



Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 4 (2): 284-317. Julio-Diciembre, 2013
<http://www.rvcta.org>
ISSN: 2218-4384 (versión en línea)
© Asociación RVCTA, 2013. RIF: J-29910863-4. Depósito Legal: ppi201002CA3536.

Revisión

Importancia biotecnológica de la biodiversidad. Los nuevos cazadores de microbios

Biotechnological importance of the biodiversity. The new hunters of microbes

Judith Piñero Bonilla

Universidad Nacional Experimental “Simón Rodríguez”, Ingeniería de Alimentos. Carretera Bejuma-Urama, Sector Los Naranjos, Parroquia Canoabo, Municipio Bejuma, Estado Carabobo, Venezuela.

Correspondencia: unescanoabo@gmail.com

Aceptado 20-Diciembre-2013

Resumen

El objetivo de este trabajo está orientado a destacar la importancia biotecnológica de los microorganismos con especial referencia al área alimentaria y agrícola, en el contexto histórico y latinoamericano. Los microorganismos han sido recursos valiosos para la humanidad desde que el hombre comenzó a producir sus alimentos artesanalmente incorporando los procesos fermentativos para la transformación de las materias primas o consumiéndolos directamente. Ya en el siglo XIX, con la ayuda del microscopio se empiezan a entender los principios que rigen estos bioprocesos y los estudios posteriores permitieron determinar la utilidad de los microorganismos y su potencial económico para la producción de insumos comercializables, lo que condujo al desarrollo de la microbiología industrial, la base de la biotecnología, la cual se ha ido fortaleciendo con el uso de las herramientas de la ingeniería genética y de las técnicas de la biología molecular con las que se ha podido detectar e identificar una gran variedad de microorganismos incluso de ambientes extremos en los que los métodos de cultivo convencionales han fallado. El potencial encontrado en la biodiversidad es parte de una importante actividad científica conocida como bioprospección, para seleccionar los microorganismos con características que le confieran valor comercial. De esta manera, la búsqueda se ha dirigido principalmente hacia los organismos productores de insumos agrícolas, farmacológicos y alimentarios así como su aplicación en actividades de biorremediación. En este sentido, los microorganismos representan un aporte significativo para la ciencia y la economía de los países latinoamericanos, por lo que algunos de ellos y según sus necesidades, han desarrollado líneas

de investigación en bioprospección microbiana como parte de las políticas en materia de ciencia y tecnología.

Palabras claves: bioprocesos, bioprospección, biotecnología, microbiodiversidad, microbiología industrial, países latinoamericanos.

Abstract

The objective of this work is aimed at highlighting the biotechnological importance of microorganisms with special reference to food and agricultural area in the Latin American and historical context. The microorganisms have been valuable resources for humanity since man began to produce their traditionally-made food incorporating the fermentation processes for the processing of raw materials or consuming them directly. In the 19th century with the aid of the microscope it began to understand the principles that govern these bioprocesses and the subsequent studies allowed to determine the usefulness of microorganisms and their economic potential for the production of tradable inputs which led to the development of industrial microbiology, the biotechnology basis which has been strengthened with the use of the tools of genetic engineering and molecular biology techniques that has been able to detect and identify a wide variety of microorganisms even in extreme environments in which conventional culture methods have failed. The potential found in the microbiodiversity is part of an important scientific activity known as bioprospecting to select microorganisms with characteristics that confer them market value. In this way, the search has been directed mainly towards inputs agricultural, pharmacological and food-producing organisms as well as its application in bioremediation activities. In this sense, the microorganisms represent a significant contribution to the science and the economy of the Latin American countries, so some of them and according to their needs, have developed lines of research in microbial prospecting as part of the policies in the field of science and technology.

Key words: bioprocesses, bioprospecting, biotechnology, industrial microbiology, Latin American countries, microbiodiversity.

INTRODUCCIÓN

La obra “Los Cazadores de Microbios” escrita por Paul de Kruif en 1926, es considerada hoy día un clásico en su género, en ella hizo una reseña de personajes vinculados al mundo de la microbiología, sus hallazgos y aportes al desarrollo del conocimiento médico. Sin embargo, el autor también se refirió al descubrimiento de las levaduras como agentes responsables de los procesos de fermentación en la obtención de bebidas alcohólicas en cuyo estudio participaron independientemente Louis Pasteur y Cagniard de la Tour; no obstante, los

aportes de Pasteur fueron mayores ya que incluyeron la fermentación láctica y butírica (de Kruif, 1976).

Los avances microbiológicos alcanzados 87 años después de publicado ese libro han sido impresionantes, no solo en el desarrollo de vacunas y medicamentos para combatir las enfermedades de origen microbiano, sino también en el conocimiento que durante todo este tiempo se ha acumulado acerca de las bondades de los microorganismos como recursos biológicos valiosos para la humanidad en diferentes actividades de producción y servicios que fue conformando un nuevo campo

de estudio que ahora se conoce como Biotecnología. Además, los avances de la ingeniería genética han abierto nuevas posibilidades en el mejoramiento de las características de estos organismos, convirtiéndose los genes, de esta manera, en el blanco de los investigadores que los buscan en la biodiversidad, transformándose ahora en los nuevos cazadores de microbios.

Los registros históricos señalan el uso artesanal de las fermentaciones microbianas para la obtención de alimentos así como el consumo de microorganismos y el empleo de fuentes portadoras de antibióticos en culturas muy antiguas, por lo que algunos autores consideran que la Biotecnología es una práctica antigua (Wong-Paz *et al.*, 2011). Otros en cambio, no conciben las fermentaciones artesanales como procesos biotecnológicos porque no se sustentan en conocimientos científicos, no se controlan las condiciones de operación ni se utilizan microorganismos seleccionados (García-Garibay *et al.*, 2004). En otros casos, se suele dividir la Biotecnología como tradicional y moderna, ésta última relacionada con el uso de la ingeniería genética (Crueger y Crueger, 1993).

Cualquiera que sea la posición de los biotecnólogos, está claro que los microorganismos han sido utilizados como fuente de alimento o como agentes transformadores de materias primas para la elaboración de productos alimenticios desde las culturas más antiguas hasta nuestros días. Por otra parte, el desarrollo y el perfeccionamiento de métodos y técnicas de detección e identificación de microorganismos así como la disponibilidad de equipos y tecnología, muy especialmente la bioinformática, han permitido alcanzar grandes logros en materia de Biotecnología Microbiana, despertando cada vez más el interés en el estudio de los organismos extremófilos, los que han venido demostrando amplia aplicación en la industria farmacológica, alimentaria y agrícola. Por ello, los investigadores se han dedicado a la búsqueda de nuevos microorganismos en

ecosistemas de aguas termales, zonas glaciares, sedimentos marinos, entre otros, realizando un tamizaje para seleccionar a aquellos con propiedades metabólicas útiles de interés económico.

Desde hace varios años, a la pesquisa que se lleva a cabo en ambientes extremos y no extremos se le ha venido denominando bioprospección y como tal aparecen identificadas algunas líneas de investigación y sus proyectos. Sin embargo, con el mismo propósito también se han realizado otras investigaciones que no reciben esta designación. En este sentido, para los fines de este trabajo se utilizará el término bioprospección de manera general para incluir todos aquellos estudios que tienen como finalidad la búsqueda de microorganismos biotecnológicamente útiles. En este contexto, el objetivo del trabajo estuvo dirigido a exponer algunos avances en materia de bioprospección microbiana especialmente en los países latinoamericanos, presentando varios estudios concretos mediante una búsqueda documental en diferentes medios impresos y digitales, no obviando la vinculación histórica que en algunas secciones se hizo necesaria.

CONTENIDO

- 1.- Algunos datos históricos
- 2.- Biodiversidad
- 3.- Usos biotecnológicos de los microorganismos
- 4.- Bioprospección
 - 4.1.- Bioprospección en países latinoamericanos
 - 4.2.- Centroamérica y México
 - 4.3.- Suramérica
- 5.- La nota curiosa: ¿Arte microbiano?

REVISIÓN DE LA LITERATURA

1.- Algunos datos históricos

Wong-Paz *et al.* (2011) hacen una interesante revisión documental en el contexto

histórico de la Biotecnología de las Fermentaciones. Los registros en escrituras y grabados antiguos han permitido, en algunos casos suponer, en otros conocer con certeza, las prácticas fermentativas que desarrollaron pueblos muy antiguos principalmente con fines alimentarios desde 10.000-9.000 a. C. A partir de este época, las civilizaciones establecidas en Siria, Egipto, Sumeria, Babilonia y China producían bebidas alcohólicas (vino, cerveza, entre otras), vinagre, derivados lácteos (queso, yogurt, kéfir) y pan, entre otros productos fermentados, los que aún hoy día se continúan elaborando tanto artesanal como industrialmente. Se cree que el queso se empezó a elaborar hace 5.000 a. C., así como también que fueron los egipcios quienes desarrollaron la panificación usando las levaduras procedentes de la fermentación alcohólica para la obtención de la cerveza (6.000-5.000 a. C.). Algunas escrituras adquieren relevancia como documentos históricos al aportar información en este campo, de esta forma, el antiguo y nuevo testamento sugieren la producción de vinagre entre 1.500 a. C. y 250 d. C., y en las escrituras en sánscrito, de la India (Los Vedas), se describe un derivado lácteo semejante al yogurt. Igualmente, el kéfir es un derivado de la leche fermentada que tuvo su origen en Asia Central y que actualmente se sigue produciendo. Por otro lado, en el caso de China, se han hecho referencias sobre las prácticas de destilación de bebidas alcohólicas así como la producción de queso y yogur en el año 4 d. C.

En esta breve referencia histórica, se debe mencionar que también las antiguas civilizaciones americanas tuvieron su protagonismo en la utilización de los procesos fermentativos artesanales e incluso en el consumo de microorganismos con fines alimenticios y posiblemente medicinales. En este sentido, Wong-Paz *et al.* (2011) hacen alusión a los mexicas en Mesoamérica entre 1200-1521 d. C., quienes produjeron bebidas alcohólicas como el pulque, el pozol y el

tequila; igualmente, existen referencias del consumo del alga *Spirulina* (cianofícea) con la que elaboraban un alimento llamado “tecuitlatl” en tiempos prehispánicos, y que, junto con otras microalgas, actualmente son valiosas no solo como fuente de alimento sino también de compuestos naturales (Ramírez-Moreno y Olvera-Ramírez, 2006). Desde hace siglos, los habitantes del Lago Chad en África también han consumido el alga *Spirulina* (Ponce-López, 2013). Cabe mencionar un producto alimenticio conocido como “cuitlacochin” o “huitlacoche”, a base del hongo *Ustilago maydis* producido en las mazorcas de maíz (*Zea mays*) consumido desde el tiempo de los aztecas (Juárez-Montiel *et al.*, 2011; Pimentel-González *et al.*, 2011). En todas estas prácticas de naturaleza artesanal, aún sin el conocimiento científico, se dio el inicio de una selección rudimentaria de microorganismos útiles para un fin específico lo que fue dando origen al transcurrir el tiempo a colecciones biológicas valiosas.

Otros pueblos prehispánicos de las Antillas y Suramérica también incorporaron a su cultura los procesos fermentativos muy especialmente para la elaboración de bebidas fermentadas con alto significado religioso y social. Este es el caso de la chicha, de la que Pardo-B. (2004) hizo una revisión relevante señalando el origen incierto de este vocablo pero que al parecer fue difundido por los españoles desplazando las denominaciones locales. Como chicha se conoce, en general, las bebidas fermentadas de bajo contenido alcohólico (3-7°) que preparaban las culturas precolombinas a partir de diferentes rubros (cereales, tubérculos, raíces, frutas, entre otros), dependiendo de lo que cada pueblo producía; la chicha elaborada a partir del maíz era la más extendida. Según la materia prima empleada y la tradición, el sustrato era pretratado antes de someterlo a la fermentación espontánea en la cual intervenían las levaduras; el producto así obtenido era utilizado con fines nutricionales y medicinales. Aunque actualmente la chicha se continúa fabricando ya no es una práctica tan común y se

han ido perdiendo las implicaciones culturales de los pueblos prehispánicos.

Pasando ahora a las propiedades medicinales de los microorganismos, uno de los ejemplos de las prácticas artesanales lo encontramos en el empleo del pan enmohecido para sanar heridas infectadas ya que estaba impregnado de los antibióticos producidos por el hongo que crecía en él (Wong-Paz *et al.*, 2011). El principio de antibiosis fue descrito en el siglo XIX por Louis Pasteur (1822-1895), sin embargo, este no tuvo mucho impacto en el ámbito científico; para algunos, la verdadera historia comienza con el descubrimiento accidental de la penicilina por Alexander Fleming (1881-1955) en 1928, que dio inicio a la era de los antibióticos (Wilmot *et al.*, 2011). Lo que sí se le reconoce a Pasteur es haber sido el pionero en los estudios que demostraron la utilidad de los microorganismos en procesos industriales como la elaboración de la cerveza (Maguiña-Vargas, 1996), aunque Wong-Paz *et al.* (2011) señalan que las bases científicas de la fermentación se comienzan a definir a partir de la alquimia con la que se iniciaron los estudios químicos de laboratorio y hacen su aparición equipos como los alambiques y prácticas de destilación.

En el contexto histórico ya han sido bien documentadas las distintas etapas de la evolución de la microbiología y sus áreas de competencia. En este sentido, generalmente se reseñan los hallazgos que tuvieron un impacto científico significativo y siempre encontraremos como primera referencia el descubrimiento de los microorganismos por Anthon van Leeuwenhoek (1632-1723) quien al diseñar un microscopio rudimentario logró observarlos (Miranda-C., 2009). Es así como esta contribución a la ciencia hizo posible algunos de los logros alcanzados para establecer los principios científicos de los procesos fermentativos a finales del siglo XIX. Ya en el siglo XX, la microbiología adquirió grandes progresos y el reconocimiento de los microorganismos útiles al hombre comenzó a

tener relevancia económica para algunos países debido a los insumos comercializables que se podían obtener de ellos. De esta forma, la Microbiología Industrial se abrió paso convirtiéndose en la base de la Biotecnología y brindando la oportunidad de concebir nuevas líneas de investigación en espacios académicos y científicos; igualmente, condujo a la creación de industrias biotecnológicas y con ellas nuevas fuentes de trabajo, destacando aquellas productoras de enzimas de amplia aplicación, especialmente en la industria alimentaria con alta demanda de hidrolasas lo que permitió el desarrollo de nuevos productos y el mejoramiento de otros con excelente control de los bioprocesos, campo de aplicación que se nutrió de los aportes procedentes de la investigación en tecnología enzimática.

