



CIENCIAS TÉCNICAS

Artículo original de investigación

Aditivo plastificante de origen microbiano para la producción de hormigón premezclado en Cuba

José Fernando Martirena Hernández ¹<https://orcid.org/0000-0002-0219-0739>

Yelenys Alvarado-Capó ²<https://orcid.org/0000-0003-1721-717X>

Robelio Ramos Méndez ³<https://orcid.org/0000-0001-7006-741X>

Yosvany Díaz-Cárdenas ¹<https://orcid.org/0000-0001-5522-0746>

Yaset Rodríguez-Rodríguez ³<https://orcid.org/0000-0003-3937-2031>

Alina Hereira Díaz ⁴<https://orcid.org/0000-0002-9460-984X>

Tatiana Pichardo Moya ²<https://orcid.org/0000-0001-9416-2649>

Adrián Alujas Díaz ⁴<https://orcid.org/0000-0001-7012-9414>

Zenaida Rodríguez Negrín ³<https://orcid.org/0000-0003-0350-1647>

María Betania Díaz García ¹<https://orcid.org/0000-0002-7805-7504>

Raúl González-López ¹<https://orcid.org/0000-0003-0007-1266>

Juan Vera González ⁵<https://orcid.org/0000-0002-4467-1776>

José Antonio Artilés Álvarez ⁶<https://orcid.org/0000-0002-3925-9584>

¹ Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara, Cuba

² Centro de Bioactivos Químicos, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara, Cuba

³ Instituto de Biotecnología de las Plantas, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara, Cuba

⁴ Centro de Estudios de Química Aplicada, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara, Cuba

⁵ Empresa de Construcción y Montaje de Villa Clara. Santa Clara, Cuba

⁶ Empresa Constructora de Obras del Turismo, Cayo Santa María. Santa Clara, Cuba

*Autor para la correspondencia: martirena@uclv.edu.cu

RESUMEN

Revisores ^a

Editor

Lisset González Navarro
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

^a **N. del E:** En este apartado figuran los nombres de los árbitros que accedieron a revelar su identidad, como expresión de apertura progresiva del proceso de revisión por pares. No aparecen aquellos que optaron por el anonimato.

Introducción: Los aditivos químicos son un componente esencial para la fabricación de hormigón. Cuba importa estos productos, y por esta razón la demanda no es cubierta. Un equipo multidisciplinario se propuso como objetivo desarrollar un aditivo plastificante producido con materias primas nacionales. **Métodos:** Se caracterizó el producto, y se validó el incremento de la fluidez y la mejora de la hidratación en pastas de cemento. Se formuló el producto de forma comercial y se validó su dosis de empleo en hormigones, así como el impacto sobre la fluidez y resistencia de estos. Se diseñó e implementó una tecnología para su producción y se montó una planta piloto. **Resultados:** Se desarrolló el producto CBQ-VTC[®], que cumple con los requisitos de la NC 271:2003 y NC 228-1:2005. Reduce el agua (13 %-15 %) utilizada en hormigones; generó incrementos (5 %-10 %) de la resistencia, y redujo 25 kg/m³-28 kg/m³ de cemento por m³ de hormigón. El MICONS emitió el certificado DITEC No. 818, que permite su comercialización. Se cuenta con una planta en producción, con capacidad de pro-

Traductor

Darwin A. Arduengo García
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

ducir hasta 30 mil litros mensuales, y se han comercializado hasta principios de 2021: 96 282 litros, con ahorros superiores a 1 MM CUP y sustitución de importaciones por más de 60 M USD. Como conclusiones, el producto biológico desarrollado ha demostrado funcionar como fluidificante moderado y genera además modestos incrementos de resistencia. El producto CBQ-VTC® cuenta con un certificado DITEC para su comercialización en el país. El trabajo presentado cierra un ciclo de investigación multidisciplinaria con un producto concreto, que es producido y comercializado en el país, y que permite realizar ahorros de materiales y sustitución de importaciones.

