



Reseña

## ***Bacillus firmus*: aplicaciones y potencialidades como probiótico en la acuicultura**

### *Bacillus firmus*: Applications and Potentialities as a Probiotic for Aquaculture

Liane Mary González-León \*, Mariela Rizo Porro \*, Amílcar Arenal Cruz \*\*

\*Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad de Camagüey, Cuba.

\*\*Laboratorio de Bioquímica, Departamento de Morfofisiología, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Camagüey, Cuba.

Correspondencia: [liane.gonzalez@reduc.edu.cu](mailto:liane.gonzalez@reduc.edu.cu)

Recibido: Mayo, 2022; Aceptado: Mayo, 2022; Publicado: Julio, 2022.

## RESUMEN

**Antecedentes:** En la actualidad, numerosas cepas bacterianas del género *Bacillus* se utilizan como probióticos para promover el crecimiento en organismos acuáticos cultivados, especialmente en estadios larvarios. **Objetivo.** Realizar una revisión sobre las diferentes aplicaciones de *Bacillus firmus* en la industria con énfasis en su uso como probiótico en la acuicultura. **Desarrollo:** *B. firmus*, es una bacteria beneficiosa ampliamente utilizada como nematocida en la protección de cultivos en la agricultura, en la biorremediación de ambientes contaminados, en la producción de enzimas y como probiótico en la acuicultura. Se destacan las potencialidades de su uso en el cultivo del camarón para el control de enfermedades y el manejo de la calidad del agua del estanque. **Conclusiones:** Sin embargo, no ha sido suficientemente investigado su mecanismo específico en el cultivo de camarones, aspecto que resulta de gran interés para poder explotar todos los beneficios que ofrece esta bacteria en este renglón de la economía.

**Palabras claves:** bacteria, camarón, cultivo, probióticos (*Fuente: MESH*)

## ABSTRACT

**Background:** Nowadays, numerous bacterial strains, genus *Bacillus*, are used as probiotics to promote the growth of cultivated aquatic organisms, particularly in their larval stages. **Aim.** To conduct a review of the different applications of *Bacillus firmus* in the industry, with emphasis on their use as a probiotic for aquaculture. **Development:** *B. firmus* is a widely used beneficial bacterium as a nematocide to protect crops, the bioremediation of contaminated environments,

### Como citar (APA)

González-León, L., Rizo Porro, M., & Arenal Cruz, A. (2022). *Bacillus firmus*: aplicaciones y potencialidades como probiótico en la acuicultura. *Revista de Producción Animal*, 34(2). <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e4213>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

enzyme production, and as a probiotic for aquaculture. Its potentiality for shrimp culture is outstanding for controlling diseases and water quality management in the pond. **Conclusions:** Nevertheless, its specific mechanisms for shrimp culture have not been studied broadly, which is particularly interested in providing all the benefits that this bacterium offers to this economic sector.

**Keywords:** bacterium, shrimp, culture, probiotics (*Source: MeSH*)

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una de las actividades económicas de mayor crecimiento, que aporta cerca del 50 % de la oferta mundial de pescado (Ramírez -Fernández, 2018). El cultivo del camarón representa uno de los sectores más lucrativos debido a la creciente demanda en el mercado internacional. El tamaño global del mercado del camarón fue de 39 mil millones para fines de 2017, y se estima que para el año 2027 alcance un valor de más de 67 mil millones (FAO, 2020). El camarón blanco es el crustáceo marino que más se cultiva en la acuicultura, con el 75,7 % de la producción mundial de todas las especies de camarones marinos cultivados (Toledo *et al.*, 2018). Sin embargo, la intensificación de este sector expone a los organismos de cultivo a condiciones de estrés, las cuales conducen al desarrollo de enfermedades que causan una alta mortalidad. Ante esta situación los probióticos emergen como una alternativa viable para una acuicultura sostenible y amigable con el medio ambiente (Toledo *et al.*, 2018).