La Biotecnología ha sido tema de controversias en ciertos aspectos, por un lado, ha recibido varias definiciones, algunas de las cuales también han sido discutibles y que, en parte, han dependido de su evolución y los métodos y técnicas que se han incorporado a ella. Igualmente, este campo de estudio ha sido objeto de críticas no favorables, especialmente por su fin económico más que humanista. Entre las diferentes definiciones, desde el origen de este término en los años 70, Hernández-Fonseca (2010) propone redefinir la Biotecnología como “una amplia área del conocimiento moderno que combina de manera innovadora la biología y la ingeniería en procesos que, aplicados sobre organismos vivos, sus tejidos, células o partes generan bienes, servicios o conocimientos que promoverán el bienestar de la humanidad”. Lo cierto es, utilizando la expresión de Wong-Paz *et al.* (2011), que la Biotecnología representa “la evolución de un arte a una ciencia” y que a lo largo de este recorrido se ha ido constituyendo en un área de investigación que se nutre de los conocimientos básicos y aplicados de otras disciplinas por lo que se le considera más de carácter multidisciplinar que interdisciplinar pero de amplio espectro de aplicación, siendo un ejemplo la industria

alimentaria en la que algunos procesos biotecnológicos se emplean para la transformación, producción y conservación de varios alimentos así como para la obtención de ciertas materias primas y aditivos, la realización de análisis y control de calidad.

Este escenario de la ciencia y la tecnología tiene como protagonistas principales a los microorganismos, unos que han venido pasando por un largo proceso de selección y mejoramiento genético, otros de descubrimiento más reciente y con valiosas propiedades con amplia aplicación en diferentes áreas de la producción industrial y de servicios, y aquellos que aún faltan por descubrir en los microhábitats más recónditos, inexplorados e inimaginables pero que pueden albergar una importante biodiversidad.

2.- Microbiodiversidad

La biodiversidad desde una concepción biológica se ha clasificado en tres niveles: diversidad genética, diversidad de especies y diversidad de ecosistemas que involucran no solo a los organismos que se pueden ver a simple vista sino también a las formas de vida microscópica. Dentro de esta biodiversidad destacan los procariontes cuyos registros fósiles se remontan a 3500 millones de años señalándolos como los organismos más antiguos encontrados en La Tierra y a partir de los cuales evolucionó una gran diversidad de otros seres unicelulares con mecanismos fisiológicos que les permitieron ocupar espacios de amplio rango de condiciones físicas y químicas, incluso ambientes extremos en los que no podrían existir formas de vida superior (Graham, 2007).

Los procariontes están conformados por los dominios Bacteria y Archaea que poseen una alta diversificación en sus estrategias metabólicas (fotosintéticos, quimioautótrofos, fotoheterótrofos y quimioheterótrofos). Archaea ha recibido una atención particular debido a la capacidad de supervivencia que exhibe en

ambientes con temperaturas y pH extremos, alta salinidad, presión y concentración de metales tóxicos, entre otros, por lo que suele denominarseles como organismos extremófilos (termófilos, psicrófilos, alcalófilos, acidófilos, halófilos, piezófilos, entre otros). Sin embargo, al respecto es conveniente aclarar la concepción de la expresión “ambientes extremos” como lo señalan Ramírez-D. *et al.* (2006):

“...es un término relativo, ya que los ambientes que pueden ser extremos para un organismo, pueden ser esenciales para la supervivencia de otro organismo. Los extremófilos se desarrollan bajo condiciones que podrían matar a la mayoría de otras criaturas y muchos no pueden sobrevivir en los ambientes considerados globalmente como normales”.

No obstante, las arqueas no son las únicas en ocupar microhábitats extremos, se han encontrado protozoarios acidofílicos como *Euglena mutabilis* (Puente *et al.*, 2013); por otro lado, un microorganismo puede exhibir adaptación a 2 condiciones extremas (poliextremófilos) (REDEX, 2013), como por ejemplo, las arqueas haloalcalófilas adaptadas a vivir en ambientes salinos y con pH altos (*Natronorubrum sediminis*, *Halorubrum aquaticum* y *Natronococcus roseus*) aisladas de lagos hipersalinos (Corral *et al.*, 2013) o las termoacidófilas que sobreviven a altas temperaturas y pH ácidos. Igualmente, hay que señalar que existen microorganismos ocupando los espacios bajo condiciones extremas que aunque las toleran no son las requeridas para alcanzar su desarrollo óptimo, en cuyo caso se les suele designar como extremotrofos (REDEX, 2013).

En la evolución de la biodiversidad fueron apareciendo organismos como los protozoarios, hongos y microalgas (diferentes a las cianofíceas pertenecientes al dominio Bacteria), que se clasificaron dentro de los eucariontes por ciertas características estructurales comunes que comparten, aun cuando no muestran la alta capacidad adaptativa a los “ambientes

extremos” como Archaeae, se observa diversidad metabólica, particularmente los hongos que pueden degradar complejas moléculas poliméricas naturales que se encuentran en la naturaleza (Madigan *et al.*, 1997).

Justamente, este conjunto de estrategias metabólicas desplegadas por los microorganismos les ha permitido transformar y acondicionar los ecosistemas para el asentamiento de otros seres vivos, participando en la descomposición y reciclaje de compuestos orgánicos e inorgánicos. Es por ello, que la microbiota se ha constituido en el sostén de la vida sobre La Tierra. No obstante, la supervivencia de algunos ellos depende de su capacidad para vivir a expensas de otros seres vivos, llegando a convertirse en formas patógenas que en ocasiones son motivo de preocupación por la incidencia de enfermedades en el hombre, animales y plantas que pueden provocar la muerte, así como también pérdidas económicas importantes. Algunos patógenos pueden adquirirse a través del contacto entre humanos y con animales o ingiriendo alimentos y agua contaminados, teniendo la capacidad de mutar transformándose en formas con mayor patogeneicidad que las que le dieron origen como también hacerse resistente a los antibióticos (Madigan *et al.*, 1997; Rosenblatt-Farrell, 2009). En otros casos pueden encontrarse en el ambiente en forma de vida libre pero con el potencial de infectar a sus huéspedes si se dan las condiciones y la oportunidad (Oddó-B., 2006).

La distribución ecogeográfica de los organismos de vida libre es amplia, es común encontrarlos en ecosistemas edáficos y acuáticos, tanto naturales como antrópicos, con diferentes grados de fertilidad; en relación simbiótica forman parte de la microflora natural de ciertos vertebrados e invertebrados así como de las plantas (Graham, 2007); integran comunidades complejas como los tapetes microbianos que se desarrollan en ambientes marinos, aguas termales, desiertos y suelos

antárticos (Demergasso *et al.*, 2003; Martínez-Alonso y Gaju, 2005). Igualmente, se les ha aislado de suelos contaminados con petróleo y grandes contenidos de metales altamente tóxicos como el Mg, Fe, Cr, Co y Ni así como de aguas residuales (Stratton *et al.*, 1996; Saintpierre-Bonaccio *et al.*, 2004; Piñero-Bonilla y Escalante, 2009); se les ha descubierto en monumentos de piedra erosionados lo que sugiere su biodegradación (Palla *et al.*, 2002); en tumbas antiguas y en espacios subterráneos como las cuevas en las que junto con otros agentes participan en su formación, no obstante, se pueden constituir en contaminante indeseables al destruir obras de gran valor histórico-cultural creadas por los pobladores prehistóricos que habitaron en estas cavernas (Jurado *et al.*, 2008). Como ejemplo, en el Cuadro 1 se resume el caso de varias especies de *Nocardia*, un género de actinomicetos muy estudiado desde el punto de vista clínico y con representantes de vida libre aislados de diferentes microhábitats (Serrano y Sandoval y Trujillo, 2005; Piñero-Bonilla, 2013).

La impresionante ocupación microbiana de áreas bajo condiciones extremas, algunas de las cuales son comparables a las encontradas en otros sistemas planetarios, como es el caso de Marte, ha sido una referencia para sugerir que de haber existido o de existir vida en ellos, esta estaría representada por microorganismos; los meteoritos que han llegado a la Tierra dan indicios también de que esto sería posible. Los avances tecnológicos en materia espacial han permitido traspasar las fronteras de La Tierra en busca de respuestas (Segura, 2010). Sin embargo, la abundancia y distribución microbiana dependen de varios factores microambientales tales como la naturaleza y cantidad de la materia orgánica, la profundidad en el suelo, el pH, la aireación y la humedad; inclusive, es relevante la relación microorganismo-planta ya que en algunos casos se establecen interacciones simbióticas y, en otros, porque los exudados vegetales

Cuadro 1.- Distribución ecogeográfica de varias especies del género *Nocardia* (actinomicetos).

Especie	Microhábitat	Fuente
<i>N. salmonicida</i>	Patógenos de peces	Isik <i>et al.</i> (1999)
<i>N. crassostreae</i>	Patógenos de moluscos	Friedman <i>et al.</i> (1998)
<i>N. rhamnophila</i>	Biofertilizantes	Everest <i>et al.</i> (2011)
<i>Nocardia</i> spp.	Estiércol de aves de corral	Piñero-Bonilla y Rivas (2004)
<i>N. coubleae</i>	Suelos contaminados con petróleo	Rodríguez-Nava <i>et al.</i> (2007)
<i>N. farcinica</i>	Aguas residuales	Stratton <i>et al.</i> (1996)
<i>N. gamkensis</i>	Arena de río	le Roes y Meyers (2006)
<i>N. grenadensis</i> , <i>N. harenae</i>	Arena de playa	Kämpfer <i>et al.</i> (2012), Seo y Lee (2006)
<i>N. neocaledoniensis</i>	Suelos ultramáficos	Saintpierre-Bonaccio <i>et al.</i> (2004)
<i>N. restricta</i>	Monumentos de piedra	Palla <i>et al.</i> (2002)
<i>N. altamirensis</i> , <i>N. jejuensis</i> , <i>N. speluncae</i>	Cuevas	Jurado <i>et al.</i> (2008), Lee (2006), Seo <i>et al.</i> (2007)
<i>Nocardia</i> sp.	Lagunas de altura (Andes Suramericanos)	Heredia <i>et al.</i> (2005), Ferrer <i>et al.</i> (2011)
<i>N. artemisiae</i> (endofítica)	Tallo de <i>Artemisia annua</i> L.	Zhao <i>et al.</i> (2011)
<i>N. callitridis</i> (endofítica)	Raíz de <i>Callitris preissii</i>	Kaewkla y Franco (2010)
<i>N. endophytica</i> (endofítica)	Semillas de <i>Jatropha curcas</i> L.	Xing <i>et al.</i> (2011)
<i>N. jiangxiensis</i> , <i>N. miyunensis</i>	Suelos ácidos (pH = 3,5-5,5)	Cui <i>et al.</i> (2005)
<i>N. tenerifensis</i> , <i>N. iowensis</i> , <i>N. globerula</i> , <i>N. vinacea</i>	Suelo	Mukai <i>et al.</i> (2009), Lamm <i>et al.</i> (2009), Kumar <i>et al.</i> (2006), Kinoshita <i>et al.</i> (2001)
<i>N. carnea</i> , <i>N. flavorozea</i>	Sedimentos marinos	Becerril-Espinosa <i>et al.</i> (2012)

pueden ser fuente de nutrientes para los microorganismos, influyendo de esta manera sobre las poblaciones microbianas, lo que explica la mayor abundancia y actividad en la rizosfera (Carcaño-Montiel *et al.*, 2006; Peña y

Reyes, 2007).

El uso de las técnicas moleculares para la detección e identificación de los microorganismos ha permitido conocer la verdadera importancia de la biodiversidad

genética en la sostenibilidad de los ecosistemas. En este sentido, los microorganismos favorecen la fertilidad de los suelos a través de varios mecanismos, siendo el más importante la degradación de la materia orgánica y el reciclaje de los nutrientes, la fijación del nitrógeno atmosférico mediante relaciones simbióticas con las plantas y la producción de moléculas promotoras del crecimiento vegetal. Algunos organismos ejercen el control de fitopatógenos (relaciones antagónicas) produciendo sustancias tóxicas o actuando como microparásitos. El hallazgo de microorganismos capaces de crecer en suelos y aguas contaminadas principalmente con hidrocarburos como el petróleo, los convirtió en recursos biológicos útiles para la biorremediación de estos ecosistemas (Piñero-Bonilla y Escalante, 2009). Igualmente, participan en el tratamiento depurador de las aguas residuales con alto contenido orgánico.

El descubrimiento de esta capacidad metabólica natural de la microbiota para utilizar una amplia variedad de sustratos naturales y xenobióticos, brindó las bases para iniciar una labor investigativa conducente a explorar las potencialidades de los microorganismos con fines industriales, fortaleciéndose con el uso de la ingeniería genética para la modificación de los organismos y así mejorar sus propiedades, entre ellas, la eficiencia para llevar a cabo los procesos a los que están destinados en la obtención de insumos biológicos de importancia comercial. Este mismo recurso genético no solo ha permitido modificar organismos sino también sintetizar moléculas y crear células, de aquí la derivación de otra nueva área científica, la Biología Sintética, también controversial y cuyo principal blanco son los genes (Schmidt, 2010).

3.- Usos biotecnológicos de los microorganismos

La Biotecnología Microbiana se ha diversificado en cuanto a sus objetivos, sin

embargo, siempre se ha enfocado en dar solución a 2 problemas mundiales, la demanda energética y de fuentes alimenticias proteicas. Existe una extensa literatura que recoge la información sobre los aspectos bioquímicos, tecnológicos, microbiológicos y genéticos considerados con fines biotecnológicos que no se trataran en este trabajo ya que el principal objetivo está dirigido a resaltar la importancia de los microorganismos, especialmente su aplicación en el área agroalimentaria con las nuevas tendencias de investigación. En este sentido, en el Cuadro 2 se resumen los principales procesos en los que son o pueden ser utilizados los microorganismos haciendo referencia a algunos estudios específicos.