Palabras clave: bioproductos; microorganismos eficientes; resistencia a la compresión

Microbial-based plasticizing additive for ready-mixed concrete in Cuba

ABSTRACT

Introduction: Chemical admixtures are an important component in concrete formulation. Cuba imports these products, and the current demand is not covered. A multidisciplinary team was set to develop a new, locally developed plasticizer, produced with local raw materials. **Methods:** Characterization of the bio-product was done, as well as the validation of the increase in flow and the improvement of cement hydration. The product was formulated commercially and its use in concrete was also validated, including the impact on strength. A technology for the manufacture of the product was designed and implemented in a pilot plant. **Results:** the product CBQ-VTC® was developed. It meets the requirements of NC 228-1:2005 and NC 271:2003 and allows an increase in the plasticity of cement pastes. It reduces the water (13%-15%) used in the concrete, generated increases (5%-10%) in the strength and reductions of 25 kg-28 kg of cement/m³ of concrete. MICONS issued the DITEC certificate Nr. 818, which allows commercial trading. A pilot plant with the capacity to produce up to 30 thousand liters per month has been set into production, and until beginning of 2021, 96 282 liters of the product have been sold, with savings above 1MM CUP and import substitution in the range of 60M USD. As some conclusions the bio-product has been proven as moderate fluidizer and its contribution to improving hydration, which reflects on modest increases in compressive strength in concrete. CBQ-VTC® is issued with a DITEC certificate for further commercial sales. The work presented closes a cycle of multidisciplinary research which ends up in a concrete product, that is produced and sold within the country, with savings in materials and import substitutions.

Keywords: bioproducts; efficient microorganisms; compressive strength

INTRODUCCIÓN

Con el incremento esperado de las producciones de cemento a nivel mundial, también se elevan las emisiones de dióxido de carbono. Por ello se requiere de la búsqueda de alternativas que hagan más eficiente el uso de este recurso. En este contexto, uno de los materiales más utilizados en la construcción es el hormigón. ⁽¹⁾

En la fabricación de este material, los aditivos químicos son un componente esencial y se incluyen en las normas técnicas como materias primas fundamentales para garantizar

el cumplimiento de los requisitos de calidad y durabilidad. Estos compuestos introducidos en el hormigón en una dosis inferior al 5 % del peso del cemento, permiten modificar sus propiedades en una forma susceptible de ser prevista y controlada. Se clasifican como: plastificantes, fluidificantes, colorantes, retardadores/aceleradores de fraguado, incorporadores de aire, entre otros. Estos productos no deben tener efectos negativos en otras propiedades del hormigón y su costo debe justificar su empleo. ^(2,3)

Dentro de los aditivos, los plastificantes tienen gran importancia. Se utilizan tanto en hormigones de altas presta-

ciones como los autocompactables, como en hormigones de consistencia plástica y seca donde se requiera una resistencia elevada con reducción de agua en la mezcla cementicia. Los aditivos tradicionales a base de lignosulfatos y los superplastificantes (SP) a base de naftaleno y melamina dispersan las partículas de cemento floculadas mediante un mecanismo de repulsión electrostática. Cuando no se adicionan plastificantes las partículas de cemento forman aglomerados y retienen agua en su interior lo cual impacta de manera negativa en la resistencia y durabilidad del hormigón. ⁽²⁾ El efecto de los plastificantes se puede comprobar a través del estudio de las propiedades reológicas de pastas, morteros y hormigones. ^(4,5)

Aunque el uso de aditivos es imprescindible para garantizar una adecuada producción de hormigones, por los volúmenes que se requieren para cubrir la demanda constructiva del país y su alto costo a nivel mundial, aún no se logra cubrir la demanda. Esto implica que en la actualidad se utilicen aditivos solo en los hormigones de resistencias superiores a los 25 MPa, que son aproximadamente el 50 % de los hormigones producidos en el país. El resto, por las razones expuestas, se producen sin aditivos, y esto incrementa el consumo de cemento y compromete la durabilidad del material.