Diversos son los estudios acerca de las aplicaciones y efectos benéficos de los probióticos en la acuicultura (Peñalosa-Martinell *et al.* 2020; Valdes Vaillant *et al.*, 2020) y específicamente sobre las bacterias del género *Bacillus* (Kuebutornye y Abarike, 2019). En la actualidad, numerosas cepas bacterianas de este género se utilizan como probióticos para promover el crecimiento en organismos acuáticos cultivados, especialmente en estadios larvarios. No obstante, el aislamiento y caracterización de nuevas cepas cobra especial interés por parte de los investigadores. Existe la necesidad de aislar más cepas probióticas de *P. vannamei* en medios de cultivo mejorados. Además, se deben realizar más investigaciones para secuenciar los genomas de los probióticos para la identificación de genes funcionales, y el desarrollo de nuevos productos enzimáticos mediante ensayos *in vitro* para la modulación del estado fisiológico de *P. vannamei* a través de la dieta.

En este contexto se inserta la bacteria *Bacillus firmus*, ampliamente utilizada en el control de enfermedades en la agricultura y la acuicultura, de la que se han aislado cientos de cepas de diversos entornos. El objetivo del presente trabajo es realizar una revisión sobre las diferentes aplicaciones de *B. firmus* en la industria con énfasis en su uso como probiótico en la acuicultura.

## DESARROLLO

*Bacillus firmus* fue identificado por Bredemann y Werner en 1933, es Gram positiva, perteneciente al grupo I de riesgo y reportada como GRAS (Generally Recognize as Safe) con

crecimiento aerobio y formación de endosporas en forma elipsoidal. En agar sus colonias miden de 2 a 4 mm de diámetro con bordes irregulares y consistencia gomosa. Algunas cepas de esta especie son tolerantes alcalinos y pueden crecer en ambientes con un pH hasta 11. Se podría decir que: debido a la similitud de las características morfológicas con *B. pumilus* y *B. subtilis* su identificación se basa en diferencias fisiológicas y otras genéticas como 16S rDNA (Geng *et al.*, 2014).

Es utilizada como probiótico en diferentes sistemas de producción pecuaria y en la acuicultura; así como también numerosos estudios reportan sus efectos benéficos en la agricultura, la biorremediación, la producción de enzimas extracelulares y endonucleasas y en la producción de biohidrógeno (Sinha y Pandey, 2014; d'Errico *et al.*, 2019; Baramée *et al.*, 2020; Barathi *et al.*, 2020; Bhatt *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2021).

### ***Bacillus firmus* como probiótico**

Numerosas cepas bacterianas del género *Bacillus* se utilizan como probióticos para promover el crecimiento en organismos acuáticos cultivados, especialmente en estados larvarios. Varios estudios reconocen la actividad probiótica del *B. firmus* en organismos como la tilapia del Nilo, la carpa Gibel, rotíferos y en el cultivo del camarón blanco (Aly *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2018; Ruiz-Toquica *et al.*, 2020). La adición de esta bacteria a la dieta de estos organismos ha demostrado su capacidad para mejorar la supervivencia y varios indicadores productivos, así como las potencialidades de su empleo en la acuicultura, no obstante, no son muchos los estudios que abordan al respecto.

En su estudio Aly *et al.* (2008) demostraron la actividad probiótica del *B. firmus* en *O. niloticus* (tilapia del Nilo), donde mostró efectos inhibidores contra *A. hydrophila* in vitro y no causó signos de enfermedad ni mortalidad cuando se inyectó en los peces. Sun *et al.* (2013) encontraron cepas de *B. firmus* provenientes del tracto digestivo de camarones sanos y demostraron que, suministradas en el alimento aumentan significativamente la supervivencia e inmunidad de *P. vannamei* en presencia de virus del síndrome de la mancha blanca (Sun *et al.*, 2013). Jamali *et al.* (2015) hacen referencia en su estudio al efecto benéfico como probiótico promoviendo el crecimiento y la supervivencia en el cultivo de larvas de *P. vannamei* (Jamali *et al.*, 2015)

Otros autores como Li *et al.* (2018) evaluaron los efectos de la suplementación dietética con *B. firmus* ( $10^8$  unidades formadoras de colonias (UFC)/g) sobre la actividad de las enzimas digestivas en el intestino y sobre la composición bacteriana en *L. vannamei*. En su estudio los camarones alimentados con una dieta que contenía *B. firmus* exhibieron la actividad de amilasa, pepsina y lipasa más altas. Estos hallazgos sugieren que estos probióticos podrían mejorar la utilización de nutrientes mejorando las actividades de las enzimas digestivas de *Penaeus vannamei* y dando forma a la composición de la microbiota intestinal (Li *et al.*, 2018).