El uso de los procesos fermentativos en la producción de alimentos es la práctica más antigua, como se reseñó anteriormente, y la más extendida actualmente para la producción de bebidas alcohólicas, derivados lácteos y cárnicos, productos vegetales y de panificación. La diversidad de productos obtenidos y de microorganismos utilizados en estas áreas es amplia y en las cuales han sido perfeccionados los métodos y técnicas de procesamiento de las diferentes materias primas empleadas así como la selección y mejoramiento genético de las cepas microbianas que constituyen valiosos recursos económicos para aquellos países que poseen industrias alimentarias consolidadas. El desarrollo de algunos de estos productos igualmente está influenciado por la historia, costumbres y cultura regionales. Sobre este tema, Leveau y Bouix (2000) hicieron una importante recopilación de la aplicación de los microorganismos de interés industrial con la información existente hasta la publicación de su obra, en la cual resalta el uso de las levaduras y las bacterias ácido lácticas en la producción de alimentos.

Por otro lado, las tendencias en el uso de los microorganismos como alimento para consumo humano y animal incluyen, además de las cualidades nutricionales, las propiedades funcionales, muy particularmente de naturaleza

Cuadro 2.- Aplicaciones biotecnológicas de los microorganismos.

Aplicaciones	Microorganismos	Fuente
Producción de biomasa		
Fuente de proteínas (PUC)	<i>Kluyveromyces marxianus</i> (consumo animal) <i>Chlorella vulgaris</i> (consumo humano y animal) <i>Nocardia</i> sp.	Zumbado-Rivera <i>et al.</i> (2006) Andrade <i>et al.</i> (2007) Piñero-Bonilla y Díaz (2010), Piñero-Bonilla (2012)
Probióticos	<i>Streptomyces albus</i> , <i>S. griseus</i> (en aves) <i>Streptomyces</i> sp. (en peces y crustáceos) <i>Lactobacillus</i>	Safalaoh (2006) Dharmaraj y Dhevendaran (2010), Suguna y Rajendran (2012) Parra-Huertas (2010)
Potenciadores del sabor	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Otero y Cabello (2010), Otero <i>et al.</i> (2011)
Inóculos		
Producción de bioinsecticidas	<i>Trichoderma</i>	Infante <i>et al.</i> (2009)
Producción de factores del crecimiento vegetal	<i>Azospirillum brasilense</i> , <i>Klebsiella</i> (fijadoras de nitrógeno), <i>Glomus intraradice</i> (hongo micorrítico)	Abril <i>et al.</i> (2006), Carcaño-Montiel <i>et al.</i> (2006), Peña y Reyes (2007), Aguirre-Medina <i>et al.</i> (2011)
Producción de biodiesel	Microalgas oleaginosas	Loera-Quezada y Olguín (2010)
Producción de bebidas alcohólicas	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Zymomonas</i>	Leveau y Bouix (2000)
Producción de derivados lácteos	<i>Kluyveromyces</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>Bifidobacterium</i>	Leveau y Bouix (2000)
Producción de derivados cárnicos	<i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , <i>Penicillium</i>	Leveau y Bouix (2000)
Productos vegetales	<i>Lactobacillus</i>	Leveau y Bouix (2000)
Panificación	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Lactobacillus</i>	Leveau y Bouix (2000)
Derivados fermentados de la soya	<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>A. flavus</i> , <i>Lactobacillus</i> , levaduras	Leveau y Bouix (2000)

Cuadro 2.- Continuación.

Aplicaciones	Microorganismos	Fuente
Preparación y conservación de alimentos	Bacterias ácido lácticas	Parra-Huertas (2010), Jaramillo-Giraldo <i>et al.</i> (2010)
Producción de insumos alimentarios y farmacológicos		
Ácidos orgánicos	<i>Propionibacterium</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Lactococcus</i> , <i>Acetobacter</i> , <i>Aspergillus</i>	Parra-Huertas (2009)
Aminoácidos		Leuchtenberger <i>et al.</i> (2005)
Enzimas		Castellanos <i>et al.</i> (2006)
α-amilasa	<i>Bacillus subtilis</i>	
Glucoamilasa	<i>Aspergillus niger</i>	
Amilasa	<i>Bacillus stearothermophilus</i>	
Exopolímeros	<i>Anabaena</i> sp., <i>Grifola frondosa</i>	Morales <i>et al.</i> (2002), Zapata <i>et al.</i> (2007)
Pigmentos	<i>Phaffia rhodozyma</i> , <i>Rhodotorula gracilis</i>	Otero <i>et al.</i> (2011)
Producción de sustancias bioactivas	<i>Streptomyces</i>	Leveau y Bouix (2000)
Biotransformación	<i>Nocardia corallina</i>	Ramírez-L. <i>et al.</i> (2009)
Producción de biosurfactantes	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Sastoque-Cala <i>et al.</i> (2010)
Producción de alcoholes y disolventes	<i>Zymomonas mobilis</i> , <i>Clostridium</i>	Leveau y Bouix (2000)
Producción de biocombustibles	<i>Candida utilis</i> (bioetanol)	Bardales-Vásquez <i>et al.</i> (2011)
Biorremediación		Piñero-Bonilla y Escalante (2009)
Biolixiviación	Consortio: <i>Leptospirillum</i> , <i>Acidithiobacillus</i> , <i>Acidianus</i> , <i>Metallosphaera</i> , <i>Sulfolobulus</i>	Lima <i>et al.</i> (2012)
Depuración de aguas residuales		
Celdas de combustible microbianas	<i>Shewanella oneidensis</i> , <i>Geobacter metallireducens</i> , <i>Geobacter sulfurreducens</i>	Pistonesi <i>et al.</i> (2010)

Cuadro 2.- Continuación.

Aplicaciones	Microorganismos	Fuente
Tratamiento de residuos sólidos urbanos y agrícolas		
Compostaje	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i>	Cariello <i>et al.</i> (2007)
Eliminación de sustancias tóxicas y causantes de malos olores		
Biofiltros	<i>Pseudomonas putida</i> , <i>Thiobacillus denitrificans</i> , <i>Thiobacillus thiooxidans</i> , <i>Chlorobium limicola</i>	Varnero <i>et al.</i> (2012)

terapéutica y, en este aspecto, destacan los probióticos. Con esta doble función, las bacterias ácido lácticas han mostrado ser muy beneficiosas. El aspecto nutricional de los microorganismos no sólo se refiere a su aporte proteico por lo que comúnmente se les conoce como proteína unicelular (PUC) sino también por el suministro de vitaminas y aminoácidos procedentes de la hidrólisis proteica o producción bacteriana. Adicionalmente, la elaboración de derivados lácteos mediante fermentación láctica reduce el contenido de lactosa y los hace aptos para el consumo por personas que padecen intolerancia a este azúcar. Las propiedades terapéuticas atribuidas a los probióticos consumidos a través de los alimentos implican un mejor tránsito intestinal, inhibición de patógenos y de la proliferación de células cancerígenas, defensa inmunitaria y la reducción del contenido de colesterol en la sangre (Parra-Huertas, 2010).

Entre otros fines de la producción de biomasa microbiana se encuentra su empleo como inóculos con diferentes propósitos: obtención de productos agrícolas, tratamiento de aguas residuales, residuos urbanos y

agrícolas, eliminación de malos olores con biofiltros y biorrecuperación de ecosistemas. En el área agrícola pueden ser utilizados para la producción de biofertilizantes, como biocontroladores de patógenos o promotores del crecimiento vegetal. La inoculación de semillas con 1 o 2 microorganismos fijadores de nitrógeno es una práctica importante en la biotecnología agrícola para promover el crecimiento vegetal. Este tipo de microorganismos ejerce su acción en la rizosfera de las plantas, por ello, su aislamiento y análisis se hace en esta área del suelo (Carcaño-Montiel *et al.*, 2006; Peña y Reyes, 2007).

Los microorganismos pueden producir insumos que son de uso común para la industria alimentaria y la farmacológica (ácidos orgánicos, aminoácidos, biosurfactantes, enzimas, exopolímeros, pigmentos, entre otros), algunos de los cuales como es el caso de los pigmentos y específicamente de los carotenoides, pueden ser empleados con diferentes fines: colorantes alimentarios, antioxidantes y precursores vitamínicos (Otero *et al.*, 2011). La producción de sustancias

bioactivas como los antibióticos (antibacterianos y antifúngicos) se encuentran entre los insumos farmacológicos de mayor producción y demanda los cuales se han obtenido en un alto porcentaje a partir de los actinomicetos, principalmente de especies del género *Streptomyces*. Otros compuestos bioactivos de origen microbiano incluyen los esteroides, antiparasitarios, anticancerígenos, inmunodepresores, antiinflamatorios, vitaminas, hormonas e inhibidores de enzimas perjudiciales (Leveau y Bouix, 2000). El espectro de sustancias farmacológicas se puede ampliar mediante la biotransformación de moléculas al emplear las células microbianas enteras como organismos catalizadores en reacciones de conversión de ciertas moléculas orgánicas (intermediarias o precursoras) en otras biológicamente activas. Con esta finalidad, entre las actinobacterias ha sido utilizada *Nocardia corallina* (Ramírez-L. *et al.*, 2009).

En algunas de estas aplicaciones microbianas se utilizan los residuos agroindustriales y agrícolas principalmente como fuente de carbono para la preparación de los medios de cultivo. Uno de los aspectos relevantes de la Biotecnología ha sido la valorización de estos residuos aportando alternativas de aprovechamiento para materias orgánicas subutilizadas o en algunos casos desechadas generando problemas de contaminación ambiental (Saval, 2012). Los residuos de mayor importancia empleados en los bioprocesos han sido los de naturaleza lignocelulósica que se generan en mayor cantidad, entre cuyos usos se incluye la producción de biomasa microbiana y enzimas con fines alimenticios y biocombustibles.

Los subproductos de origen animal también han sido evaluados y empleados, tal es el caso del lactosuero del que Parra-Huertas (2009) hizo una extensa revisión de sus aplicaciones entre las cuales se encuentra su aprovechamiento biotecnológico como sustrato de fermentación para la obtención de bebidas

alcohólicas y fermentadas, proteína unicelular, probióticos, enzimas, exopolisacáridos y diversos ácidos orgánicos, entre otros (Cuadro 3).

Detrás de toda esta labor biotecnológica ha existido una importante investigación básica de la que no se puede prescindir y que ha involucrado el aislamiento de microorganismos a partir de diferentes microhábitats y, con ello, la oportunidad de desarrollar estrategias dirigidas hacia la selección de un determinado grupo metabólico según los objetivos buscados. Actualmente, con las técnicas de ingeniería genética y la biología molecular como recursos auxiliares de la biotecnología, el interés en los microorganismos aislados se centra en los genes útiles, los cuales pueden ser manipulados para obtener organismos modificados ideales para los fines que se persiguen con ellos. La trascendencia científica de la microbiodiversidad, ha diversificado los espacios de la investigación hacia la creación de líneas y proyectos que se han venido catalogando dentro del tema de la bioprospección.

4.- Bioprospección

Duarte *et al.* (2006) señalan que la palabra bioprospección empezó a utilizarse a comienzos de los años noventa en relación con la biodiversidad pero se deriva del término prospección usado en operaciones de exploración minera. La bioprospección ha recibido varias definiciones y ha sido un tema de controversias por las prácticas utilizadas, en algunos casos, para la obtención de las especies animales y vegetales de interés así como del conocimiento asociado a ellas, principalmente en las regiones tropicales de Latinoamérica (Herrera-Vásquez y Rodríguez-Yunta, 2004). Carrizosa (2000) la define más ampliamente como “búsqueda de materia viva con propiedades medicinales, industriales, farmacológicas y biotecnológicas, con marcadas implicaciones sociales, culturales,

Cuadro 3.- Aprovechamiento del lactosuero como sustrato de fermentación.

Productos obtenidos	Microorganismos	Fuente*
Bebidas alcohólicas	<i>Kluyveromyces marxianus</i> , <i>K. fragilis</i>	Dragone <i>et al.</i> (2009), Mawson (2003)
Bebidas fermentadas	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> , <i>L. casei</i> , <i>Streptococcus salivarius</i>	Londoño <i>et al.</i> (2008)
Proteína unicelular	<i>Kluyveromyces lactis</i> , <i>K. marxianus</i> , <i>Candida utilis</i> , <i>K. fragilis</i>	Canales <i>et al.</i> (2003), Cori <i>et al.</i> (2006), Díaz <i>et al.</i> (2004), Ghaly y Kamal (2004)
Probióticos	<i>L. reuteri</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i>	Hernández <i>et al.</i> (2007)
Levaduras para panificación		Mawson (2003)
Enzimas		
α -amilasa	<i>Bacillus subtilis</i>	Mawson (2003)
β -galactosidasa	<i>Kluyveromyces</i> spp.	Mawson (2003)
Aminopeptidasa	<i>Lactobacillus casei</i> ssp. <i>casei</i>	Choi <i>et al.</i> (1996)
Exopolisacáridos		
Goma xantana	<i>Xantohomas campestris</i>	Silva <i>et al.</i> (2009), Fernandes <i>et al.</i> (2009)
Ácidos orgánicos		
Propiónico	<i>Propionibacterium acidipropionici</i> , <i>P. freudenreichii</i> , <i>Shermanii</i> spp., <i>Lactobacillus helveticus</i>	Mawson (2003), Morales <i>et al.</i> (2006), Haddadin <i>et al.</i> (2009)
Cítrico	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Metschnikowia pulcherrima</i>	El Aasar (2006), Holi y Delaimy (2003), Singh <i>et al.</i> (2004)
Glucónico	<i>A. niger</i>	Mukhopadhyay <i>et al.</i> (2005)
Láctico	<i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> , <i>L. casei</i>	Wit (2003), Serna y Rodríguez (2005)
Acético	<i>Acetobacter</i> spp., <i>Streptococcus lactis</i> , <i>Clostridium formicoaceticum</i>	Wit (2003), Tang <i>et al.</i> (1988)
Bacteriocinas	<i>Lactococcus lactis</i>	Gómez <i>et al.</i> (2003)
Tratamiento de aguas residuales de extracción del olivo	<i>Lactobacillus paracasei</i>	Aouidi <i>et al.</i> (2009)

* cp Parra-Huertas (2009).

económicas, jurídicas y políticas”. En este contexto, varias instituciones académico-científicas han creado áreas temáticas, líneas y proyectos de investigación biotecnológicos basados en la bioprospección en los cuales se involucran diferentes actores profesionales y sectores de la sociedad, particularmente aquellas comunidades que poseen y transmiten sus conocimientos en materia de biodiversidad y su utilidad.