Existen varias referencias internacionales del empleo de microorganismos eficientes (MEF), como aditivos plastificantes en hormigones. Los estudios realizados se limitan a validar las propiedades de hormigones con diferentes dosis de estos productos, sin profundizar en el principio activo del producto MEF, ni en las causas de los impactos beneficiosos observados. ^(4,6,7) Los productos de la familia MEF tienen la ventaja que utilizan materias primas locales (mieles de azúcar, suero de leche) y cultivos de bacterias también locales. ^(4,8)

Con este antecedente, un equipo multidisciplinario de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas se propuso como objetivo desarrollar un aditivo plastificante de fabricación nacional que cumpliera con los requerimientos para emplearse en hormigón premezclado. ^(9,10,11) Este artículo presenta los principales hitos de este trabajo de más de 10 años de investigación, que terminó en un producto registrado para su empleo comercial.

MÉTODOS

El trabajo se dividió en varias etapas: a) validación del principio activo de un producto de origen biológico, similar en su fabricación al producto MEF, que contribuye a la mejora de la fluidez de pastas de cemento, b) formulación de un producto comercial a partir del principio activo y empleando diferentes tecnologías de producción, y c) introducción a escala

comercial del producto. Las 2 últimas fases se enfocan en una formulación del producto que cumpla con los requisitos de la norma cubana NC 228-1:2005, enfocado hacia morteros y hormigones. La última etapa incluyó una prueba industrial en facilidades productivas en el territorio central, supervisada por la entidad registradora en el país.

La validación del principio activo se realizó empleando un producto que se denominará "MEF" como nombre genérico de microorganismos eficientes (inglés). Este producto consiste en el resultado de productos de la fermentación anaeróbica de un cultivo de microorganismos naturales. El inóculo inicial es una combinación de varias especies de bacilos lácticos, microorganismos fototrópicos y levaduras, cultivados en 2 pasos de fermentación bajo condiciones controladas. Se caracterizaron los microorganismos mediante el sistema de identificación microbiana API (BioMerieux).

El producto MEF fue caracterizado siguiendo las especificaciones de la norma cubana NC 228-1:2005: homogeneidad, color, densidad relativa, sólidos totales, pH, contenidos de cenizas, sustancias insolubles. Se realizaron otros ensayos como: conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos (STD). Para ello se utilizaron los siguientes equipos: pH-metro HI2211 y conductímetro HI2300. Adicionalmente se empleó la técnica de espectroscopia de absorción atómica (EAA) con llama aire/acetileno para cuantificar los elementos metálicos presentes en el bioproducto. La cantidad de ácido láctico y acético fue cuantificada usando la técnica de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Finalmente, el contenido de azúcares reductores se determinó por el método de Lane-Eynon, según la norma cubana NC-712: 2009. La caracterización preliminar de los componentes orgánicos se realizó mediante la separación e identificación (cualitativa) de grupos funcionales. Las técnicas más empleadas para la caracterización estructural de compuestos orgánicos son espectroscopías de: ultravioleta-visible (UV-Vis), infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR).

La validación del impacto del bioproducto se realizó en pastas, morteros y hormigones, todos producidos con cemento Portland. El estudio en pastas se realizó para una relación agua/cemento constante de 0,40. El bioproducto fue usado en dosis de (2; 3,5 y 5) %. El aporte al flujo, pérdida de la plasticidad en el tiempo y por ciento de reducción de agua se analizó empleando el ensayo del minicono, según lo descrito en la norma cubana NC-235:2013, y la evaluación de las propiedades reológicas empleando un viscosímetro que permite establecer la relación entre el torque (T) y la tensión de ruptura. Se estudió además la consistencia normal y tiempos de fraguado, siguiendo el protocolo de la norma cubana NC-524:2015.

El calor de hidratación de las mismas pastas fue medido usando la técnica de la calorimetría isotérmica, como una medida del impacto del bioproducto sobre la cinética de la hidratación del cemento.