De acuerdo con Ruiz-Toquica *et al.* (2020), *B. firmus* tiene tolerancia a sales biliares, fuerte actividad fosfatasa y actividad antimicrobiana frente a patógenos como *Vibrio alginolyticus* y *Aeromonas hydrophila*, entre otros. Estos autores afirman que tras su administración por tres

semanas a poslarvas de camarón ( $10^6$  UFC mL<sup>-1</sup> · día<sup>-1</sup>) causó un aumento significativo en la tasa de crecimiento específica (TEC =  $3,8 \pm 0,7$  % día<sup>-1</sup>), el incremento de peso diario (ADG =  $1,5 \pm 0,1$  mg día<sup>-1</sup>) y en la tasa de conversión alimenticia en comparación con los controles sin adición de esta bacteria (PBS estéril). Así mismo, la administración de *B. firmus* a rotíferos después de 48 h de cultivo causó un aumento en la tasa de crecimiento específica (TEC =  $20,2 \pm 1,5$  % día<sup>-1</sup>), fertilidad (F =  $0,4 \pm 0,03$  huevos individuos<sup>-1</sup>) y productividad (R =  $16,0 \pm 0,7$  individuos mL<sup>-1</sup>) (Ruiz-Toquica *et al.*, 2020).

Li *et al.* (2019) proponen un enfoque novedoso acerca del mecanismo probiótico de esta bacteria basado en su actividad anti *Quorum sensing* (QS). La interferencia del QS, también conocido como *quorum quenching*, es un método alternativo al empleo de antibióticos en el control de enfermedades en la acuicultura. Las principales moléculas de señalización o autoinductoras en el sistema QS son las acil-homoserina-lactonas (El-Esawi *et al.*) producidas por patógenos gram negativos, como *A. hydrophila*, *A. salmonicida* y *Vibrio harveyi*, que regulan diversas funciones biológicas, incluida la liberación de factores de virulencia y la formación de biofilms de patógenos. En este estudio los autores demostraron la capacidad del *B. firmus* de interferir en la detección del QS del patógeno y atenuar significativamente la producción de factores de virulencia de *A. hydrophila*, incluida la formación de proteasa, hemolisina y biofilms en el cultivo de la carpa gibel (Li *et al.*, 2019).

### **Propiedades bionematicidas del *Bacillus firmus***

En investigaciones recientes, *B. firmus* se describe y caracteriza como nematicida, como un agente de biocontrol prometedor para el manejo integrado en la agricultura sostenible (Huang *et al.*, 2021).

Varios estudios demuestran que esta es efectiva contra diferentes nemátodos de plantas y posee inhibición de la eclosión del huevo actividad letal y parálisis en parásitos nemátodos (Xiong *et al.*, 2015). Tiene un amplio espectro de actividad, reduce la sintomatología y los daños de diferentes tipos de nemátodos de impacto económico en numerosos cultivos (d'Errico *et al.*, 2019). Se destaca su eficacia sobre los nemátodos formadores de agallas del género *Meloidogyne*. También se describe su actividad sobre nemátodos formadores de quistes (*Heterodera* sp., *Globodera* sp.) y nemátodos endoparásitos migratorios como nemátodos de las raíces (*Pratylenchus* sp., *Tylenchulus* sp) y nemátodo espiral (*Helicotylenchus* sp.) (Ghahremani *et al.*, 2020).

*B. firmus* es también utilizado como controlador biológico de *Phytophthora capsici* en tomate (Lagunas-Lagunas, 2001) y como biofertilizante (Cuervo Lozada, 2010). Posee un gran potencial para promover el crecimiento de las plantas, lo cual se demostró en cultivos como tomate y algodón (Huang *et al.*, 2021). De ahí su empleo como agente activo para nuevas generaciones de biofertilizantes y biopesticidas que convierten a esta bacteria en un agente de control biológico por excelencia para la protección de cultivos, con propiedades que podrían ser utilizadas también en la acuicultura, específicamente en el cultivo del camarón.

La intensificación del cultivo de camarones es afectada por la aparición de enfermedades causadas por virus, bacterias y, aunque en menor grado de parásitos dentro de los que se pueden encontrar los metazoarios. Los camarones peneidos son hospederos intermediarios de varias larvas de metazoarios como: nemátodos, céstodos y tremátodos, de ahí la necesidad de utilizar un controlador biológico que permita eliminarlos.