En el marco del desarrollo de la bioprospección microbiana, Melgarejo *et al.* (2002a; 2002b) propusieron un modelo con 4 etapas principales: en primer lugar, se concibe el proyecto, seguido por la investigación básica en cuyos resultados finales se deben identificar las capacidades científicas, técnicas, estudios de oferta-demanda y costos de producción. Teniendo esta información se lleva a cabo la investigación tecnológica en la cual se realizan los estudios de escalamiento y las pruebas de calidad que garanticen la inocuidad del producto que se oferta. Por último, los estudios de comercialización que incluyen el mercadeo, patentes, entre otros. Dentro de este espacio de la ciencia, la bioprospección microbiana es una de las líneas de investigación que se desarrolla en diferentes áreas temáticas relacionadas con las ciencias naturales y médicas así como con la ciencia y tecnología de los alimentos (Duarte-Torres y Velho, 2009a). Los instrumentos legislativos también están involucrados en los proyectos de esta naturaleza porque en algunos casos está normado el acceso y uso de los recursos genéticos, la propiedad intelectual y la solicitud de patentes de productos, entre otros.

En países como España existen instituciones dedicadas a la investigación de organismos extremófilos y, en este sentido, se ha conformado la Red Nacional de Microorganismos Extremófilos (REDEX) entre cuyos objetivos se encuentra la bioprospección de esta biodiversidad no solo como células útiles en bioprocesos específicos sino por los metabolitos que pueden producir con importantes aplicaciones industriales y

ambientales. Los grupos de investigación pertenecientes a esta red se reúnen periódicamente para discutir los avances en esta materia y de cuyas reuniones surge un documento que recoge las ponencias presentadas en cada una de ellas. El documento de la última reunión celebrada en Mayo 2013, a la que asistieron investigadores latinoamericanos, demuestra los esfuerzos dirigidos al estudio genético realizado para comprender el metabolismo microbiano y con ello su manipulación para mejorar la síntesis de metabolitos de importancia biotecnológica así como también el uso de las herramientas moleculares para la detección e identificación de microorganismos no cultivables. Por otro lado, se presentaron las investigaciones sobre biodiversidad en acuíferos bajo condiciones extremas incluidos aquellos de la Antártida, así como arqueas de fuentes geotermales valiosas en la producción de enzimas termorresistentes. Vale la pena destacar que entre estos estudios se está realizando una labor importante partiendo de las identificaciones de microorganismos extremófilos hechas mediante técnicas moleculares para diseñar métodos de cultivo destinados al aislamiento de las formas no cultivables con las técnicas microbiológicas tradicionales; en este aspecto, entre los objetivos se encuentra el cultivo de organismos productores de exopolisacáridos y sustancias bioactivas como los antibacterianos (Ramos *et al.*, 2013, Castro *et al.*, 2013).

Entre otras ponencias, se planteó la transferencia de conocimientos al sector investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) mediante la creación de una ‘spin-off’, empresa creada por los miembros de un grupo de investigación con esta finalidad y que tiene como justificación, por un lado, poner al servicio de la sociedad los adelantos científicos y, por otro, ofrecer nuevas oportunidades de empleo. Se presenta el caso del grupo de investigación “Exopolisacáridos Microbianos” cuya ‘spin-off’ llamada Xtrem Biotech ofrece

los siguientes servicios y productos para diferentes sectores industriales: análisis microbiológico y control de calidad de diferentes productos (alimentos, cosméticos y farmacéuticos), identificación microbiana, desarrollo de polímeros extraídos de microorganismos extremófilos (biosurfactantes, floculantes, espesantes y emulsionantes) con potencial utilización en el sector alimentario, cosmético, petrolero y ambiental (biorremediación) (del Moral *et al.*, 2013).

4.1.- Bioprospección en países latinoamericanos

Existen muchas referencias sobre el tema, sin embargo, para los fines de esta revisión, se presentarán algunos trabajos sobre los programas de bioprospección microbiana e investigaciones relacionadas que llevan a cabo varias instituciones académicas y científicas en países de Centro y Suramérica. Los países latinoamericanos poseen áreas ecogeográficas importantes tanto por su extensión como por su biodiversidad que, en algunos casos, son compartidas. Una de estas regiones es la Antártida en la que la soberanía de ciertas áreas ha sido reclamada por Argentina, Chile, Australia, Nueva Zelanda, Francia, Reino Unido y Noruega, entre otros países, sin embargo, después del Tratado Antártico de 1959 se ha dado paso a la cooperación internacional en materia de investigación científica en diferentes campos del conocimiento (STA, 2013); entre los países miembros de este tratado se encuentra Venezuela (miembro adherente) que realiza actividades de investigación en el marco de cooperación con Ecuador en materia de biodiversidad, bioprospección y cambio climático (LRDS, 2013).

Otro importante reservorio de biodiversidad lo encontramos en la selva amazónica cuya mayor extensión pertenece a Brasil y el resto es compartida por Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Guyana, Surinam y

Bolivia. Su biodiversidad ha sido el centro de atención científica pero también comercial por parte de varias empresas, especialmente las farmacológicas, amenazada igualmente junto con sus espacios ecológicos por los diversos elementos que atentan contra el equilibrio ambiental; en este sentido, la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica se presenta como una oportunidad para conducir las estrategias de desarrollo sustentable de esta importante región, entre las que se incluye la bioprospección (Ramírez, 2012).

Por otro lado, los países que poseen extensas áreas costeras con acceso a los recursos marinos tienen un enorme potencial para el desarrollo de proyectos de bioprospección. Actualmente, los investigadores se han enfocado en la biodiversidad de los espacios marítimos por representar una fuente valiosa de insumos farmacológicos (sustancias bioactivas) y alimentarios. Las regiones áridas también pueden albergar una microbiota ecológica y biotecnológicamente importante, especialmente aquella asociada a la rizosfera con incidencia directa en la fertilidad del suelo (Félix-Herrán *et al.*, 2007). Otros hábitats poco explorados microbiológicamente son las denominadas lagunas de altura de los Andes Suramericanos que se ubican entre los 3.000 a 6.000 msnm y donde imperan condiciones extremas como las bajas temperaturas, pH altos, diferentes concentraciones salinas (oligo, meso e hipersalinas) y altas radiaciones UV (Heredia *et al.*, 2005; Ferrer *et al.*, 2011). Sin embargo, las prácticas de investigación, extracción y uso de los recursos naturales en estas como en otras regiones latinoamericanas han sido muy cuestionadas desde diferentes ámbitos científico-académicos, sociales, políticos, ambientalistas, étnicos, legales, éticos, entre otros. La amenaza contra el patrimonio natural de estos países ha llevado a la creación de instrumentos legales nacionales y acuerdos internacionales para la protección de la biodiversidad, siendo uno de ellos, el Convenio

sobre la Diversidad Biológica, con el que se reafirma la soberanía que cada Estado tiene sobre sus recursos naturales y que quedó especificado en el Artículo 15 sobre el acceso a los recursos genéticos, apartado 1: “En reconocimiento de los derechos soberanos de los Estados sobre sus recursos naturales, la facultad de regular el acceso a los recursos genéticos incumbe a los gobiernos nacionales y está sometida a la legislación nacional” (NU, 1992).

En el marco de la cooperación latinoamericana existen varias organizaciones entre cuyos planes estratégicos para el desarrollo de los países integrantes, se encuentran los programas de Ciencia, Tecnología e Innovación, siendo un ejemplo de ellas el MERCOSUR (Mercado Común del Sur), dentro de la cual se creó la plataforma de biotecnologías BIOTECSUR con la finalidad de producir bienes, servicios y procesos biotecnológicos especialmente en las áreas agropecuaria y forestal, siendo uno de sus objetivos el aprovechamiento de la biodiversidad así como proyectos en bioprospección dirigidos a la búsqueda de genes útiles para mejorar la producción en dichas áreas. Igualmente, existe el proyecto “Investigación, Educación y Biotecnología Aplicada a la Salud” como parte de la Red de Investigación en Biomedicina del MERCOSUR (Alfonzo-Rosas, 2012). Dentro del contexto del MERCOSUR, se apoyan las iniciativas de cooperación entre las naciones, como es el caso del Centro Argentino-Brasileño de Biotecnología (CABBIO) en el que se han realizado investigaciones en la producción de plantas y animales transgénicos así como de enzimas industriales. En el Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico, Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (PROCISUR) se han propuesto líneas estratégicas en genómica funcional en plantas, animales y microorganismos de interés agropecuario y agroindustrial. Dentro de las estrategias también se han establecido redes de

ciencia, tecnología e innovación, como es el caso de REDBIO (Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Agropecuaria para América Latina y el Caribe) (Zurbriggen y González-Lago, 2010).

Por otra parte, la Comunidad Andina (CAN) en materia de ciencia y tecnología igualmente apoya los programas de conservación y uso sustentable de la biodiversidad que tiene implicaciones directas en las actividades agropecuarias y garantizan la seguridad alimentaria de la región andina, así como en la preservación de la flora y fauna silvestres como patrimonio natural. En este aspecto, una de las estrategias es la conservación *ex situ* de poblaciones animales, vegetales y microbianas en peligro o no de extinción, a través de las cuales se puede lograr su conservación *in situ*. Las colecciones microbianas registradas se han originado como producto de investigaciones dirigidas a potenciales aplicaciones, principalmente en el área agrícola, seguidas por usos industriales, alimentarios, ambientales y médicos (CAN, 2001). De esta forma, los estudios de bioprospección además de sus fines económicos, representan una estrategia a través de la cual se genera conocimiento útil para implementar programas conducentes a la conservación de la biodiversidad con implicaciones sociales.

Con este escenario, en las próximas secciones se hará una breve reseña de algunos artículos que tratan sobre las políticas en ciencia y tecnología de los países latinoamericanos entre cuyos objetivos se plantea la bioprospección microbiana así como de varios trabajos de investigación en los cuales se aborda el tema, comenzando este recorrido por los países centroamericanos.

4.2.- Centroamérica y México

Los microorganismos en los ambientes naturales e intervenidos forman parte de ecosistemas en los cuales se establecen

diferentes mecanismos de interacción entre unos y otros y cuya complejidad dependerá de los factores físicos, químicos y biológicos que imperan en los distintos microhábitats ocupados por la microbiota. En este sentido, los tapetes microbianos constituyen un interesante ejemplo de complejas asociaciones microbianas con varias estrategias fisiológicas que conforman a su vez distintas comunidades en estratificación vertical y acondicionadas, entre otros factores, por los gradientes de luz, temperatura, salinidad y oxígeno; es por ello, que en el estrato superior se localizan principalmente los organismos fototróficos aerobios como las cianobacterias y las algas eucariotas, así como las bacterias heterotróficas aerobias. En los estratos inferiores, con poca o ninguna cantidad de oxígeno, se ubican las bacterias fototróficas anaerobias. Estos ecosistemas naturales autosustentables son muy estables y no solo se forman en ambientes naturales sino también contaminados, que incluyen condiciones extremas (Demergasso *et al.*, 2003; Martínez-Alonso y Gaju, 2005).

Los estudios realizados en este tipo de ecosistemas microbianos así como su hallazgo en ambientes contaminados sugirieron su aplicación en las prácticas de biorrecuperación, muy particularmente en aquellos afectados por los derrames de petróleo. Sin embargo, Lezama-Cervantes *et al.* (2010) realizaron una investigación en la que plantearon la utilización de los tapetes microbianos en el biosaneamiento de los efluentes del cultivo de camarón (*Litopenaeus vannamei*) en una granja mexicana para disminuir el impacto ambiental producido por la generación de subproductos derivados de esta actividad. Con esta finalidad, diseñaron un tapete artificial empleando consorcios microbianos procedentes de los mismos estanques de producción del camarón. Los resultados fueron prometedores, comprobándose el potencial biotecnológico de los microorganismos empleados, considerándose una tecnología económica y factible ambientalmente por cuanto puede

reutilizarse el agua, al menos, bajo las condiciones en las que se llevó a cabo este estudio.

En Nicaragua, uno de los países centroamericanos con gran biodiversidad, se pueden encontrar temas de investigación como la bioprospección de enzimas de restricción en bacterias de suelos y ambientes volcánicos, recursos valiosos utilizados en varias técnicas de la biología molecular por cuanto se les emplea para cortar el ADN en sitios específicos con aplicaciones en la secuenciación y posterior elaboración de mapas de esta molécula, en el diagnóstico genético, en la tecnología del ADN recombinante y clonación. Entre los beneficios que se podrían obtener se encuentra la comercialización de nuevas enzimas patentables lo que generaría recursos financieros para continuar con los proyectos de bioprospección así como también la formación de recursos humanos. Por otro lado, Nicaragua posee el cinturón volcánico del Pacífico que brinda la oportunidad de realizar bioprospección de microorganismos extremófilos, específicamente termófilos. La tendencia en bioprospección microbiana en varios países del mundo se orienta hacia el estudio de organismos extremófilos, en los cuales se han desarrollado programas de investigación con este objetivo, tales como, 'Life in Extreme Environments' (LEExEn) y 'Astrobiology' de la National Science Foundation (NSF) y la National Aeronautics and Space Administration (NASA) de Estados Unidos; por otro lado, en Europa los proyectos 'Biotechnology of Extremophiles' y 'Extremophiles as Cell Factories' (Gómez-Rodríguez y Huete-Pérez, 2008).

En países como Costa Rica, la biodiversidad representa una de sus principales riquezas, distribuida en diferentes regiones ecogeográficas, siendo la Biotecnología una de las áreas prioritarias de desarrollo del país a través de la cual se le valoriza. En este sentido, el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2011-2014 contempla varios

campos de investigación cuyos requerimientos incluyen el desarrollo de investigaciones que generen nuevos espacios de aplicación biotecnológica. En este aspecto, un área a desarrollar es la del aprovechamiento de la biodiversidad dirigido a la selección y reproducción de microorganismos extremófilos y sus metabolitos. Igualmente, las energías alternativas constituyen otra área prioritaria, encontrándose en ellas los biocombustibles (bioetanol y biodiesel) y entre los proyectos interinstitucionales se desarrolla la selección de microalgas para la producción de aceite como fuente de estos así como de otros derivados (MICIT, 2011).