Los estudios en hormigón sirvieron para validar el impacto del producto a escala nano y microestructural. Para esto se empleó la técnica de nano-indentación de las fases hidratadas (C-S-H) en hormigones. Se estudiaron 2 series de hormigón, una producida con un plastificante comercial y otra producida con el producto MEF. La nanoindentación fue realizada con un nanoindentador CSM UNHT en el Laboratorio de Caracterización Químico-Mecánica de la Universidad Laval; a una penetración máxima de 250 nm, y fue mantenida por 600 s con una punta Berkovich para el indentador. La carga y descarga se realizó a un rango de penetración de 50 nm/s. Se comparó la respuesta elástica, dureza y comportamiento visco-elástico a largo plazo de las muestras estudiadas, parámetros que han demostrado correlacionar con macro propiedades en hormigones como la fatiga o la resistencia a compresión. ⁽¹²⁾

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización microbiológica del producto MEF detectó la presencia de levaduras y bacterias que crecieron de forma sinérgica. Algunas de las especies identificadas fueron *Lactobacillus collinoides*, *Lactobacillus paracasei* sub. *paracasei*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus buchneri*, *Bacillus* spp. (*B. circulans*, *B. licheniformis*, *B. pumilus*, *B. subtilis*), *Pae-nibacillus* spp. (*P. polymyxa*) y *Brevibacillus* spp. Las levaduras incluyen especies que pertenecen a *Candida* y *Saccharomy-*

ces entre otros. ⁽¹³⁾ En el producto final el crecimiento microbiano se inhibe por el pH bajo.

El bioproducto cumple con los requisitos de la norma cubana NC 228-1:2005. Aunque tiene un pH ácido, estudios realizados en hormigones reales a los que se mide el pH de la solución de poros demuestran que el pH de esta no cambia en las dosificaciones empleadas (hasta un 5 % del peso de cemento). ⁽⁹⁾ El bioproducto tiene bajo contenido de sólidos totales, de ahí las dosis relativamente altas en su empleo. Esto está relacionado con la tecnología de producción empleada. El espectro infrarrojo del bioproducto presenta las bandas asignadas a los grupos funcionales orgánicos presentes, que son los principales responsables de la repulsión que se produce cuando el ácido láctico y acético es adsorbido en la superficie de los granos de cemento y cambia su carga eléctrica. ^(7,9,10,13) Este mecanismo explica el efecto dispersante del producto.

Los ensayos de pastas de cemento en el minicono demostraron que el bioproducto contribuyó a disminuir el contenido del agua de amasado desde (7,61-11,51) % en las pastas de cemento a las dosis ensayadas, por lo que se puede clasificar como un aditivo tipo plastificante. Además, se observan efectos de retardo sobre los tiempos de fraguado (tanto iniciales como finales) en los resultados del ensayo de la aguja de Vicat, y a medida que se incrementan las dosis de adición del bioproducto, estos son mayores. ^(11,14)

Los estudios de reometría realizados evidencian la reducción de la tensión de ruptura (figura 1), en comparación con la pasta sin aditivo. La baja concentración de este producto

