México. ggomez@cibnor.mx

Crystal Guluarte. Servicio Social, Residencias Profesionales y Tesista Graduada de Licenciatura en Ingeniería Bioquímica. Instituto tecnológico de la Paz. Desarrolló su tesis en el CIBNOR con el título: "Evaluación antigénica de la proteína de virulencia MCEF (MAP0765) recombinante de Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis-2014". Actualmente es tesista de Maestría en Ciencias en el Uso, Manejo y Conservación de los Recursos Naturales. Programa de Agricultura en Zonas Áridas.

Julio Antonio Hernández González. Maestría en Ciencias en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, Técnico responsable del laboratorio de biología molecular de plantas. Autor de 3 artículos en revistas indexadas y 2 artículos en revistas de divulgación. Ha dirigido dos tesis de licenciatura e impartido el

curso introducción a la bioinformática. jahernan04@cibnor.mx

Alfredo Hernández Llamas. Biólogo egresado de la UNAM, Maestro en Ciencias Pesqueras egresado del IPN y Doctor en Ciencias por la UNAM. Investigador titular del Programa de Acuicultura del CIBNOR, SNI nivel II. Líneas de investigación: bioeconomía y nutrición acuícola. Tesis digeridas: 2 de doctorado (una de ellas premio a la mejor tesis de posgrado del IPN y premio estatal de ciencia y tecnología - medalla Nayarit), 3 de maestría, 3 de doctorado en curso y 2 de maestría en curso. Autor de 48 artículos en revistas indexadas, 3 arbitradas y 2 capítulos de libros. ahllamas04@cibnor.mx

Ricardo Hernández. Servicio Social. Instituto Tecnológico de La Paz. Desarrolló su Servicio Social en el CIBNOR con el título: "Evaluación de la antigenicidad y biodisponibilidad de las proteínas recombinantes MAP1609c y MAP0586c producidas en la microalga marina Schizochytrium sp.-2014"

Ana Maria Ibarra Humphries. Doctorado en Genética por la Universidad de California en Davis y Maestría en Acuicultura por la Universidad Estatal de Oregon, EUA. Investigador Titular D del CIBNOR. Líder, responsable y fundadora del laboratorio de Genética y Mejoramiento Animal Acuícola del Programa de Acuicultura. SNI Nivel III, 67 publicaciones indizadas, 10 conferencias magistrales nacionales y 10 internacionales por invitación; ha formado 10 Doctores y 14 Maestros en Ciencias; responsable de 17 proyectos de investigación y 5 de vinculación con industria de camarón y ostión. Líneas de investigación: Mejoramiento Genético, Genómica, Biotecnologías de Ploidía. aibarra@cibnor.mx

Silvia Martínez. Servicio Social, Residencias Profesionales y Tesista Graduada de Licenciatura en Ingeniería Bioquímica. Instituto tecnológico de la Paz. Desarrolló su tesis en el CIBNOR con el título: "Evaluación de la inmunogenicidad de antígenos recombinantes de la familia MCE de Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis-2013".

Jose Manuel Mazón-Suástegui. ITB, SNI-1. Doctor en Biología Animal con Mención Honorífica por la Universitat de Barcelona (UB). Premio Antonio Caparrós a la Mejor Tesis UB 2006 con Retorno de Conocimiento a la Sociedad. Cultivos Marinos. Homeopatía Acuícola, Probióticos, Microbiota en Moluscos, Camarón y Peces Marinos. Autor Principal de 8 Artículos Indexados y 4 Arbitrados. Co-autor de 15 Art. Indexados y 2 Arbitrados. Co-autor en 8 Cap. de Libro. Estudiantes Graduados/En Proceso: Posdoc 1/1, Doctorado 1/2, Maestría 8/3, Licenciatura 11/1. Resp. Técnico de 2 Proyectos Tecnológicos Certificados y 21 Proyectos Científicos, Tecnológicos y/o de Coop. Internacional.