4.3.- Suramérica

En Venezuela como en otros países latinoamericanos, uno de los principales objetivos en la biotecnología agrícola consiste en el mejoramiento de la fertilidad de los suelos que impliquen estrategias sostenibles y de bajo impacto ambiental mediante la reducción de los insumos agroquímicos, con tendencia hacia las prácticas agroecológicas. En este sentido, grupos de investigación pertenecientes a universidades y entes gubernamentales se han abocado a la búsqueda de microorganismos útiles con diferentes objetivos. Así por ejemplo, Peña y Reyes (2007) llevaron a cabo el aislamiento de bacterias rizosféricas y endófitas de las semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) para evaluar su potencial como fijadoras de nitrógeno; los protocolos de identificación microbiana empleados, indicaron la presencia de cepas pertenecientes a los géneros *Rhizobium* y *Azospirillum*, con las cuales prepararon consorcios para la inoculación de las semillas de lechuga, obteniéndose resultados prometedores los cuales sugieren que además de la fijación de nitrógeno, pudieran estarse dando relaciones sinérgicas a través de diferentes mecanismos combinados como la disolución de fosfatos, la producción de hormonas del crecimiento y control de

patógenos.

Por otro lado, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA, Venezuela) desde 1940 ha trabajado en el desarrollo de proyectos basados en biofertilizantes, muy particularmente en el rubro de las leguminosas habiendo alcanzado, entre otros logros, la elaboración de productos biotecnológicos de esta naturaleza y el Ceparo Nacional del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAPINIA) iniciado en 1999 y en el que se encuentra una colección importante de cepas nacionales de *Rhizobium*, derivada de 2 proyectos de cooperación de leguminosas en el marco de la Agenda de Biodiversidad del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACIT). Igualmente, esta institución a través de convenios de cooperación con Cuba, comenzó el proyecto Innovación Tecnológica en Biofertilizantes para Agrosistemas Venezolanos Sustentables para el manejo integral de la fertilidad de los suelos y mediante el cual se continuó fortaleciendo la colección de microorganismos beneficiosos existentes. Esta colección representa una gran oportunidad para evaluar la factibilidad de producción de biofertilizantes a nivel nacional que pueden cubrir los requerimientos específicos de las condiciones físicas y químicas de cada zona del país por cuanto las cepas microbianas (simbiontes y rizosféricas) se aislaron de diferentes ecosistemas, estando adaptadas a esas condiciones particulares. Al mismo tiempo, se estaría consolidando la plataforma biotecnológica del país (López *et al.*, 2010).

En la búsqueda de insumos biotecnológicos aplicables a la industria alimentaria, otros grupos de investigación se han enfocado en el aislamiento y selección de microorganismos queratinolíticos a partir de sustratos como las plumas, un subproducto de la industria avícola subutilizado en Venezuela. Con este objetivo, el Laboratorio de Procesos Biotecnológicos de la Universidad Central de Venezuela (UCV) comenzó en 1994 una línea

de investigación en el aprovechamiento de los residuos queratinosos como sustratos de fermentación que involucró el aislamiento de microorganismos queratinolíticos como *Kokuria rosea* y *Bacillus* spp., este último en cooperación con la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez (UNESR) (Coello *et al.*, 2000; Piñero-Bonilla *et al.*, 2000). El trabajo de investigación que siguió tuvo como finalidad evaluar la calidad nutricional de las plumas fermentadas y enriquecidas con estos organismos como fuente de proteína unicelular, incluyendo pruebas biológicas para determinar su efecto en el desarrollo de las aves (De Macedo *et al.*, 2002; Bertsch *et al.*, 2003; Álvarez *et al.*, 2009). Además, en el caso de *K. rosea* se investigó la producción de pigmentos y de enzimas queratinolíticas, así como su capacidad para degradar residuos quitinosos como los generados en la industria camaronera para enriquecerlos con PUC (Coello y Vidal, 2001; Bernal *et al.*, 2003; Bertsch *et al.*, 2010). Instituciones adscritas al Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Innovación como el Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) y a la UCV como el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) han apoyado financieramente algunos de estos proyectos, en este sentido, los estudios en biotecnología microbiana cuentan con el reconocimiento institucional a nivel nacional.

Un grupo de microorganismos de gran interés comercial y de amplia aplicación mundial, está conformado por las bacterias ácido lácticas, empleadas principalmente en la industria láctea para la elaboración de quesos madurados, yogurt, kumis, entre otros, cuyas características van a depender del tipo y propiedades del organismo utilizado. En este contexto, Parra-Huertas (2010) hizo una revisión de las funciones de las bacterias ácido lácticas entre las cuales se encuentra la formación de sabor y aroma, la inhibición de patógenos, la gelificación de la leche, la

reducción del contenido de lactosa, la producción de gas necesaria para la formación de “ojos” y la proteólisis en la maduración de los quesos. Adicionalmente, también son aprovechadas con otros fines alimentarios tales como la producción de metabolitos como los exopolisacáridos, edulcorantes bajos en calorías y vitaminas; mediante la producción de péptidos bioactivos a partir de la hidrólisis de las proteínas lácteas cumplen una función terapéutica, la que igualmente desempeñan como probióticos. Se les emplea en el ensilaje de cuyo producto se han aislado cepas de *Lactobacillus* productoras de bacteriocinas mostrando actividad contra *Pseudomonas* (Jaramillo-Giraldo *et al.*, 2010). Entre las futuras tendencias en el empleo de las bacterias ácido lácticas se encuentran una mayor aplicación como bioconservantes debido a las crecientes restricciones en el uso de antibióticos que pueden generar mayor resistencia microbiana, desarrollo de nuevas bebidas fermentadas entre las cuales se encuentran los derivados del lactosuero y utilización en panificación.

Aún cuando ya existen cepas comerciales, la búsqueda continúa y que mejor lugar que la leche y sus derivados para realizar esta pesquisa. En este sentido, Alvarado-Rivas *et al.* (2007) aislaron varias cepas de bacterias ácido lácticas a partir de queso ahumado artesanal para evaluar su potencial como cultivo iniciador, de los aislados obtenidos seleccionaron aquellas pertenecientes a los géneros *Lactococcus*, *Lactobacillus* y *Leuconostoc* por ser los más utilizados en la industria quesera. Por otra parte, investigadores venezolanos de la Fundación Centro de Investigaciones del Estado para la Producción Experimental Agroindustrial (Fundación CIEPE) conjuntamente con los de la Fundación para la Investigación Agrícola DANAC, han estudiado las condiciones de crecimiento de una cepa de *Lactobacillus delbruekii* subsp. *bulgaricus* aislada del intestino delgado de terneros (*Bos taurus*) para aumentar los

rendimientos en la producción de biomasa destinada a la elaboración de probióticos para el consumo animal (Ávila *et al.*, 2010).

Continuando con este recorrido biotecnológico por los países suramericanos, se tiene la recopilación de Duarte-Torres y Velho (2009a) sobre los grupos que desarrollan investigación en bioprospección en Colombia, la mayor parte de ellos pertenecen a instituciones universitarias seguido por los centros de investigación públicos, algunos grupos si bien no trabajan directamente en bioprospección si desarrollan estudios relacionados en el área de la biotecnología, biodiversidad, conocimiento tradicional, recursos naturales y genéticos. Una de las áreas temáticas es la Microbiología, dentro de la que se desarrolla como línea de investigación, la bioprospección microbiana, aunque el tema puede abordarse en otras áreas temáticas no bajo esta designación. En general, los proyectos están dirigidos a aspectos agrícolas como el biocontrol de plagas y enfermedades de cultivos prioritarios y se señalan mayores progresos en la búsqueda de organismos marinos productores de sustancias bioactivas.

Pese a las controversias suscitadas por las prácticas de bioprospección, también se le ve como una oportunidad para establecer relaciones de cooperación en esta materia a nivel nacional e internacional, siempre y cuando se obtengan beneficios mutuos y efectivos. En este sentido, Duarte-Torres y Velho (2009b) señalan que los países latinoamericanos poseedores de una gran biodiversidad y etnoconocimientos de interés para los países industrializados, podrían crecer científica y tecnológicamente así como formar recursos humanos y fortalecer las infraestructuras de investigación. Los autores realizaron un análisis de los estudios de bioprospección a partir de los artículos publicados en diferentes medios de divulgación científica en los que Colombia ha participado internacionalmente; entre las diferentes áreas de investigación destacan principalmente los

estudios microbiológicos básicos como la identificación y caracterización de bacterias, los modelos de crecimiento, producción de endotoxinas y, en menor grado, su potencial aplicación industrial. En este campo se observa que *Bacillus thuringiensis* ha recibido mucha atención debido a su actividad antimicrobiana e insecticida con utilidad en el biocontrol de plagas y enfermedades agrícolas y humanas. Este tema ha permitido el establecimiento de redes en las que participan algunos países latinoamericanos y en el que Colombia se ha beneficiado de la caracterización y determinación de la capacidad productora de sustancias bioactivas de varias cepas de *B. thuringiensis*, así como de la formación de profesionales, generación de publicaciones nacionales e internacionales, dotación de los laboratorios en equipos y financiamiento de los proyectos de investigación. Además, los autores señalan que los convenios Universidad-Empresa en Colombia también han tenido sus frutos, tal es el caso de la obtención de productos bacterianos de aplicación agrícola que incluyen fijadores de nitrógeno y biocontroladores de plagas, en cuya elaboración ha participado una 'spin-off' llamada Biocultivos S. A. Otros microorganismos han sido investigados para la producción de biopolímeros de uso farmacológico o por su capacidad para degradar hidrocarburos del petróleo lo que los convierte en prospectos para prácticas de biorremediación. En Colombia algunos grupos de investigación universitarios participan conjuntamente con otras universidades e institutos extranjeros en el mapeo de microorganismos en ambientes extremos naturales de este país, utilizando técnicas de metagenómica y bioinformática para determinar la biodiversidad con potencial aplicación en la industria farmacéutica y cosmética, lo que ha permitido identificar nuevas especies y géneros microbianos. Sin embargo, en este como en otros temas de bioprospección microbiana, se reconoce la escasa experiencia de las instituciones e

investigadores colombianos en materia de negociación con las empresas y del conocimiento legal para el patentamiento de los procesos y productos microbianos para lo cual se requiere el permiso de acceso a los recursos genéticos, así como el riesgo de generar publicaciones sobre las cepas microbianas de mayor importancia comercial.

Dioniesi *et al.* (2012) también hicieron una revisión del tema de bioprospección microbiana para Argentina en las áreas de biotecnología industrial, farmacéutica y ambiental, aunque señalan que no hay programas formales en este país. En el primer caso se presentan los alcances de algunas investigaciones especialmente de bacterias psicotolerantes aisladas de sedimentos y tracto intestinal de organismos marinos de regiones antárticas y subantárticas, capaces de producir enzimas valiosas como aditivos alimentarios (β -glucosidasas, α -L-ramnosidasas y proteasas) y cepas ácido lácticas (*Leuconostoc* y *Lactobacillus*) que pueden ser empleadas como cultivos iniciadores funcionales para la obtención de productos derivados de las anchoas (*Eugrulis anchoita*), las mismas de las cuales se han aislado estas bacterias. Además, las bacteriocinas (antimicrobianos) producidas por las bacterias ácido lácticas pueden tener aplicación como agentes biocontroladores o biopreservativos alimentarios. Por otro lado, el potencial industrial de las microalgas radica en su composición lipídica cuya evaluación determina la factibilidad de aprovecharlas como fuente de biodiesel y para la producción de ácidos grasos poliinsaturados. En el campo ambiental, el estudio microbiano es prometedor en materia de biorremediación de ecosistemas costeros contaminados por hidrocarburos por su capacidad de degradación y por la producción de surfactantes utilizados para facilitar esta actividad.

La bioprospección no solo se limita a la exploración en ambientes naturales, la búsqueda de microorganismos puede desarrollarse en suelos y aguas contaminados

por petróleo con la finalidad de evaluar su capacidad en el biosaneamiento de estos mismos ecosistemas e incluso, a partir de residuos industriales (Gutiérrez-Corona, 2011). Sánchez *et al.* (2004) hicieron aislamientos de microorganismos amilolíticos a partir de aguas de lavado y muestras de almidón sólido de empresas colombianas procesadoras de maíz, papa y yuca; las cepas obtenidas se identificaron bioquímicamente y pertenecían a los géneros *Bacillus* sp., *Clostridium* sp. y *Kurthia* sp. Las amilasas son recursos valiosos en la industria alimentaria siendo la obtención de jarabes glucosados su principal aplicación que tradicionalmente ha implicado 2 procesos enzimáticos: la licuefacción realizada por una amilasa y la sacarificación por una amiloglucosidasa. Este procedimiento involucra mayores requerimientos energéticos y de equipamiento con alto costo económico. En este sentido, la tendencia en este tipo de proyectos de bioprospección es reducir las etapas del procesamiento de las fuentes amiláceas a una sola con diferentes alternativas según plantean los autores: utilizar 2 cepas simultáneamente cuyo sistema enzimático se pueda combinar, una sola cepa con las 2 enzimas amilolíticas o con una enzima capaz de hidrolizar todo tipo de enlace de las moléculas del almidón como la glucoamilasa. En este trabajo se cubrió la primera parte bioprospectiva, la investigación básica, que permite conocer el potencial enzimático de las cepas.

El interés en la búsqueda de nuevas fuentes microbianas de enzimas generalmente se enfoca en objetivos específicos, siendo un área atractiva e inagotable, el aislamiento de microorganismos celulóliticos termófilos. Con esta finalidad, Ramírez y Cocha (2003) aislaron varias cepas de actinomicetos celulóliticos termófilos a partir de materias ricas en celulosa (compost, estiércol, heno y suelos de Perú) con predominio de *Streptomyces* sp., seguida de *Thermomonospora curvata* y *T. chromogena*, principalmente en el compost en el que debido

a los procesos propios de su producción se alcanzan mayores temperaturas. De estas 3 especies, *Streptomyces* sp. presentó los mayores niveles de actividad enzimática (endoglucanasa, exoglucanasa y β -glucosidasa). La importancia de las celulasas producidas por este tipo de organismos se debe a su termoestabilidad lo que amplía el espectro de su aplicación industrial; por otro lado, la utilización de los sustratos celulósicos permite evaluar también el potencial en la producción de biomasa microbiana con fines alimenticios y, en este aspecto, se obtuvieron buenos niveles para *Streptomyces* sp.