### ***Fijador biológico de nitrógeno***

El género *Bacillus* presenta una gran versatilidad metabólica y se ha demostrado su capacidad de llevar a cabo el proceso de fijación biológica de nitrógeno. La fijación biológica del nitrógeno es un proceso microbiano en el que el nitrógeno atmosférico se reduce a amonio y se incorpora a la biomasa, con lo que pasa a constituir la fuente principal de nitrógeno para las plantas (Zlotnikov *et al.*, 2001). Esta estrategia cobra gran interés por parte de la comunidad científica la necesidad de aplicar estrategias amigables y sostenibles que mejoren la productividad del suelo y la obtención de productos en óptimas condiciones. Sin embargo, no hay suficientes fuentes que describan el mecanismo de acción de las nitrogenasas del género *Bacillus*.

En 1998 Xie y colaboradores realizaron experimentos con muestras de suelo de las cuales fueron aisladas endosporas generadoras de cepas con ARA (actividad de reducción de acetileno); por lo cual, en dicho estudio se verificó la fijación de nitrógeno en las cepas de *Bacillus licheniformis*, *B. subtilis*, *B. cereus*, *B. pumilus*, *B. brevis* y *B. firmus* (Corrales-Ramírez *et al.*, 2017)

Se ha demostrado que *B. firmus* tiene la capacidad de potenciar la actividad nitrogenasa de microorganismos aislados de otras plantas como *Dactylus glomerata* y potencia la actividad nitrogenasa del diazotrofo *Klebsiella terrigena*. *B. firmus* podría proteger la nitrogenasa de *K. terrigena* del dioxígeno, ya que esta enzima se inactiva con las tensiones de dioxígeno que normalmente existen en la atmósfera, todo esto se puede traducir en un aumento de la cantidad de nitrógeno fijado por la planta por lo que se reduciría considerablemente el uso de fertilizantes nitrogenados de origen químico (Zlotnikov *et al.*, 2001).

En su estudio Cuervo Lozada, (2010), declara el potencial de *B. firmus* como fijador biológico de nitrógeno y solubilizador de fosfato, con actividad nitrogenasa en medios selectivos (Cuervo Lozada, 2010).

Estas características, amplían las perspectivas de esta bacteria en cuanto a su uso como probiótico en el cultivo del camarón donde, además de las enfermedades, se encuentra la dificultad en el manejo de la calidad del agua; causada por la acumulación de materia orgánica y metabolitos tóxicos, como los compuestos nitrogenados. Aspecto que permitiría reducir el recambio del agua de cultivo, debido a la capacidad de transformar el amonio a nitrógeno libre, eliminando su toxicidad, análogo a lo que pasa en un filtro biológico en un sistema de recirculación de agua.

La calidad del agua del estanque, es un punto crítico en el proceso de cultivo y debe ser controlada en los parámetros físicos, químicos y biológicos. Los parámetros deben encontrarse en rangos aceptables para el buen desarrollo del camarón. En caso contrario, la población de cultivo

podría pasar a tener bajo crecimiento, proliferación de patógenos con brotes de enfermedad, eventuales mortalidades y baja calidad del producto final.

### ***Biorremediación***

El empleo de *B. firmus* para la remoción de metales pesados de las aguas residuales industriales demuestran la adaptación a ambientes tóxicos, así como la capacidad de esta bacteria de utilizar arsénico, cobalto, zinc, cadmio y mercurio de ahí que constituya una alternativa atractiva en el campo de la biorremediación. Los microorganismos, sobre todo las bacterias fitobenéficas, son eficaces en la decoloración de colorantes azoicos, tolerando metales y el estrés salino (Mahmood *et al.*, 2020).

Salehizadeh y Shojaosadati, (2003) demostraron el potencial de bioabsorción de Pb, Cu, Zn por un nuevo polisacárido producido por *B. firmus*, mientras que Keung *et al.* (2008) informan la posibilidad del firmus para solubilizar el Cd y el Zn. Por otra parte, Bachate *et al.* (2013) la consideran un candidato potencial para la biorremediación de ambientes contaminados con As y Cr pues reportan la capacidad de la bacteria de reducir el Cr (VI) y oxidar al As (III) a sus formas menos tóxicas (Bachate *et al.*, 2013).