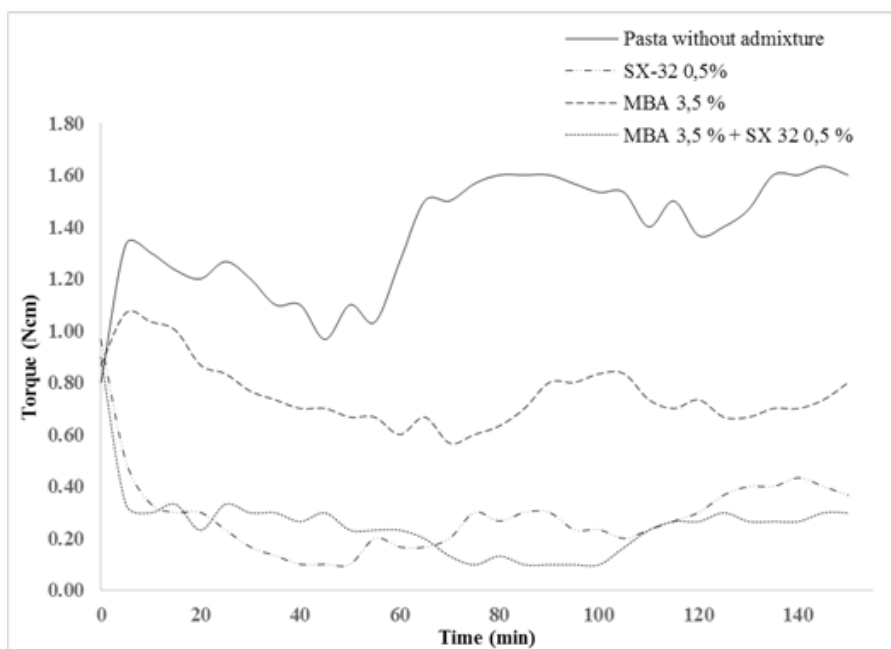


Fig. 1. Variación en el torque en pastas aditivadas con MEF y otros productos comerciales. ⁽¹⁵⁾

(2,32 % sólidos totales) impide llegar a resultados similares a los de productos comerciales, con 22,1 % de sólidos totales. Los tiempos de flujo de pastas de cemento medidos a través del ensayo del cono Marsh muestran el efecto del bioproducto sobre la viscosidad y a la tensión de fluencia del sistema.

Los efectos presentados son producto del efecto dispersante del producto MEF sobre las partículas de cemento a las dosis evaluadas, es decir, con su utilización se contribuye a evitar la floculación de los granos de cemento. ^(9,11) Estos efectos beneficiosos deben a la presencia de ácidos carboxílicos. ^(3,11,15)

El ensayo de calorimetría isotérmica confirmó que la presencia del bioproducto modifica la cinética de hidratación de pastas de cemento Portland. En este caso el efecto consiste en una ampliación de los picos de hidratación y la aparición de un "hombro" que se corresponde con la hidratación de la fase aluminica, efecto que también se ve en productos comerciales (figura 2). ^(9,11,13)

Los ensayos de nano-indentación confirman que la adición del producto MEF al hormigón aumenta la resistencia de los productos hidratados (C-S-H), a través de mejorar la cohesión y fricción de los nano-granos; disminuye el rango absoluto de relajación a largo plazo, e inhibe la precipitación de C-S-H de densidad más alta; esta última basada solamente en consideraciones mecánicas, por lo que se espera un impacto sobre macro propiedades como la resistencia a compresión. ⁽¹²⁾

Se han desarrollado varios productos comerciales. El primer producto, MEF32, fue desechado debido al bajo contenido

de sólidos totales, relacionado con el proceso productivo de doble fermentación. Los costos de producción del producto fueron altos, ya que usaba productos de importación. Las altas dosis necesarias para lograr un impacto sobre el hormigón estaban por encima de lo permitido por la norma NC 228-1:2005. Por tanto, se descartó esta opción, aunque se produjeron 20 mil litros, que fueron empleados en la fabricación de más de 400 m³ de hormigón.

La modificación del proceso productivo a una sola fase de fermentación permitió el registro del producto CBQ-VTC, producido en el Centro de Bioactivos Químicos de la UCLV. Este producto recibió su certificado de idoneidad DITEC en diciembre de 2019. ⁽¹⁶⁾ Entre sus principales propiedades está: a) cumple con los requisitos de la norma NC 271, b) la dosis recomendada es el 3%-4 % del peso de cemento, c) demuestra un notable incremento de la plasticidad en pastas de cemento, d) reduce entre un 13 %-15 % de agua en los hormigones, e) incrementa la resistencia entre un 5 %-10 %, para dosis entre 3 %-4 % del peso de cemento, y f) reduce 25 kg/m³ -28 kg/m³ de cemento por m³ de hormigón.