Claudio Humberto Mejía Ruiz. Doctorado en Biotecnología (IBT-UNAM 1997). Puesto: Investigador Titular A (ITA). NIVEL SNI: I (Vigente). LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Biotecnología Molecular aplicada a la Acuicultura; Virología del cultivo de camarón; Desarrollo de vacunas contra patógenos virales del camarón. Publicaciones internacionales 16. Tesis dirigidas: Doctorado 5, Maestría 2, Licenciatura 7. Coordinación del curso de posgrado "Biología Molecular y Celular" desde 1999-2016. Proyectos de Investigación (CONACYT): 5. Colaboraciones internacionales: Dra. Luciane Perazzolo de la UFSC, Brasil.

Laurence Stephanie Mercier. Doctora en uso, manejo y preservación de los recursos naturales con orientación en Acuicultura por el CIBNOR. Investigadora asociada en el Programa de Acuicultura y Responsable de la Vinculación Académica en BioHelis, el Parque de Innovación Tecnológica de CIBNOR. Líneas de investigación: Fisiología del estrés en crustáceos, cultivo intensivo y nuevas fuentes de alimento para el camarón. Dirige actualmente 2 proyectos de investigación con empresas/instituciones Europeas. Cuenta con 5 publicaciones en revistas indizadas y es asesora de estudiantes de posgrado. Obtuvo la medalla académica de Oro por el Gobernador General de Canadá. lmercier04@cibnor.mx.

Beatriz Meza. Tesista (proceso) de Doctorado en Ciencias en el Uso, Manejo y Conservación de los Recursos Naturales. Programa de Agricultura en Zonas Áridas. Título de la tesis: “Desarrollo de una vacuna oral multigénica en *Phaeodactylum tricornutum* contra la infección de *Helicobacter pylori* en ratones Balb/c.”

Héctor Gerardo Nolasco-Soria. Investigador Titular “C” del CIBNOR, 31 años de experiencia. SNI Nivel II. Leader in Innovation Fellowship 2015 (RAE, UK). Director del Consejo Sudcaliforniano de Ciencia y Tecnología (2003-2008). Secretario de la REDNACECYT (2006-2008), Director y Editor de la revista “Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo de México” (2008-). Editor de la Revista “Innovación para la Vinculación, Fomix Quintana Roo” (2011-). Miembro del Consejo Consultivo de la UABCS (2001-2004), Medalla al Mérito “Domingo Carballo Félix” por la investigación en B.C.S. (1992). Premio Malta-Cleyton Innovación en Nutrición Animal (2006). Premio Universidad de la Habana (2011). Premio al Mérito Ecológico (2011). Profesor de Posgrado (CIBNOR 1999 a la fecha, Universidad de la Habana 2001, Universidad de Buenos Aires 2011). Profesor de licenciatura (Ottawa University 1988-1989, UABCS 1992-2002). Autor de 70 publicaciones científicas y 4 libros. Editor de 3 libros. 10 Desarrollos Tecnológicos. 7 patentes en curso (IMPI). 2 patentes Europeas obtenidas.

Elena Palacios Mechetnov. Maestría en Fisiología del IPN, Doctorado en CIBNOR, Postdoctorado en Lípidos, Ifremer, Brest. Línea de investigación: Metabolismo de Lípidos. 25 proyectos dirigidos, 15 estudiantes de posgrado graduados y 6 en curso, 71 artículos publicados, 1487 citas. Nivel 3 en el SNI. epalacio@cibnor.mx

Ricardo Pérez-Enríquez. Oceanólogo con Doctorado en Ciencias, Universidad de Kochi, Japón. Investigador Titular C del CIBNOR. SNI Nivel 2. Estudios de diversidad genética y manejo genético en especies acuícolas y pesqueras de interés comercial. Coordinación, desarrollo y transferencia de la investigación científica y tecnológica al sector productivo. 51 publicaciones arbitradas (40 en revistas indizadas). Responsable de 22 proyectos de investigación. 5 alumnos de doctorado y 4 de maestría. rperez@cibnor.mx