En su investigación Dino *et al.* (2019) la informan como capaz de biodegradar la anilina de las aguas residuales de la industria textil, mientras que Barathi *et al.* (2020) reportan la competencia de este microorganismo para degradar altas concentraciones de tintes textiles reactivos industriales RB160 y su capacidad para convertirlos en productos no tóxicos para el medio ambiente.

Además de niveles inadecuados de parámetros físicos, químicos y biológicos en los estanques de cultivo, existen contaminantes en el agua que podrían comprometer la producción de camarones. Entre ellos se puede incluir hidrocarburos, plaguicidas, desechos tóxicos industriales, aguas servidas de poblaciones cercanas y metales pesados. La exposición de los animales acuáticos a ambientes tóxicos no solo puede provocar daños en la estructura intestinal y el sistema inmunitario, sino que también puede afectar la estructura de la microbiota intestinal.

Los aspectos anteriores demuestran las potencialidades de esta bacteria y de su mecanismo de acción en la mejora de la calidad del agua en los estanques de cultivo dónde se administra.

### ***Producción de enzimas***

Una de las aplicaciones más citadas en la literatura del *B. firmus* es la obtención de varias enzimas extracelulares como las proteasas (Moon y Parulekar, 1993).

Las enzimas proteolíticas ocupan un 65 % del mercado global de enzimas industriales debido a sus múltiples aplicaciones: son utilizadas en diversos procesos industriales tales como la producción de alimentos, productos farmacéuticos, así como la formulación de detergentes (Annamalai *et al.*, 2014). Estas, son preferidas antes que las enzimas obtenidas de plantas y animales ya que poseen la mayor parte de las características que se requieren en los procesos biotecnológicos industriales.

Algunos autores refieren la capacidad de esta bacteria para producir enzimas xilanolíticas como xilanasas y  $\beta$ -xiloxidasa (Fatmawati *et al.*, 2021) endonucleasas celulares como la ciclodextrina glicosiltransferasa (CGTasa) (Gawande *et al.*, 1998; Gawande *et al.*, 1999; Mahat *et al.*, 2004; Moriwaki *et al.*, 2007; Mazzer *et al.*, 2008; Pazzetto *et al.*, 2011; Bueno *et al.*, 2014), enzimas fibrinolíticas (Seo y Lee, 2004) y xilanasas termoestables (Tseng *et al.*, 2002; Baramée *et al.*, 2020).

El uso de probióticos como promotores de crecimiento en alimentación animal se debe principalmente a la mejora reportada en la producción, asociada con un aumento en la digestión y absorción de nutrientes. Algunos de los compuestos antimicrobianos sintetizados y secretados por las bacterias probióticas son: antibióticos, ácidos grasos de cadena corta (fórmico, acético, propiónico, butírico y láctico), peróxido de hidrógeno, sideróforos (compuestos quelantes) de hierro y enzimas bacteriolíticas (lisozima), amilasas y proteasas (Pérez-Chabela *et al.*, 2020).

## CONCLUSIONES

Las características que distinguen a *Bacillus firmus* y su utilización en diversas aplicaciones de la industria amplían sus perspectivas y hacen de esta una bacteria con potencial probiótico en la acuicultura. A pesar de que numerosos estudios demuestran su capacidad para la mejora de la calidad del agua e interferencia del *quorum sensing* como mecanismo de acción probiótica, no ha sido suficientemente investigado su mecanismo específico en el cultivo de camarones, aspecto que resulta de gran interés para poder explotar todos los beneficios que ofrece esta bacteria en este renglón de la economía.

## REFERENCIAS

- Aly, S. M., Abd-El-Rahman, A. M., John, G., & Mohamed, M. F. (2008). Characterization of some bacteria isolated from *Oreochromis niloticus* and their potential use as probiotics. *Aquaculture*, 277(1-2), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.021>
- Annamalai, N., Rajeswari, M., Sahu, S., & Balasubramanian, T. (2014). Purification and characterization of solvent stable, alkaline protease from *Bacillus firmus* CAS 7 by microbial conversion of marine wastes and molecular mechanism underlying solvent stability. *Process Biochemistry*, 49(6), 1012-1019. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.03.007>
- Bachate, S. P., Nandre, V. S., Ghatpande, N. S., & Kodam, K. M. (2013). Simultaneous reduction of Cr(VI) and oxidation of As(III) by *Bacillus firmus* TE7 isolated from tannery effluent. *Chemosphere*, 90(8), 2273-2278. DOI:[10.1016/j.chemosphere.2012.10.081](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.10.081)
- Baramée, S., Siriatcharanon, A.-k., Ketbot, P., Teeravivattanakit, T., Waeonukul, R., Pason, P., . . . & Phitsuwan, P. (2020). Biological pretreatment of rice straw with cellulase-free xylanolytic enzyme-producing *Bacillus firmus* K-1: Structural modification and biomass