Conclusiones

Se ha demostrado la posibilidad de producir un producto plastificante moderado a partir de la fermentación de productos naturales. Este producto, que ha sido registrado en su formulación correspondiente al CBQ-VTC[®] es el primer aditivo plastificante de origen microbiano para hormigones que se registra en Cuba. Cumple con los requisitos de las normas cubanas y permite una reducción de un 13 %-15 % del agua en

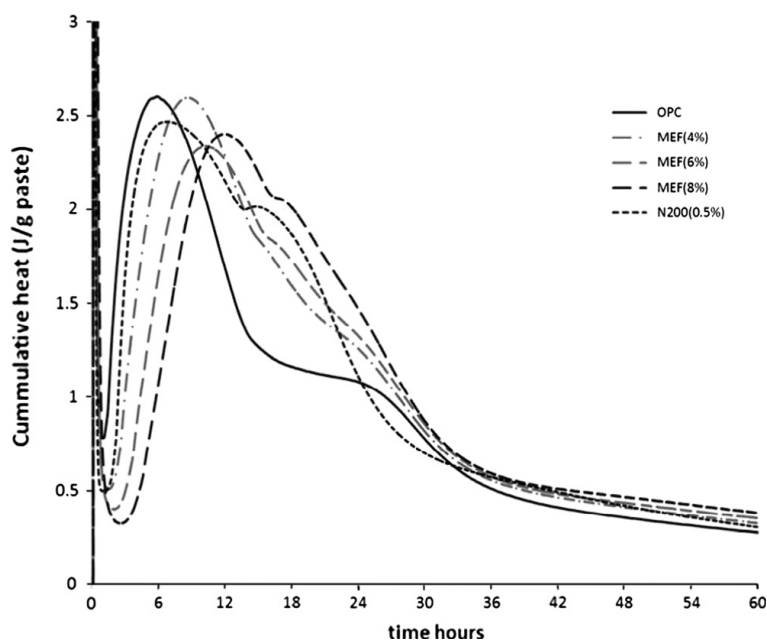


Fig. 2. Calor de hidratación en pastas de cemento con varias dosis del producto MEF. ⁽¹³⁾