Iliá Sava Racotta-Dimitrov, Ilie S. Racotta. Doctorado en Fisiología Animal por la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN. Investigador Titular del Programa de Acuicultura del CIBNOR (Laboratorio de Metabolismo Energético). Nivel III del SNI desde 2008. Premio Weizman a la mejor tesis Doctoral en 1996. Premio de la Academia Mexicana de Ciencias en 2005. Responsable de 14 proyectos de investigación. Dirección de 9

tesis de Licenciatura, 9 de Maestría y 10 de Doctorado. Autor de 83 trabajos en revistas JCR. Mas de 1000 citas de autores independientes (Factor h=20)

Abel Ramos. Tesista (proceso) de Maestría en Ciencias en el Uso, Manejo y Conservación de los Recursos Naturales. Programa de Agricultura en Zonas Áridas. Título de la tesis: “Desarrollo de una vacuna oral en *Schizochytrium sp.* contra *Mycobacterium avium spp. paratuberculosis*.”

Eduardo Romero Vivas. Doctorado en Procesamiento Digital de Señales, Maestría en Sonido y Vibraciones. Universidad de Southampton, Reino Unido. Investigador del Programa de Acuicultura del CIBNOR. Cuenta con 3 líneas de investigación: Acústica y Procesamiento Digital de Señales, bioinformática y electrónica biomédica. Autor de 23 artículos en revistas indexadas y miembro del Sistema Nacional de Investigadores. evivas@cibnor.mx

Cristhian Sáñez. Tesista de Maestría y Tesista (proceso) de Doctorado en Ciencias en el Uso, Manejo y Conservación de los Recursos Naturales. Programa de Agricultura en Zonas Áridas. Título de la tesis: “Inmunogenicidad e inmunoprotección del antígeno 85B (MAP1609C) de *Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis* producido en plantas”.

Raziel Sosa. Tesista Graduado de Maestría en Ciencias en el Uso, Manejo y Conservación de los Recursos Naturales. Programa de Agricultura en Zonas Áridas. Título de la tesis: “Identificación de antígenos de *Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis* y su inserción genética en el cloroplasto de *Chlamydomonas reinhardtii*-2015”.

Lizeth Valladares. Tesista de Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma de Morelos. Desarrolló su tesis en el CIBNOR con el título: “Producción de antígenos de *Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis* en *Schizochytrium sp.*”

Ricardo Vazquez-Juarez. Doctorado en Microbiología por el Departamento de Biología Molecular y Celular de la Universidad de Goteborg, Suecia. Investigador Titular y responsable académico del Laboratorio de Genómica y Bioinformática del CIBNOR; y miembro del SNI Nivel II. Ha dirigido 8 tesis de Doctorado, 12 de Maestría y 8 de Licenciatura. Es autor de 42 artículos en revistas indexadas.

Humberto Villarreal-Colmenares, Ingeniero Bioquímico, Mención Honorífica del ITESM, MSc y PhD, U. de Queensland, Australia. En CIBNOR: Investigador Titular “D”, SNI 3, especialista en bioenergética y optimización de sistemas de producción con más de 100 publicaciones y 1 patente. Coordinador de Biología Marina/U. Guaymas, del Programa de Acuicultura y de BioHelis®, Parque de Innovación Tecnológica. Profesor titular de Maestría y Doctorado con más de 40 tesis de grado y posgrado, invitado a diversas Universidades. Líder de Proyectos de Grupo Nacionales e Internacionales y Responsable del Eje de Crecimiento del Plan Rector Nacional de Acuicultura y Pesca. Premio TECNOS 2008 y ADIAT PYMES 2010 y Medalla al Mérito Científico y Tecnológico BCS 2014. Presidente del COMCE BCS y Consejero de NAFINSA.