La búsqueda de ambientes inexplorados que ofrezcan nuevas alternativas microbianas, ha conducido al estudio de los microorganismos endofíticos definidos como aquellos hongos y bacterias que viven en las partes internas de las plantas (hojas, ramas, raíces y semillas) sin ocasionarles daños evidentes; los hallazgos sugieren que entre estos organismos y las plantas existen interacciones simbióticas. Esta microbiota ha despertado interés biotecnológico por su capacidad de producir diferentes metabolitos con aplicación farmacológica, agrícola y alimentaria entre los cuales se encuentran las enzimas, un tema abordado por algunos investigadores debido al amplio campo de aplicación que tienen. Con este objetivo, Carrim *et al.* (2006) aislaron bacterias del tallo y hojas de *Jacaranda decurrens* Cham. (Bignoniaceae), un arbusto del Cerrado brasileño que popularmente se utiliza con fines medicinales. Los autores evaluaron la producción enzimática de los aislados encontrando que la mayor actividad correspondía a las proteasas y amilasas, seguida por las esterases y las lipasas, sin embargo, no detectaron actividad celulolítica ni pectinolítica. La actividad amilolítica y proteolítica se encontró mayormente en especies del género *Bacillus* (*B. coagulans*, *B. licheniformis*, *B. megaterium*) y en *Actinomyces pyogenes*; *Corynebacterium renale* presentó actividad esterasa, lipasa y proteasa y *Pseudomonas*

stutzeri amilolítica, esterasa y lipasa. Los resultados sugieren el uso potencial de estas enzimas en la industria alimentaria, de los detergentes, papelera, farmacéutica, textil y peletera.

En referencia a la exposición de Peralta (2010) sobre las estrategias del Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE) con base en las nuevas tendencias internacionales en esta materia y acordes con las necesidades del país, se encuentran el estudio y aprovechamiento de la biodiversidad de ecosistemas naturales y antrópicos, en estos últimos se incluyen los sistemas agrícolas. El objetivo se dirige a la obtención de nuevos productos (especialmente sustancias bioactivas) así como al mejoramiento o desarrollo de nuevos bioprocesos con especial énfasis a la producción de insumos agrícolas, una de las prioridades para el país. A su vez, se ha concebido la creación de colecciones para la conservación de especies y genes microbianos. En este sentido, se ha planificado la bioprospección de organismos extremófilos de la Antártida y de biocontroladores como *Trichoderma harzianum* y *T. viridis* a partir de suelos ecuatorianos para el manejo de hongos patógenos.

Por su ubicación geográfica y formar parte del Tratado Antártico, Chile participa de las investigaciones que se realizan en esta región polar a través del Programa Nacional de Ciencia Antártica (PROCIEN), entre cuyas líneas de investigación se encuentra la bioprospección microbiana enfocada en el estudio de las adaptaciones fisiológicas de los microorganismos a las condiciones imperantes así como al estudio de los metabolitos por ellos producidos de interés biotecnológico para el desarrollo científico en este campo de estudio. Los proyectos abordan el aislamiento de bacterias y hongos psicrófilos para la producción de biofertilizantes, el aislamiento de microorganismos biosintetizadores de nanopartículas semiconductoras fluorescentes

(‘quantum dots’) con aplicaciones biomédicas, el aislamiento de hongos productores de sustancias bioactivas a partir de esponjas marinas, el aislamiento y creación de colecciones de levaduras con implicaciones ecológicas y biotecnológicas así como la descripción de su biogeografía y diversidad; la búsqueda de hongos y levaduras a partir de esponjas marinas y su identificación tiene como finalidad evaluar su capacidad para producir enzimas de importancia biotecnológica a distintas temperaturas y pH (INACH, 2011).

5.- La nota curiosa: ¿Arte microbiano?

¿Qué relación puede existir entre los microorganismos y el arte?. Cuando los hacemos crecer en placas de Petri podemos observar las más variadas formas y colores lo que nos permite caracterizarlos e identificarlos macroscópicamente. Esta propiedad ha sido utilizada por un grupo de investigadores quienes han compartido su labor científica creando arte con estos microorganismos tanto en su forma silvestre como modificada genéticamente y exponiendo esta expresión artística en las páginas del sitio web, como un “museo virtual”, bajo el nombre de ‘Microbial Art’ (2013), cuyo autor fue el Dr. T. Ryan Gregory de la Universidad de Guelph en Canadá. Es una forma divertida y también educativa mediante la cual la microbiología trasciende sus fronteras para llegar a personas fuera del ámbito científico, cambiando la percepción negativa que la mayor parte de la sociedad tiene de los microorganismos contemplando así su belleza.

Algunos microorganismos tienen la propiedad de producir pigmentos muy llamativos en forma natural que científicamente tienen varios usos, por un lado, como sustancias activas (antibióticos) y, por otro, como herramientas técnicas (indicador de pH y característica fenotípica para la identificación de cultivos microbianos); además, a través de la manipulación genética, los microorganismos

pueden dar diferentes respuestas cuando se les expone a la luz, como por ejemplo, la fluorescencia (Yépez-García, 2010). Igualmente, Charkoudian *et al.* (2010) apoyan la idea de combinar el arte con la ciencia con fines pedagógicos para la enseñanza-aprendizaje de conceptos y métodos de las ciencias naturales y del arte mediante el empleo de biopigmentos en la pintura.

La literatura tampoco ha escapado a la inspiración microbiana, así nos lo muestra Arthur Kornberg en su libro “Cuentos de Microbios” en el que escribe poesía e historias cuyos protagonistas son los microorganismos y que está dirigido a los niños. Por su contenido didáctico, es un instrumento de enseñanza o de acercamiento a la ciencia microbiológica (Piqueras, 2013).

CONCLUSIONES

La importancia biotecnológica de los microorganismos es evidente tanto para la investigación básica como aplicada, teniendo impacto en diferentes sectores de la sociedad según los objetivos o intereses con los cuales se dirijan las investigaciones y su aplicación. Sin embargo, para los países latinoamericanos ha comenzado a ser un recurso potencialmente valioso para ser abordado en las prácticas de bioprospección, tema que en su sentido más amplio se está considerando dentro de los planes estratégicos de ciencia y tecnología de algunas naciones así como también están evaluando sus capacidades científicas y tecnológicas en este aspecto.

En este sentido, deben ser tomados en cuenta varios aspectos, uno de ellos es conocer la biodiversidad que posee cada país y una forma práctica de iniciar este inventario para tener una primera aproximación, es a través de las publicaciones y memorias de eventos científicos realizados a nivel nacional e internacional así como de las colecciones nacionales lo que, adicionalmente, permitirá conocer su distribución geográfica y el

potencial biotecnológico. Los países latinoamericanos también poseen diversidad ecogeográfica de cuyo análisis se puede extraer información útil que sugiera los microhábitats potenciales para el aislamiento de microorganismos útiles.

Asimismo, a partir de esta compilación se pueden conocer las unidades de investigación y el recurso humano preparados para emprender prácticas de esta naturaleza, sin embargo, aun cuando los investigadores pueden formarse en reconocidas universidades extranjeras, las instituciones académicas nacionales juegan un papel muy importante y deben mantener altos niveles de enseñanza-aprendizaje así como diversificarse según las tendencias mundiales y la necesidades de cada país, abriendo nuevos espacios para la coexistencia de la ciencia, la tecnología y los etnoconocimientos o saberes populares. De esta forma, coincidiendo con la concepción de Duarte-Torres y Vehlo (2009a), las actividades de bioprospección y específicamente microbiana, representan una oportunidad para ampliar los horizontes de la ciencia y la tecnología en los países latinoamericanos y contribuir al desarrollo y fortalecimiento de su industria biotecnológica en la producción de insumos propios para disminuir los costos de importación.

A su vez, el fortalecimiento institucional en materia de bioprospección va a depender de la integración de esfuerzos entre las diferentes unidades de investigación a nivel nacional, estableciendo redes de cooperación e intercambio de información. No obstante, esto también requiere de políticas nacionales en materia de ciencia y tecnología que apoyen tales actividades. En este trabajo se presentó una muestra muy pequeña de la investigación que se viene realizando en los países latinoamericanos en el campo de la biotecnología microbiana, haciendo referencia a unos estudios que la tendencia actual ha dado en llamar bioprospección y, a otros, que no se enmarcan dentro de esta denominación pero

que persiguen objetivos similares. Parte de esta labor investigativa está integrada a estrategias nacionales en materia de ciencia y tecnología, otras en cambio, las realizan grupos de investigación de manera independiente, pero igualmente valiosa por cuanto los conocimientos generados trascienden las fronteras de su ámbito de producción a través de los medios de divulgación científica a los cuales se tiene actualmente mayor acceso mediante las publicaciones electrónicas.

La bioprospección no debe ser solo una actividad de crecimiento científico, tecnológico y económico, debe tener mayores alcances e implicaciones sociales que se traduzcan en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de las zonas rurales y urbanas. De esta forma, los programas deben estar dirigidos a áreas prioritarias con vinculación al sector industrial, tales como el desarrollo rural, la seguridad alimentaria, salud y conservación del medio ambiente.

En este contexto, se puede apreciar el interés en el aislamiento e identificación de microorganismos potencialmente útiles en el área agrícola y alimentaria, explorando y aprovechando las diversificadas estrategias metabólicas que poseen, brindando con ello la oportunidad de múltiples aplicaciones biotecnológicas. De esta manera, en biotecnología agrícola se ofrecen alternativas para realizar prácticas agroecológicas con menor impacto ambiental y mejor calidad nutricional de los rubros producidos al reducir el uso de agroquímicos contaminantes. Igualmente, la biotecnología alimentaria proporciona nuevos productos microbianos que además de ser utilizados en procesos fermentativos para la producción de alimentos, combinan propiedades nutricionales y funcionales.

Estas como otras actividades y logros alcanzados por los investigadores latinoamericanos en la búsqueda de microorganismos útiles, llámese o no bioprospección, demuestran el potencial del

recurso humano, exploradores de nuevos territorios de la ciencia o como se mencionó al inicio de este trabajo, los nuevos cazadores de microbios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril, Adriana; Biasuiti, Carlos; Maich, Ricardo; Dubbini, Lucas y Noe, Laura. 2006. Inoculación con *Azospirillum* spp. en la región semiárida-central de Argentina: factores que afectan la colonización rizosférica. *Ciencias del Suelo*. 24(1):11-19.
- Aguirre-Medina, Juan Francisco; Moroyoqui-Ovilla, Daniela Montserrat; Mendoza-López, Alexander; Cadena-Iñiguez, Jorge; Avendaño-Arrazate, Carlos Hugo y Aguirre-Cadena, Juan Francisco. 2011. Hongo endomicorrízico y bacteria fijadora de nitrógeno inoculadas a *Coffea arabica* en vivero. *Agronomía Mesoamericana*. 22(1):71-80.
- Alfonzo-Rosas., Marcelo J. 2012. La ciencia, tecnología e innovación (CTI) en el contexto de MERCOSUR. En *Consideraciones teórico-políticas para la ciencia y tecnología en la revolución bolivariana venezolana*. (pp. 143-155). Caracas, Venezuela: Ediciones ONCTI/MPPCTI (Observatorio Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación/Ministerio del Poder Popular para la Ciencia, Tecnología e Innovación). [http://www.oncti.gob.ve/images/Publicaciones/libro-Consideraciones\(protegido\).pdf](http://www.oncti.gob.ve/images/Publicaciones/libro-Consideraciones(protegido).pdf).
- Alvarado-Rivas, Carmen; Chacón-Rueda, Zarack; Rojas, Julio Otoniel; Guerrero-Cárdenas, Balmore y López-Corcuera, Guillermo. 2007. Aislamiento, identificación y caracterización de bacterias ácido lácticas de un queso venezolano ahumado andino artesanal. Su uso como cultivo iniciador. *Revista Científica (FCV-LUZ)*. XVII(3):301-308.
- Álvarez, Ramón; Bertsch, Annalisse y Coello, Nereida. 2009. Digestibilidad verdadera de harina de plumas fermentadas por *Kokuria rosea* en gallos adultos. *Zootecnia Tropical*. 27(1):1-5.
- Andrade, Ricardo D.; Torres, Ramiro; Montes, Everaldo J. y Fernández, Alfredo C. 2007. Obtención de harina a partir del cultivo de *Chlorella vulgaris* y su análisis proteico. *Temas Agrarios*. 12(1):50-57.
- Ávila, José; Ávila, Manuel y Tovar, Belkys. 2010. Determinación de las condiciones de crecimiento *in vitro* de una cepa probiótica (*Lactobacillus delbruekii* subsp. *bulgaricus*) aislada del tracto intestinal de terneros (*Bos taurus*). *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 1(1):058-069.
- Bardales-Vásquez, Cecilia B.; León-Torres, Carlos A.; Mostacero-León, José; Arellano-Barragan, Julio; Nomberto-Rodríguez, Carlos; Salazar-Castillo, Marco; Pretel-Sevillano, Orlando; Martín-Alva, Enrique y Barrena-Gurbillon, Miguel. 2011. Producción de bioetanol del desecho lignocelulósico “peladilla” de *Asparagus officinalis* L. “espárrago” por *Candida utilis* var. Major CECT 1430. *UCV-Scientia*. 3(2):205-213.
- Becerril-Espinosa, Amayaly; Guerra-Rivas, Graciela; Ayala-Sánchez, Nahara and Soria-Mercado, Irma E. 2012. Antitumor activity of actinobacteria isolated in marine sediment from Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 47(2):317-325.
- Bernal, C.; Vidal, L.; Valdivieso, E. and Coello, N. 2003. Keratinolytic activity of *Kocuria rosea*. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 19(3):255-261.
- Bertsch, Annalisse; Álvarez, Ramón y Coello, Nereida. 2003. Evaluación de la calidad nutricional de la harina de plumas fermentadas por *Kocuria rosea* como fuente alternativa de proteínas en la

- alimentación de aves. *Revista Científica (FCV-LUZ)*. XIII(2):139-145.
- Bertsch, Annalisse; Díaz, Isabel y Coello, Nereida. 2010. Optimization of shrimp waste fermentation by *Kocuria rosea* to obtain a protein hydrolysate. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*. 33(2):130-137.
- CAN. 2001. Comunidad Andina. Estrategia regional de biodiversidad para los países del trópico andino. III Taller Regional. Conservación *ex situ*. 29-31 Mayo. Quito, Ecuador. Conservación *ex situ*. Documento temático. La Paz, Bolivia. <http://www.comunidadandina.org/ desarrollo/dct3.PDF>
- Carcaño-Montiel, Moisés Graciano; Ferrera-Cerrato, Ronald; Pérez-Moreno, Jesús; Molina-Galán, José D. y Bashan, Yoav. 2006. Actividad nitrogenasa, producción de fitohormonas, sideróforos y antibiosis en cepas de *Azospirillum* y *Klebsiella* aisladas de maíz y teocintle. *Terra Latinoamericana*. 24(4):493-502.
- Cariello, María Ester; Castañeda, Liliana; Riobo, Inés y González, Jimena. 2007. Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 7(3):26-37.
- Carrim, Aysha Jussara Ivonilde; Barbosa, Edweis Cândida and Gonçalves, José Daniel. 2006. Enzymatic activity of endophytic bacterial isolates of *Jacaranda decurrens* Cham. (Carobinha-do-campo). *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 49(3):353-359.
- Carrizosa, S. 2000. La prospección y el acceso a los recursos genéticos: una guía práctica. Colombia: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). 159 p.
- Castellanos, Oscar Fernando; Ramírez, Diana Cristina y Montañez, Víctor Mauricio. 2006. Perspectiva en el desarrollo de las enzimas industriales a partir de la inteligencia tecnológica. *Ingeniería e Investigación*. 26(2):52-67.
- Castro, David; Quesada, Emilia; Béjar, Victoria y Martínez-Checa, Fernando. 2013. Puesta a punto de nuevos métodos para el cultivo de los procariontes que pueblan Rambla Salada (Murcia). En Libro de Resúmenes de la XI Reunión de la Red Nacional de Microorganismos Extremófilos. 8-10 Mayo. (pp. 46). Busquistar, Granada, España. ISBN: 978-84-941343-3-3.
- Charkoudian, Louise K.; Fitzgerald, Jay T.; Khosla, Chaitan and Champlin, Andrea. 2010. In living color: bacterial pigments as an untapped resource in the classroom and beyond. *PLoS Biology*. 8(10):e1000510.
- Coello, Nereida and Vidal, Luis. 2001. *Kocuria rosea* as a new feather degrading bacteria. En *Applied Microbiology*. (pp. 165-175). The Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Coello, Nereida; Vidal, Luis y Bretaña, Antonio. 2000. Aislamiento de una cepa de *Kocuria rosea* degradadora de plumas de aves de corral. *Revista Científica (FCV-LUZ)*. X(2):107-113.
- Corral, Paulina; Papke, R. Thane y Ventosa, Antonio. 2013. Caracterización de arqueas haloalcalófilas basada en el estudio de la composición de lípidos polares y otros métodos taxonómicos clásicos. En Libro de Resúmenes de la XI Reunión de la Red Nacional de Microorganismos Extremófilos. 8-10 Mayo. (pp. 21). Busquistar, Granada, España. ISBN: 978-84-941343-3-3.
- Crueger, Wulf y Crueger, Anneliese. 1993. *Biotechnología: manual de microbiología industrial*. Zaragoza, España: Editorial Acribia, S. A. 413 p.
- Cui, Qingfeng; Wang, Liming; Huang, Ying; Liu, Zhiheng and Goodfellow, Michael. 2005. *Nocardia jiangxiensis* sp. nov. and *Nocardia miyunensis* sp. nov., isolated from acidic soils. *International Journal of*

- Systematic and Evolutionary Microbiology. 55(5):1921-1925.
- de Kruif, Paul. 1976. Los cazadores de microbios. (10ma. ed.). México, D. F., México: Editorial Época, S. A de C. V.
- De Macedo, Manuel; Segura, Roxana; Piñero-Bonilla, Judith y Coello, Nereida. 2002. Obtención de un hidrolizado proteico por fermentación sumergida de plumas utilizando *Bacillus* spp. Revista Científica (FCV-LUZ). XII(3):214-220.
- del Moral, Ana; Torres, Borja; Quesada, Emilia; Llamas, Inmaculada; Martínez-Checa, Fernando y Béjar, Victoria. 2013. Un nuevo reto para el investigador: desarrollar su propia spin-off. En Libro de Resúmenes de la XI Reunión de la Red Nacional de Microorganismos Extremófilos. 8-10 Mayo. (pp. 50). Busquistar, Granada, España. ISBN: 978-84-941343-3-3.
- Demergasso, Cecilia; Chong, Guillermo; Galleguillos, Pedro; Escudero, Lorena; Martínez-Alonso, Maira. y Esteve, Isabel. 2003. Tapetes microbianos del Salar de Llamará, norte de Chile. Revista Chilena de Historia Natural. 76(3):485-499.
- Dharmaraj, Selvakumar and Dhevendaran, Kandasamy. 2010. Evaluation of *Streptomyces* as a probiotic feed for the growth of ornamental fish *Xiphophorus helleri*. Food Technology and Biotechnology. 48(4):497-504.
- Dionisi, Hebe M.; Lozada, Mariana y Olivera, Nelda L. 2012. Bioprospection of marine microorganisms: potential and challenges for Argentina. Revista Argentina de Microbiología. 44(2):122-132.
- Duarte, Oscar; Vehlo, Lea y Roa-Atkinson, Adriana. 2006. La bioprospección como mecanismo de cooperación para la construcción de capacidades endógenas en ciencia y tecnología y análisis de las capacidades de Colombia para adelantar procesos de bioprospección. En VI Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología (ESOCITE). 19-21 Abril. Bogotá, Colombia.
- Duarte-Torres, Oscar y Vehlo, Léa. 2009a. Capacidades científicas y tecnológicas de Colombia para adelantar prácticas de bioprospección. Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad. 4(12):55-68.
- Duarte-Torres, Oscar y Vehlo, Lea. 2009b. La bioprospección como un mecanismo de cooperación internacional para fortalecimiento de capacidades en ciencia y tecnología en Colombia. Ciência da Informação. 38(3):96-110.
- Everest, Gareth J.; Cook, Andrew E.; le Roes-Hill, Marilize and Meyers, Paul R. 2011. *Nocardia rhamnosiphila* sp. nov., isolated from soil. Systematic and Applied Microbiology. 34(7):508-512.
- Félix-Herrán, Jaime A.; Angoa-Pérez, María V.; Serrato-Flores, Rosalinda; Frías-Hernández, Juan T. y Olalde-Portugal, Víctor. 2007. Impacto de la densidad de gatuño (*Mimosa monancistra*) en la microflora de suelos del semiárido del Estado de Aguascalientes. Ra Ximhai. 3(2):461-480.
- Ferrer, Gabriela M.; Rasuk, M. Cecilia; Moreno, Julio; Farías, M. Eugenia y Albarracín, Virginia H. 2011. Búsqueda, aislamiento e identificación de compuestos citotóxicos a partir de extremófilos aislados de lagunas de altura puno-andinas. En Primeras Jornadas de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina.
- Friedman, Carolyn S.; Beaman, Blaine L.; Chun, Jongsik; Goodfellow, Michael; Gee, Arthur and Hedrick, Ronald P. 1998. *Nocardia crassostreae* sp. nov., the causal agent of nocardiosis in Pacific oysters. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 48(1):237-246.

- García-Garibay, Mariano; Quintero-Ramírez, Rodolfo y López-Munguía Canales, Agustín. 2004. Introducción general. En *Biotecnología alimentaria*. (pp. 13-24). México, D. F., México: Editorial Limusa, S. A. de C. V. Grupo Noriega Editores.
- Gómez-Rodríguez, Julio A. y Huete-Pérez, Jorge A. 2008. Bioprospección de enzimas de restricción en bacterias de suelos y ambientes volcánicos de Nicaragua. *Encuentro*. XL(81):70-87.
- Graham, Linda. 2007. La historia evolutiva de la diversidad biológica. En *Biología*. (pp. 510-709). Madrid, España: Editorial Médica Panamericana, S. A.
- Gutiérrez-Corona, Félix. 2011. Bioprospección de microorganismos a partir de residuos industriales y aplicación biotecnológica. Informe técnico. Periodo del reporte 16 de Septiembre de 2009 al 30 de Junio de 2011. Universidad de Guanajuato, México. http://www.pcti.gob.mx/foncicyt/seguimiento/Seguimiento%20Proyecto%20Uno/95887/1RTF_95887.pdf
- Heredia, J.; Isla, M.I.; Siñeriz, F. y Farías, M.E. 2005. Compuestos implicados en la resistencia a la radiación ultravioleta, extraídos de bacterias aisladas de lagunas de altura de los Andes. En XV Congreso Anual de SAMIG (Sociedad Argentina de Medicina Interna General). 28-29 Octubre. Buenos Aires, Argentina.
- Hernández-Fonseca, Hugo. 2010. Editorial. Bī'ō-tēk-nōl'ə-jē (Bi o tec nol o gí a). *Revista Científica (FCV-LUZ)*. XX(3):225-226.
- Herrera-Vásquez Sandra y Rodríguez-Yunta, Eduardo. 2004. Etnoconocimiento en Latinoamérica. Apropiación de recursos genéticos y bioética. *Acta Bioethica* X(2):181-190.
- INACH. 2011. Instituto Antártico Chileno. Programa Nacional de Ciencia Antártica. PROCIENT 2012. Punta Arenas, Chile: INACH. ISBN: 0719-0662. <http://www.inach.cl/wp-content/uploads/2011/12/PROCIEN-2012.pdf>
- Infante, Danay; Martínez, B.; González, Noyma y Reyes, Yusimy. 2009. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a los hongos fitopatógenos. *Revista de Protección Vegetal*. 24(1):14-21.
- Isik, Kamil; Chun, Jongsik; Hah, Yung Chil and Goodfellow, Michael. 1999. *Nocardia salmonicida* nom. rev., a fish pathogen. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 49(2):833-837.
- Jaramillo-Giraldo, Diana; Meléndez, Adelina del Pilar y Sánchez-Medina, Oscar Fernando. 2010. Evaluación de la producción de bacteriocinas a partir de *Lactobacilos* y *Bifidobacterias*. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 1(2):193-209.
- Juárez-Montiel, Margarita; Ruiloba de León, Sandra; Chávez-Camarillo, Griselda; Hernández-Rodríguez, César y Villa-Tanaca, Lourdes. 2011. Huitlacoche (corn smut), caused by the phytopathogenic fungus *Ustilago maydis*, as a functional food. *Revista Iberoamericana de Micología*. 28(2):69-73.
- Jurado, Valme; Boiron, Patrick; Kroppenstedt, Reiner M.; Laurent, Frédéric; Couble, Andrée; Laiz, Leonila; Klenk, Hans Peter; González, Juan M. *et al.* 2008. *Nocardia altamirensis* sp. nov., isolated from Altamira cave, Cantabria, Spain. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 58(9):2210-2214.
- Kaewkla, Onuma and Franco, Christopher M.M. 2010. *Nocardia callitridis* sp. nov., an endophytic actinobacterium isolated from a surface-sterilized root of an Australian native pine tree. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 60(7):1532-1536.
- Kämpfer, Peter; Lodders, Nicole; Grün-Wollny, Iris; Martin, Karin and Busse, Hans Jürgen. 2012. *Nocardia grenadensis* sp.

- nov., isolated from sand of the Caribbean Sea near Grenada. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 62(Pt.3):693-697.
- Kinoshita, Naoko; Homma, Yoshiko; Igarashi, Masayuki; Ikeno, Souichi; Hori, Makoto and Hamada, Masa. 2001. *Nocardia vinacea* sp. nov. *Actinomycetologica*. 15(1):1-5.
- Kumar, H.; Prasad, S.; Rag, J. and Bhalla, T.C. 2006. Constitutive acetonitrile hydrolysing activity of *Nocardia globerula* NHB-2: optimization of production and reaction conditions. *Indian Journal of Experimental Biology*. 44(3):240-245.
- Lamm, Andrew S.; Khare, Arshdeep; Conville, Patricia; Lau, Peter C.K.; Bergeron, Hélène and Rosazza, John P.N. 2009. *Nocardia iowensis* sp. nov., an organism rich in biocatalytically important enzyme and nitric oxide synthetase. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 59(10):2408-2414.
- le Roes, Marilize and Meyers, Paul R. 2006. *Nocardia gamkensis* sp. nov. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 90(3):291-298.
- Lee, Soon Dong. 2006. *Nocardia jejuensis* sp. nov., a novel actinomycete isolated from a natural cave on Jeju Island, Republic of Korea. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 56(3):559-562.
- Leuchtenberger, Wolfgang; Huthmacher, Klaus and Drauz, Karlheinz. 2005. Biotechnological production of amino acids and derivatives: current status and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 69(1):1-8.
- Leveau, J.Y. y Bouix, M. 2000. Microbiología industrial. Los microorganismos de interés industrial. Zaragoza, España: Editorial Acribia, S. A.
- Lezama-Cervantes, Carlos; Paniagua-Michel, José de Jesús y Zamora-Castro, Jorge. 2010. Biorremediación de los efluentes de cultivo del camarón *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) utilizando tapetes microbianos en un sistema de recirculación. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 38(1):129-142.
- Lima, Renata de Barros; Leite, Selma Gomes Ferreira; Pereira, Gabriella Silva Francisco; de Amaral, Isabella Cesario and Sobral, Luis Gonzaga Santos. 2012. Bioleaching of copper sulphide flotation concentrate in batch reaction system using mesophile and thermophile microorganisms. *Dyna*. 79(172):133-140.
- Loera-Quezada, Maribel M. y Olguín, Eugenia J. 2010. Las microalgas oleaginosas como fuente de biodiesel: retos y oportunidades. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*. 1(1):91-116.
- López, Marisol; Rodríguez, Belkys y España, Mingrelia. 2010. Tecnologías generadas por el INIA para contribuir al manejo integral de la fertilidad del suelo. *Agronomía Tropical*. 60(4):315-331.
- LRDS. 2013. La Radio del Sur. Venezuela presentó en Bruselas resultados de sus actividades científicas en la Antártida. <http://laradiodelsur.com/?p=178640>
- Madigan, Michael T.; Martinko, John M. y Parker, Jack. 1997. Brock. Biología de los microorganismos. (8va. ed.). Madrid, España: Prentice Hall. Iberia.
- Maguiña-Vargas, Ciro. 1996. Historia y medicina. Los aportes de Louis Pasteur a 100 años de su muerte. *Boletín de la Sociedad Peruana de Medicina Interna*. 9(1). http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/spmi/v09n1/Aport_Luis_Past.htm
- Martínez-Alonso, M. y Gaju, N. 2005. El papel de los tapetes microbianos en la biorrecuperación de zonas litorales sometidas a la contaminación por vertidos de petróleo. *Ecosistemas*. 14(2):79-91.
- Melgarejo, Luz Marina; Sánchez, Jimena; Chaparro, Alejandro; Newmark, Federico; Santos-Acevedo, Marisol; Burbano, Consuelo y Reyes, Carmen. 2002a. Aproximación al estado actual de la