hormigones, y un incremento de un 5 %-10 % de la resistencia en todas las edades. Se ratifica en la investigación científica las causas de ambos efectos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Scrivener KL, John VM, Gartner EM. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*. 2018;114:2-6.
2. Kovler K, Roussel N. Properties of fresh and hardened concrete. *Cem Concr Res* 2011;41:775-92.
3. Pacheco-Torgal F, Labrincha JA. Biotech cementitious materials: Some aspects of an innovative approach for concrete with enhanced durability. *Constr Build Mater*. 2013; 40:1136-41.
4. Sato N, Higa T, Shoya M, Sugita S. Some Properties of Concrete mixed with Effective Microorganisms and the On-Site Investigation of the Completed Structures. 28th Conference on Our World in Concrete & Structures; 28-29 August Singapore 2003:483-90.
5. Provis JL, Duxson P, Van Deventer JSJ. The role of particle technology in developing sustainable construction materials. *Adv Powder Technol* 2010;21:2-7.
6. Cheng TAN, Andrew S, Syahrizal II, Jamaluddin MY. Effective Microorganisms for Concrete (EMC) Admixture – Its Effects to the Mechanical Properties of Concrete. *Casp J Appl Sci Res*. 2013:150-7.
7. Bolobova AV, Kondrashchenko VI. Use of yeast fermentation waste as a biomodifier of concrete (Review). *Appl Biochem Microbiol*. 2000;36:205-14.
8. Yatim JM, Rahman WAW, Mohd AR. Characterisation and Effects of the Effective Micro-organics (EM) and Industrial Waste (IW) Materials as a Partial Mixture in Concrete. *Skudai: UTM Press*; 2009.
9. Martirena F, Rodríguez-Rodríguez Y, González C, González R, Y. Alvarado-Capó. Bioplasticizer for concrete. In: Schroebl VMaC, editor. *International RILEM Conference on Application of Superabsorbent Polymers and Other New Admixtures in Concrete Construction: RILEM Publications SARL*; 2014:127-38.
10. Díaz MB, Ramos R, Díaz Y, Martirena F. Solución sostenible con la introducción del aditivo de origen biológico como reductor de la retracción en hormigones fluidos de 35MPa. *Revista Científica Monfragüe Resiliente*. 2017;IX:1-12
11. Martirena F, Rodríguez-Rodríguez Y, Callico A, González R, Díaz Y, Bracho G, Alujas A, Guerra JO, Alvarado-Capó Y. Microorganism-based bioplasticizer for cementitious materials. *Constr Build Mater*. 2014;60:91-7.
12. Venkovic N, Sorelli L, Martirena F. Nanoindentation study of calcium silicate hydrates in concrete produced with effective microorganisms-based bioplasticizer. *Cem Concr Compos*. 2014; 49:127-39.
13. Martirena F, Rodríguez-Rodríguez Y, Callico A, Díaz Y, Bracho G, Hereira A, Guerra JO, Sorelli L, Alvarado-Capó Y. Microorganism-based bioplasticizer for cementitious materials. In: Pacheco-Torgal VI, N. Karak, H. Jonkers editor. *Biopolym Biotech Admixtures Eco-Efficient Constr Mater: Woodhead Publishing- Elsevier*; 2016:152-71.
14. Rodríguez Rodríguez Yaset, José Fernando Martirena Hernández, Alina Hereira Díaz, Yelenys Alvarado-Capó, Yosvany Díaz-Cárdenas, Raúl González López, Development and evaluation of a Microorganism-Based Admixture (MBA) in Materials Cementitious.

RILEM 253-MCI Conference «Microorganisms-Cementitious Materials Interactions»; Toulouse, France. Jun/2018; A. Bertron and H. Jonkers (eds), RILEM Publication S.A.R.L., Proceedings PRO 123, 2018, pp 585-587. ISBN: 978-2-35158-207-7

15. Martirena F, Rodríguez-Rodríguez Y, Hereira A, Díaz-Cárdenas Y, González R, Alvarado-Capó Y. Bioadmixture as an alternative to modify rheology of concrete. In: Z. Wang JL, J. Plank, T.C. Holland, J. Huang, editor. *Twelfth International Conference Superplasticizers and other chemical admixtures in concrete*; 28-31 October 2018; Beijing, China: American Concrete Institute 2018.
16. Centro de Investigación y Desarrollo de la Construcción. Documento de idoneidad técnica para productos y sistemas de construcción no tradicionales (DITEC) a Aditivo Plastificante CBQ-VTC@878. La Habana: Ministerio de la Construcción; 2019.

Recibido: 06/09/2022

Aprobado: 15/11/2022

Agradecimientos

Los autores manifiestan su agradecimiento a los colaboradores de este trabajo: Camilo A. González Díaz, Sergio Betancourt Rodríguez, Iván Machado López, Juan J. Dopico, Edisleidy Aguila Jiménez, Miriam Díaz Díaz, Mirieisy Seijo Wals, Osmany Marrero Chang, Zoe A. Castañedo Hernández, Adonis J. Huici, Lázaro Miranda Rodríguez, María Isabel Díaz Molina, Daniellys López Pérez, Orlando Alvarez González, Raquel Hernández González, Marisol Freire, Berkis Roque, Eloísa Rodríguez, Mayra Acosta-Suárez, Mileidy Cruz Martín, Angel Mollineda Trujillo, Concepción Campa Huergo, Adriana Callico, Gustavo Bracho, Kenia Fernández, Mariela Naranjo, Tania Valdés, Girardo Martín, Dairom Blanco-Betancourt, Leidy Fonte Carballo, Grisell Barrios Castillo, Mayra Nápoles Pouza, José O. Guerra de León, Dulce Ma González Mosquera, Lucca Sorelli, Nicolas Venkovic y 34 estudiantes que realizaron sus tesis de diploma en esta temática.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses entre ellos, ni con la investigación presentada.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: José Fernando Martirena Hernández, Yelenys Alvarado-Capó, Robelio Ramos Méndez, Yosvany Díaz-Cárdenas, Yaset Rodríguez-Rodríguez, Alina Hereira Díaz, Adrián Alujas Díaz, María Betania Díaz García, Raúl González-López