- digestibility. *Renewable Energy*, 160, 555-563. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.061>
- Barathi, S., Karthik, C., S, N., & Padikasan, I. A. (2020). Biodegradation of textile dye Reactive Blue 160 by *Bacillus firmus* (Bacillaceae: Bacillales) and non-target toxicity screening of their degraded products. *Toxicology Reports*, 7, 16-22. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.11.017>
- Bueno, M. R., Cavalcanti, A., Melo, J., Olivo, J., & Zanin, G. (2014). Obtenção de ciclomaltodextrina-glicanotransferase em processo fermentativo por *Bacillus firmus* cepa 37 para produção de ciclodextrinas. *Congreso brasileño de Ingeniería química*. <http://pdf.blucher.com.br.s3saeast1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/0607-24743-176105.pdf>
- Corrales-Ramírez, L., Caycedo-Lozano, L., Gómez-Méndez, M., Ramos-Rojas, S., & Rodríguez-Torres, J. (2017). *Bacillus* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *Nova*, 15, 46-65. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/29823>
- Cuervo Lozada, J. P. (2010). Aislamiento y Caracterización de *Bacillus* spp como fijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8434>
- d'Errico, G., Marra, R., Crescenzi, A., Davino, S. W., Fanigliulo, A., Woo, S. L., & Lorito, M. (2019). Integrated management strategies of *Meloidogyne incognita* and *Pseudopyrenochaeta lycopersici* on tomato using a *Bacillus firmus*-based product and two synthetic nematicides in two consecutive crop cycles in greenhouse. *Crop Protection*, 122, 159-164. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.05.004>
- Dino, A., Brindha, R., Jayamuthunagai, J., & Bharathiraja, B. (2019). Biodegradation of aniline from textile industry waste using salt tolerant *Bacillus firmus* BA01. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 12(3), 360-366. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.eaef.2019.04.003>
- El-Esawi, M. A., Alaraidh, I. A., Alsahli, A. A., Alamri, S. A., Ali, H. M., & Alayafi, A. A. (2018). *Bacillus firmus* (SW5) augments salt tolerance in soybean (*Glycine max* L.) by modulating root system architecture, antioxidant defense systems and stress-responsive genes expression. *Plant Physiology and Biochemistry*, 132, 375-384. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.09.026>
- FAO. (2020). *El estado mundial 2020 de la pesca y la acuicultura*. In. DOI:<https://doi.org/10.4060/ca9231es>
- Fatmawati, N. V., Ketbot, P., Phitsuwan, P., Waeonukul, R., Tachaapaikoon, C., Kosugi, A., . . . & Pason, P. (2021). Efficient biological pretreatment and bioconversion of corn cob by the sequential application of a *Bacillus firmus* K-1 cellulase-free xylanolytic enzyme and