- bioprospección en Colombia. Serie de documentos generales INVEMAR N° 10. Bogotá, Colombia: Cargraphics, S. A.
- Melgarejo, Luz Marina; Sánchez, Jimena; Reyes, Carmen; Newmark, Federico y Santos-Acevedo, Marisol. 2002b. Plan nacional en bioprospección continental y marina (propuesta técnica). Serie de documentos generales INVEMAR N° 11. Bogotá, Colombia: Cargraphics, S. A.
- MICIT. 2011. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Plan nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2011-2014. San José, Costa Rica. http://ticotal.cr/uploads/media/MICIT_Plan_Nacional_Ciencia_Tecnologia_Innovacion_2011-2014.pdf
- Microbial Art. 2013. <http://www.microbialart.com/>
- Miranda-C., Marcelo. 2009. Johannes Vermeer y Anthon van Leeuwenhoek: El arte y la ciencia de Delft unidos en su máxima expresión en el siglo de oro holandés. *Revista Médica de Chile*. 137(4):567-574.
- Morales, Ever; Rodríguez, Marisa; García, Digna; Loreto, César y Marco, Eduardo. 2002. Crecimiento, producción de pigmentos y exopolisacáridos de la cianobacteria *Anabaena* sp. PCC 7120 en función del pH y CO₂. *Interciencia*. 27(7):373-378.
- Mukai, Akira; Komaki, Hisayuki; Takagi, Motoki and Shin-ya, Kazuo. 2009. Novel siderophore, JBIR-16, isolated from *Nocardia tenerifensis* NBRC 101015. *The Journal of Antibiotics*. 62(10):601-603.
- NU. 1992. Naciones Unidas. Convenio sobre la diversidad biológica. <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Oddó-B., David. 2006. Infecciones por amebas de vida libre. Comentarios históricos, taxonomía y nomenclatura, protozoología y cuadros anatómo-clínicos. *Revista Chilena de Infectología*. 23(3):200-214.
- Otero, Miguel A. y Cabello, Agustín J. 2010. Obtención de extracto de levadura a partir de residuo de extracción alcalina de ácido ribonucleico de *Candida utilis*. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*. 44(2):16-20.
- Otero, Miguel A.; Guerrero, Isabel; Wagner, Jorge R.; Cabello, Agustín J.; Sceni, Paula; García, Roxana; Soriano, Jorge; Tomacini, Araceli; Saura, Gustavo y Almazán, Oscar. 2011. Yeast and its derivatives as ingredients in the food industry. *Biología Aplicada*. 28(4):272-275.
- Palla, Franco; Federico, Cesare; Russo, Roberta and Anello, Letizia. 2002. Identification of *Nocardia restricta* in biodegraded sandstone monuments by PCR and nested-PCR DNA amplification. *FEMS Microbiology Ecology*. 39(1):85-89.
- Pardo-B., Oriana. 2004. Las chichas en el Chile precolombino. *Chloris Chilensis*. 7(2). <http://www.chlorischile.cl/chichas/chichas.htm>
- Parra-Huertas, Ricardo Adolfo. 2009. Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. 62(1):4967-4982.
- Parra-Huertas, Ricardo Adolfo. 2010. Review. Bacterias ácido-lácticas: papel funcional en los alimentos. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 8(1):93-105.
- Peña, Haydee B. y Reyes, Isbelia. 2007. Aislamiento y evaluación de bacterias fijadoras de nitrógeno y disolventes de fosfatos en la promoción del crecimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Interciencia*. 32(8):560-565.
- Peralta, E.L. 2010. Proyecciones del Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE) en el Parcon-Espol: importancia para el desarrollo científico y productivo del país. *Revista Tecnológica ESPOL*. 23(1):1-12.
- Pimentel-González, D.J.; Rodríguez-Huezo, M.E.; Campos-Montiel, R.G.; Trapala-Islas, A. y Hernández-Fuentes, A.D. 2011.

- Influencia de la variedad de maíz en las características fisicoquímicas del huitlacoche (*Ustilago maydis*). Revista Mexicana de Ingeniería Química. 10(2):171-178.
- Piñero-Bonilla, J. y Escalante, D. 2009. Biorrecuperación de suelos contaminados con petróleo: evaluación del método de bioaumento y formulación de policultivos bacterio-fúngicos. Entreciencias. 1(3):39-48.
- Piñero-Bonilla, Judith. 2012. Evaluación del crecimiento de la cepa de *Nocardia* sp. EP3-MC3 en fermentación sumergida con residuos de naranja como fuente de carbono. Revista Electrónica Encuentro Transdisciplinar. 2(4):22 p.
- Piñero-Bonilla, Judith. 2013. Potencial biotecnológico del género *Nocardia*. Producción de biomasa y digestibilidad proteica. Saarbrücken, Alemania: Editorial Académica Española.
- Piñero-Bonilla, Judith y Díaz, Isabel. 2010. Optimización de un medio de cultivo para la producción de biomasa de *Nocardia* sp. a partir de residuos de naranja como sustrato. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología. 30(2):102-108.
- Piñero-Bonilla, Judith y Rivas, Nilo. 2004. Aislamiento y caracterización de una cepa de actinomiceto celulolítico, termófilo moderado y acidófilo. Revista Científica (FCV-LUZ). XIV(5):412-418.
- Piñero-Bonilla, Judith; Vidal, Luis y Coello, Nereida. 2000. Aislamiento y caracterización de una cepa de *Bacillus* spp. degradadora de plumas de aves de corral. Revista Científica (FCV-LUZ). X(2):124-129.
- Piqueras, Mercè. 2013. Historias del otro lado del microscopio. Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular (SEBBM). Reseña del libro Cuentos de microbios de Arthur Kornberg. http://www.sebbm.com/revista/libro_piqueras.html
- Pistonesi, Carlos; Haure, José Luis y D'Elmar, Roberto. 2010. Energía a partir de las aguas residuales. Argentina: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional (edUTecNe).
- Ponce-López, Ernesto. 2013. Superalimento para un mundo en crisis: *Spirulina* a bajo costo. IDESIA. 31(1):135-139.
- Puente, Fernando; Gómez-Rodríguez, Manuel; Amils, Ricardo; Souza-Egipsy, Virginia; Altamirano, María y Aguilera, Ángeles. 2013. Light stress in the extreme acidophilic protist *Euglena mutabilis* as revealed by *in situ* metatranscriptomics. En Libro de Resúmenes de la XI Reunión de la Red Nacional de Microorganismos Extremófilos. 8-10 Mayo. (pp. 36). Busquistar, Granada, España. ISBN: 978-84-941343-3-3.
- Ramírez-D., Ninfa; Serrano-R., José Antonio y Sandoval-T., Horacio. 2006. Microorganismos extremófilos. Actinomicetos halófilos en México. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas. 37(3):56-71.
- Ramírez-L., Concepción; Manjarrez-A., Norberto; Pérez-M., Herminia I.; Solís-O., Aida; Luna, Héctor y Cassani, Julia. 2009. Preparación de ingredientes farmacéuticos activos derivados de aductos de Baylis-Hillman con *Nocardia corallina* B-276. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas. 40(4):5-11.
- Ramírez-Moreno, Liliana y Olvera-Ramírez, Roxana. 2006. Uso tradicional y actual de *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.). Interciencia. 31(9):657-663.
- Ramírez, Pablo y Coha, Juana María. 2003. Degradación enzimática de celulosa por actinomicetos termófilos: aislamiento, caracterización y determinación de la actividad celulolítica. Revista Peruana de Biología. 10(1):67-77.
- Ramírez, Socorro. 2012. La cooperación amazónica. Desafíos y oportunidades de la cooperación amazónica a través de la

- OTCA. Bogotá, Colombia: Taller de Edición Rocca®, S. A. <http://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/otca-libro-socorro-ramirez.pdf>
- Ramos, M.^a Dolores, Quesada, Emilia, Béjar, Victoria y Martínez-Checa, Fernando. 2013. Nuevas estrategias para el cultivo y caracterización de la bacterias que pueblan Rambla Salada (Murcia) y no han podido ser aún cultivadas por métodos clásicos. En Libro de Resúmenes de la XI Reunión de la Red Nacional de Microorganismos Extremófilos. 8-10 Mayo. (pp. 45). Busquistar, Granada, España. ISBN: 978-84-941343-3-3.
- REDEX. 2013. Red Nacional de Microorganismos Extremófilos. Bienvenida. En Libro de Resúmenes de la XI Reunión de la Red Nacional de Microorganismos Extremófilos. 8-10 Mayo. (pp. 5). Busquistar, Granada, España. ISBN: 978-84-941343-3-3.
- Rodríguez-Nava, Verónica; Khan, Z.U.; Pötter, Gabriele; Kroppenstedt, Reiner M.; Boiron, Patrick and Laurent, Frédérick. 2007. *Nocardia coubleae* sp. nov., isolated from oil-contaminated Kuwaiti soil. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 57(7):1482-1486.
- Rosenblatt-Farrell, Noah. 2009. El paisaje de la resistencia a los antibióticos. Salud Pública de México. 51(5):435-442.
- Safalaoh, A.C.L. 2006. Body weight gain, dressing percentage, abdominal fat and serum cholesterol of broilers supplemented with a microbial preparation. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development. 6(1):1-10.
- Saintpierre-Bonaccio, Danielle; Maldonado, Luis A.; Amir, Hamid; Pineau, René and Goodfellow, Michael. 2004. *Nocardia neocaledoniensis* sp. nov., a novel actinomycete isolated from a New-Caledonian brown hypermagnesian ultramafic soil. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 54(2):599-603.
- Sánchez, Claudia P.; Mejía, Carlos E.; Figueroa-M., Carlos; Esquivia, Mabel; Agudelo, Lina María y Zapata-Q., Norela. 2004. Bioprospección de microorganismos nativos amilolíticos. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2(1):8-17.
- Sastoque-Cala, Leonardo; Cotes-Prado, Alba M.; Rodríguez-Vázquez, Refugio y Pedroza-Rodríguez, Aura M. 2010. Effect of nutrients and fermentation conditions on the production of biosurfactants using rhizobacteria isolated from fique plants. Universitas Scientiarum. 15(3):251-264.
- Saval, Susana. 2012. Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. BioTecnología. 16(2):14-46.
- Schmidt, Charles W. 2010. Synthetic biology. Environmental health implications of a new field. Environmental Health Perspectives. 118(3):a118-a123.
- Segura, Antígona. 2010. La Tierra vista como exoplaneta. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 27(2):374-385.
- Seo, Jae Pyo and Lee, Soon Dong. 2006. *Nocardia harenae* sp. nov., an actinomycete isolated from beach sand. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 56(9):2203-2207.
- Seo, Jae Pyo; Yun, Yoe Won and Lee, Soon Dong. 2007. *Nocardia spelunca* sp. nov., isolated from a cave. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 57(12):2932-2935.
- Serrano, José Antonio y Sandoval y Trujillo, A. Horacio. 2005. Identificación y diagnóstico de actinomicetales patógenos. Mérida, Venezuela. Publicaciones del Vicerrectorado Académico, Universidad de Los Andes. Colección Ciencias de la Salud. Mérida, Venezuela: Editorial Venezolana, S. A.

- STA. 2013. Secretaría del Tratado Antártico. Tratado Antártico. http://www.ats.aq/documents/keydocs/vol_1/vol1_2_AT_Antarctic_Treaty_s.pdf
- Stratton, H.M.; Seviour, R.J.; Soddell, J.A.; Blackall, L.L. and Muir, D. 1996. The opportunistic pathogen *Nocardia farcinica* is a foam-producing bacterium in activated sludge plants. *Letters in Applied Microbiology*. 22(5):342-346.
- Suguna, S. and Rajendran, K. 2012. Production of probiotics from *Streptomyces* sp. Associated with fresh water fish and its growth evaluation on *Xiphorouss helleri*. *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archive*. 3(3):601-603.
- Varnero, María T.; Carú, Margarita; Galleguillos, Karina y Achondo, Patricio. 2012. Tecnologías disponibles para la purificación de biogás usado en la generación eléctrica. *Información Tecnológica*. 23(2):31-40.
- Wilmot, Ian; Wongtawan, Tuempong; Quigley, Mindy and Sullivan, Gareth. 2011. Biomedical and social contributions to sustainability. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 369:1730-1747.
- Wong-Paz, Jorge E.; de la Cruz-Quiroz, Reynaldo; Reyes-Arreozola, María Isabel; Loredo-Treviño, Araceli y Aguilar, Cristóbal. 2011. El pasado de la tecnología e ingeniería biológica. *Acta Química Mexicana*. 3(6):1-7.
- Xing, Ke; Qin, Sheng; Fei, Shi Min; Lin, Qiang; Bian, Guang Kai; Miao, Qian; Wang, Yun; Cao, Cheng Liang; Tang, Shu Kun; Jiang, Ji Hong and Li, Wen Jun. 2011. *Nocardia endophytica* sp. nov., an endophytic actinomycete isolated from the oil-seed plant *Jatropha curcas* L. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 61(8):1854-1858.
- Yépez-García, Ana. 2010. Sistemas de dos componentes y regulación de la producción de antibióticos en *Streptomyces coelicolor*. Tesis Doctoral. Instituto de Microbiología Bioquímica, C.S.I.C./Departamento de Microbiología y Genética, Universidad de Salamanca, España.
- Zapata, Paola; Rojas, Diego; Fernández, Carlos; Ramírez, David; Restrepo, Gloria; Orjuela, Viviana; Arroyave, Marcela; Gómez, Tatiana y Atehortúa, Lucía. 2007. Producción de biomasa y exopolisacáridos de *Grifola frondosa* bajo cultivo sumergido utilizando fuentes de carbono no convencionales. *Revista EIA (Escuela de Ingeniería de Antioquia, Colombia)*. 7:137-144.
- Zhao, Guo Zhen; Li, Jie; Zhu, Wen Yong; Klenk, Hans Peter; Xu, Li Hua and Li, Wen Jun. 2011. *Nocardia artemisiae* sp. nov., an endophytic actinobacterium isolated from surface-sterilized stem of *Artemisia annua* L. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 61(12):2933-2937.
- Zumbado-Rivera, Wendy; Esquivel-Rodríguez, Patricia y Wong-González, Eric. 2006. Selección de una levadura para la producción de biomasa en suero de queso. *Agronomía Mesoamericana*. 17(2):151-160.
- Zurbriggen, Cristina y González-Lago, Maiana. 2010. Análisis de las iniciativas MERCOSUR para la promoción de la ciencia, la tecnología y la innovación. Montevideo, Uruguay: CEFIR (Centro de Formación para la Integración Regional). <http://idl-bnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/45323/1/131789.pdf>