Curación de datos: José Fernando Martirena Hernández, Yelenys Alvarado-Capó, Robelio Ramos Méndez, Yosvany Díaz-Cárdenas, Yaset Rodríguez-Rodríguez, Alina Hereira Díaz, Adrián Alujas Díaz, María Betania Díaz García, Raúl González-López, Juan Vera González, José Antonio Artilles Álvarez

Análisis formal: José Fernando Martirena Hernández, Yelenys Alvarado-Capó, Tatiana Pichardo Moya, Yaset Rodríguez-Rodríguez, Robelio Ramos Méndez, Zenaida Rodríguez Negrín, Alina Hereira Díaz, Adrián Alujas Díaz, María Betania Díaz García, Raúl González-López, Juan Vera González, José Antonio Artilles Álvarez

Adquisición de fondos: José Fernando Martirena Hernández, Zenaida Rodríguez Negrín

Investigación: José Fernando Martirena Hernández, Yelenys Alvarado-Capó, Tatiana Pichardo Moya, Robelio Ramos Méndez, Yosvany Díaz-Cárdenas, Yaset Rodríguez-Rodríguez, Alina Hereira Díaz, María Betania Díaz García, Raúl González-López

Metodologías: Tatiana Pichardo Moya, Robelio Ramos Méndez, Yosvany Díaz-Cárdenas

Administración de proyecto: José Fernando Martirena Hernández, Zenaida Rodríguez Negrín

Recursos: José Fernando Martirena Hernández, Zenaida Rodríguez Negrín

Supervisión: José Fernando Martirena Hernández

Validación: Juan Vera González, José Antonio Artilles Álvarez

Visualización: José Fernando Martirena Hernández, Yelenys Alvarado-Capó, Robelio Ramos Méndez, Yosvany Díaz-Cárdenas, Yaset Rodríguez-Rodríguez, Alina Hereira Díaz, María Betania Díaz García, Raúl González-López

Redacción-borrador original: José Fernando Martirena Hernández, Yelenys Alvarado-Capó, Yaset Rodríguez-Rodríguez, Robelio Ramos Méndez, Zenaida Rodríguez Negrín

Redacción-revisión y edición: José Fernando Martirena Hernández, Yelenys Alvarado-Capó, Robelio Ramos Méndez, Yosvany Díaz-Cárdenas, Yaset Rodríguez-Rodríguez, Alina Hereira Díaz, María Betania Díaz García, Raúl González-López

Financiamiento

Este trabajo recibió contribución financiera para su ejecución de las entidades ejecutoras participantes y del proyecto del Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Construcción "Introducción de bioplastificantes en la producción de hormigón premezclado en Cuba", que fue ejecutado entre 2013-2018.

Cómo citar este artículo

Martirena Hernández JF, Alvarado-Capó Y, Ramos Méndez R, Díaz-Cárdenas Y *et al.* Aditivo plastificante de origen microbiano para la producción de hormigón premezclado en Cuba. An Acad Cienc Cuba [internet] 2023 [citado en día, mes y año];13(2):e1313. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1313>

El artículo se difunde en acceso abierto según los términos de una licencia Creative Commons de Atribución/Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0), que le atribuye la libertad de copiar, compartir, distribuir, exhibir o implementar sin permiso, salvo con las siguientes condiciones: reconocer a sus autores (atribución), indicar los cambios que haya realizado y no usar el material con fines comerciales (no comercial).

© Los autores, 2023.