- commercial cellulases. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(11), 4589-4598. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-021-11308-9>
- Gawande, B. N., Goel, A., Patkar, A. Y., & Nene, S. N. (1999). Purification and properties of a novel raw starch degrading cyclomaltodextrin glucanotransferase from *Bacillus firmus*. *Appl Microbiol Biotechnol*, 51, 504-509. <https://link.springer.com/article/10.1007/s002530051424>
- Gawande, B. N., Singh, R. K., Chauhan, A. K., Goel, A., & Patkar, A. Y. (1998). Optimization of cyclomaltodextrin glucanotransferase production from *Bacillus firmus*. *Enzyme and Microbial Technology*, 22(4), 288-291. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(97\)00184-1](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(97)00184-1)
- Geng, C., Nie, X., Tang, Z., Zhang, Y., Lin, J., Sun, M., & Peng, D. (2016). A novel serine protease, Sep1, from *Bacillus firmus* DS-1 has nematicidal activity and degrades multiple intestinal-associated nematode proteins. *Scientific reports*, 6(1), 1-12. <https://www.nature.com/articles/srep25012>
- Huang, M., Bulut, A., Shrestha, B., Matera, C., Grundler, F. M., & Schleker, A. S. S. (2021). *Bacillus firmus* I-1582 promotes plant growth and impairs infection and development of the cyst nematode *Heterodera schachtii* over two generations. *Scientific reports*, 11(1), 1-15. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-93567-0>
- Jamali, H., Reza, R., Imani, A., Isari, A., & Abdollahi, D. (2015). Use of probiotic *Bacillus* spp. in rotifer (*Brachionus plicatilis*) and Artemia (*Artemia urmiana*) enrichment: Effects on growth and survival of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, larvae. *Probiotics & Antimicro. Prot.*, 7, 118-125. DOI:[10.1007/s12602-015-9189-3](https://doi.org/10.1007/s12602-015-9189-3)
- Keung, Feng, G., Peiyuan, Q., & Wen-Xiong, W. (2008). Influences of metal-ligand complexes on the cadmium and zinc biokinetics in the marine bacterium, *Bacillus firmus*. *Environmental Toxicology & Chemistry*, 27(1), 131-137. DOI:[10.1897/07-048.1](https://doi.org/10.1897/07-048.1)
- Kuebutornye, F., & Abarike, E. (2019). A review on the application of *Bacillus* as probiotics in Aquaculture. *Fish and Shellfish Immunology*. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.02.010>
- Lagunas, J., Zavaleta, E., Osada, S., Aranda, S., Luna, I., & Vaquera, H. (2001). *Bacillus firmus* como agente de control biológico de *Phytophthora capsici* Leo. en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 19(1), 57-65. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61219108.pdf>
- Li, E., Xu, C., Wang, X., Wang, S., Zhao, Q., Zhang, M., . . . & Chen, L. (2018). Gut Microbiota and its Modulation for Healthy Farming of Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(3), 381-399. DOI:[10.1080/23308249.2018.1440530](https://doi.org/10.1080/23308249.2018.1440530)

- Li, M., Xi, B., Qin, T., Chen, K., Ren, M., & Xie, J. (2019). Indigenous AHL-degrading bacterium *Bacillus firmus* sw40 affects virulence of pathogenic *Aeromonas hydrophila* and disease resistance of gibel carp. *Aquaculture Research*, 50(12), 3755-3762. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/are.14338>
- lozada, J. P. C. (2010). *Aislamiento y caracterización de bacillus spp comofijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales*. (Trabajo de grado), Pontificia Universidad JAVERIANA, Bogotá. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/54683>
- Mahat, M. K., Illias, R. M., Rahman, R. A., Rashid, N. A. A., Mahmood, N. A. N., Hassan, O., . . . & Kamaruddin, K. (2004). Production of cyclodextrin glucanotransferase (CGTase) from alkalophilic *Bacillus* sp. TS1-1: media optimization using experimental design. *Enzyme and Microbial Technology*, 35(5), 467-473. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2004.07.008>
- Mahmood, F., Shahid, M., Hussain, S., Haider, M. Z., Shahzad, T., Ahmed, T., . . . Khan, M. B. (2020). *Bacillus firmus* strain FSS2C ameliorated oxidative stress in wheat plants induced by azo dye (reactive black-5). *3 Biotech*, 10(2), 1-13. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13205-019-2031-y>
- Mazzer, C., Ferreira, L. R., Rodella, J. R. T., Moriwaki, C., & Matioli, G. (2008). Cyclodextrin production by *Bacillus firmus* strain 37 immobilized on inorganic matrices and alginate gel. *Biochemical Engineering Journal*, 41(1), 79-86. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.03.010>
- Moon, S. H., & Parulekar, S. J. (1993). Some observations on protease production in continuous suspension cultures of *Bacillus firmus*. *Biotechnology and bioengineering*, 41(1), 43-54. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18601244/>
- Moriwaki, C., Costa, G., Pazzetto, R., Moraes, F., Portilho, M., & Matioli, G. (2007). Production and characterization of a new cyclodextrin glycosyltransferase from *Bacillus firmus* isolated from Brazilian soil. *Process Biochemistry*, 42(10), 1384-1390. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.07.007>
- Pazzetto, R., de Oliveira Delani, T. C., Fenelon, V. C., & Matioli, G. (2011). Cyclodextrin production by *Bacillus firmus* strain 37 cells immobilized on loofa sponge. *Process Biochemistry*, 46(1), 46-51. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.07.008>
- Peñalosa-Martinell, D., Vela-Magaña, M., Ponce-Díaz, G., & Araneda Padilla, M. E. (2020). Probiotics as environmental performance enhancers in the production of white shrimp (*Penaeus vannamei*) larvae. *Aquaculture*, 514, 734491. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734491>
- Pérez-Chabela, M. d. L., Alvarez-Cisneros, Y., M., Soriano-Santos, J., & Pérez-Hernández, M. A. (2020). Los probióticos y sus metabolitos en la acuicultura. Una Revisión.

*Hidrobiológica*, 30, 93-105.  
<https://scholar.archive.org/work/anrwij65w5drpl346rnunw5rr4/access/wayback/https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/download/1394/1087/>

- Ramírez-Fernández, P. E. V. A., Ernesto Evaristo; Miranda, Ricardo. (2018). Estudio estratégico para el desarrollo sostenible de la acuicultura de agua dulce en Camagüey. *Producción animal*, 30(1), 58-65.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018888972020000100093&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018888972020000100093&script=sci_abstract&tlng=en)
- Ruiz-Toquica, J. S., Becerra-Real, L. M., & Villamil-Díaz, L. M. (2020). Effect of *Bacillus firmus* C101 on the growth of *Litopenaeus vannamei* Boone (White Shrimp) post-larvae, and *Brachionus plicatilis* s.s. Müller (Rotifer). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 49, 63-80.  
[https://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S012297612020000100063](https://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012297612020000100063)
- Salehizadeh, H., & Shojaosadati, S. A. (2003). Removal of metal ions from aqueous solution by polysaccharide produced from *Bacillus firmus*. *Water Research*, 37(17), 4231-4235. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00418-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00418-4)
- Seo, J.-H., & Lee, S.-P. (2004). Production of fibrinolytic enzyme from soybean grits fermented by *Bacillus firmus* NA-1. *Journal of Medicinal Food*, 7(4), 442-449.  
<https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/jmf.2004.7.442>
- Sinha, P., & Pandey, A. (2014). Biohydrogen production from various feedstocks by *Bacillus firmus* NMBL-03. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(14), 7518-7525. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.08.134>
- Sun, Y., Song, X., Liu, F., Li, Y., & Huang, J. (2013). Isolation and identification of *Bacillus* sp. and evaluation of its effect on WSSV disease resistance in *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Fisheries of China*, 37(4), 574-583.  
<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133235778>
- Toledo, A., Castillo, N. M., Carrillo, O., & Arenal, A. (2018). Probióticos: una realidad en el cultivo de camarones. Artículo de revisión. *Revista de Producción Animal*, 30(2), 57-71.  
[https://www.scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-79202018000200009](https://www.scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202018000200009)
- Tseng, M.-J., Yap, M.-N., Ratanakhanokchai, K., Kyu, K. L., & Chen, S.-T. (2002). Purification and characterization of two cellulase free xylanases from an alkaliphilic *Bacillus firmus*. *Enzyme and Microbial Technology*, 30(5), 590-595. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(02\)00018-2](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(02)00018-2)
- Valdes Vaillant, Y., Mejías Palmero, J., Corrales Barrios, Y., López Rodríguez, M., Hernández Sario, T., Arenal Cruz, A., & Bossier, P. (2020). Efecto de prebióticos y probióticos en la expresión y actividad de fenoloxidasas en camarones *Penaeus*: Meta-análisis. *Agrisost*, 26(3), 1-16. <https://biblio.ugent.be/publication/8753279>

Xiong, J., Zhou, Q., Luo, H., Xia, L., Li, L., Sun, M., & Yu, Z. (2015). Systemic nematicidal activity and biocontrol efficacy of *Bacillus firmus* against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 31(4), 661-667. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-015-1820-7>

Zlotnikov, A. K., Shapovalova, Y. N., & Makarov, A. A. (2001). Association of *Bacillus firmus* E3 and *Klebsiella terrigena* E6 with increased ability for nitrogen fixation. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(11), 1525-1530. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071701000700>

### CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: LMGL, MRP, AAC; redacción del artículo: LMGL, MRP, AAC.

### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses.