



## Concreto autoconsolidable conteniendo aditivos naturales como agentes modificadores de viscosidad

### Self-compacting concrete containing natural additives as viscosity modifying admixtures

AnaY. Blandón López<sup>1</sup>, Eddisson F. Hernández<sup>1,\*</sup>, Sofía A. Arauz Navarro<sup>1</sup>, Xaviera L. Mayorga Parrales<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Ingeniería. Instituto de Estudios Superiores. Managua, Nicaragua.

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Arquitectura. Managua, Nicaragua

\* [eddisson.hernandez@ies.uni.edu.ni](mailto:eddisson.hernandez@ies.uni.edu.ni)

*(recibido/received: 23-julio-2023; aceptado/accepted: 14-agosto-2023)*

#### RESUMEN

Este trabajo presenta el efecto del uso de mucílago de pitahaya y polímero de linaza como agente modificador de viscosidad en la elaboración de concreto autoconsolidable. Se utilizaron dos tipos de cementos y soluciones conteniendo aditivos naturales a dos concentraciones. Se elaboraron especímenes cilíndricos de 100 mm de diámetro x 200 mm de altura, curados en húmedo por 7 y 28 días. Se evaluó la resistencia a la compresión, velocidad de pulso ultrasónico y porosidad a diferentes edades. Los resultados muestran que los concretos que contenían polímero de linaza presentan una mayor resistencia a la compresión con respecto al resto de mezclas. La porosidad de los concretos con adiciones orgánicas fue mayor en comparación con las mezclas control.

**Palabras claves:** Adiciones orgánicas; Agente Modificador de Viscosidad; Resistencia a la compresión; Velocidad de pulso ultrasónico; Porosidad.

#### ABSTRACT

This work presents the effect of using pitahaya mucilage and linseed polymer as a viscosity-modifying admixture in the preparation of self-compacting concrete. Two types of cements and solutions containing natural additives at two concentrations were used. Cylindrical specimens of 100 mm in diameter x 200 mm of high were cast, whit moist cured for 7 and 28 days. Compressive strength, Ultrasonic Pulse Velocity and porosity were evaluated at different ages. The results showed that the concretes containing linseed polymer present a higher compressive strength compared with the rest of the mixtures. The porosity of the concretes with organic additions was higher compared to the control.

**Keywords:** Organic additions; Viscosity Modifying Admixture; Compressive strength; Ultrasonic Pulse Velocity; Porosity.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el concreto se ha convertido en el material más utilizado a nivel mundial, debido a la su gran diversidad de usos y por sus características físico-mecánicas (Cabrera, 2015). El acabado de este material es proporcional a su proceso de elaboración. Para evitar cualquier defecto a la hora del fraguado o secado, es importante estudiar su compactabilidad. Por lo tanto, es necesaria la búsqueda de mezclas alternativas que proporcionen mejores rendimientos en mano de obra, reduzcan el tiempo de colocación, acabado, etc. (Mayta, 2014).

La creación de estructuras durables, requiere una adecuada compactación del concreto por obreros calificados. Sin embargo, la reducción gradual de esa mano de obra, reduce también la calidad de las construcciones (Okamura y Ouchi, 2003). En 1983, debido a problemas de durabilidad en las estructuras de concreto reforzado, los japoneses desarrollaron el concreto autoconsolidable, que permitió la compactación del concreto en todos los rincones del encofrado, empleando únicamente su propio peso sin necesidad de ningún método de compactación (Okamura y Ouchi, 2003). Se concibió además, con el propósito de reducir el tiempo de llenado, evitar el uso de vibradores para su conformación, mejorar sus propiedades mecánicas evitando burbujas de aire atrapadas, humedad y mejorar su calidad (Rodríguez, 2016).

Para su elaboración se sugieren algunas consideraciones en el diseño de mezclas tales como: el contenido de agregado grueso (50% de sólidos) y fino (40% del volumen del mortero), una relación agua/cemento entre 0.90 y 1.0, y el uso de aditivos (superplastificantes y viscosantes)(Okamura y Ouchi, 2003). Con respecto a los aditivos utilizados, estos son generalmente de origen químico, siendo en algunos casos perjudiciales al medio ambiente y costosos por su ausencia en el mercado local (Hernández, 2018). Sin embargo, según la literatura, se han empleado aditivos naturales para mejorar las propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecido. Uno de ellos es el mucílago de nopal, que es un biopolímero que incrementa la viscosidad de los materiales base de cemento (León-Martínez et al., 2014) y las propiedades mecánicas del concreto (Hernández et al., 2016). Así mismo, el extracto de algas, también ha sido empleado en la elaboración de concreto autoconsolidable como agente modificador de viscosidad, obteniendo en estado fresco mezclas homogéneas y estables en comparación con las de control (León-Martínez et al., 2014).

El objetivo de esta investigación es evaluar el uso del mucílago de pitahaya y polímero de linaza como agentes modificadores de viscosidad, para la elaboración de concreto autoconsolidable.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales

Se utilizaron dos tipos de cemento de uso general (GU) que cumplen con lo indicado en las normas NTON 12 006-11 y ASTM C1157 (ASTM, 2000), a los cuales se realizaron ensayos de consistencia y tiempo de fraguado por medio de la aguja de Vicat (ASTM C 187 y ASTM C191)(ASTM, 2000) (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización del cemento

Cemento	Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	Tiempo de fraguado inicial (min)	Tiempo de fraguado final (min)
Cemento 1 (C1)	2.84	168	270
Cemento 2 (C2)	2.88	164	225

Se utilizó arena del cerro Motastepe y grava con tamaño máximo del agregado de 3/8". La caracterización de los agregados pétreos se realizó de acuerdo con lo indicado en las normas ASTM C 33 (análisis granulométrico), ASTM C 125, ASTM C 29, ASTM C 70, ASTM C 127 y C 566 (peso unitario y vacíos, contenido de humedad, absorción, densidad relativa) (ASTM, 2000).

Tabla 2. Caracterización de los agregados pétreos

Agregado	P.V.S.S (kg/m <sup>3</sup> )	P.V.S.C (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Densidad relativa	Módulo de finura
Arena	1,491	1,618	6.18	2.82	3.01
Grava 3/8"	1,519	1,657	2.39	2.91	

*Extracción de polímero de linaza:* Se realizó considerando los procedimientos indicados en investigaciones sobre la extracción de polímero de linaza a partir de semillas enteras (Calderrelli et al., 2010; Herchi et al., 2014; Koca Faik y Anil, 2007; Marpalle et al., 2014).

La extracción consistió en:

1. Agregar agua a las semillas de Linaza, en proporción 2:0.45 (agua/linaza), en peso.
2. Mezclar durante una hora a una temperatura menor de 60 °C.
3. Dejar reposar la mezcla por una hora en condiciones ambientales.
4. Filtrar el polímero de linaza empleando un tamiz No. 100 (150 µm).

*Extracción del mucílago de pitahaya:* Se obtuvo de las cáscaras de la fruta. La extracción del mucílago de pitahaya consistió en los siguientes pasos:

1. Lavar la fruta.
2. Separar la pulpa y semillas, dejando únicamente la cáscara.
3. Cortar las cáscaras en pequeños trozos.
4. Mezclar las cáscaras con agua, en proporción 1: 1.25 (agua/cáscara), en peso.
5. Licuar la mezcla.
5. Filtrar el mucílago de pitahaya empleando un tamiz No. 100 (150 µm).

*Superplastificante (SP):* Se utilizó el superplastificante Sikament®-100 MX (Tabla 3), que cumple con lo indicado en la norma ASTM C 494 (aditivos tipo F) y ASTM C 1017 (Tipo I), para mejorar la trabajabilidad de la mezcla (ASTM, 2000). La dosificación se determinó según lo indicado en la ficha técnica del fabricante y con base en pruebas preliminares.

Tabla 3. Características del aditivo superplastificante

Material	Generación	Tipo	Densidad (kg/L)	Dosificación
Sikament®-100 MX	4	F	1.08	10-20 cm <sup>3</sup> /kg cemento

*Agente Modificador de Viscosidad (AMV):* Se utilizó MasterMatrix VMA 358, el cual es un aditivo modificador de viscosidad orgánico y cumple con lo indicado en la norma ASTM C 494 (ASTM, 2000).

Tabla 4. Características del aditivo modificador de viscosidad

Material	Tipo	Densidad (kg/L)	Dosificación
MasterMatrix VMA 358	S	1.0	1.3-6.5 cm <sup>3</sup> /kg cemento

## 2.2 Mezclas de concreto

*Diseño de mezcla:* En la Tabla 5 se muestra el proporcionamiento empleado en la elaboración de concretos autoconsolidables. Se observa que para las mezclas control se empleó una relación agua/cemento de 0.42, para las que contenían pitahaya (Pith) de 0.56 y para las que contenía linaza (Lin), 0.53 y 0.57. Mientras que el contenido de cemento y agregados fue el mismo para todas las mezclas. El contenido de SP y AMV, se determinó en pruebas preliminares. Se elaboraron 72 especímenes de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura, los cuales fueron curados en húmedo por 7 y 28 días.

Tabla 5. Proporciones para la elaboración de 1m<sup>3</sup> de mezcla de concreto autoconsolidable

Mezclas	a/c	Cemento (kg)	Agua (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	SP (ml/kg cemento)	Tipo de AMV	AMV
Control (C1)	0.42	480	200.97	739.68	868.32	12.34	MasterMatrix	0.10 (ml/kg cemento)
C1Pith	0.56	480	174.24	739.68	868.32	31.25	M. de Pitahaya	0.19 (% peso cemento)
C1Lin	0.53	480	211.08	739.68	868.32	31.25	P. de Linaza	0.14 (% peso cemento)
Control (C2)	0.42	480	200.97	739.68	868.32	12.34	MasterMatrix	0.10 (ml/kg cemento)
C2Pith	0.56	480	174.24	739.68	868.32	31.25	M. de Pitahaya	0.19 (% peso cemento)
C2Lin	0.57	480	229.08	739.68	868.32	31.25	P. de Linaza	0.14 (% peso cemento)

*Ensayos en estado fresco:* Se realizaron pruebas para determinar el flujo de revenimiento del concreto autoconsolidable según la norma ASTM C 1611 y fluidez en el embudo V. El embudo V determina la habilidad del concreto para fluir a través de zonas restringidas, midiendo el tiempo de vaciado del recipiente, el cual, según la literatura, el deseable debe ser menor a 10 segundos (González Morán et al., 2005).

*Resistencia a la compresión axial:* Se determinó a las edades de 28 y 90 días, empleando una máquina de ensayo ELE Accu-Tek250 con capacidad de 10,000 psi. El procedimiento del ensayo se hizo de acuerdo con lo indicado en la norma ASTM C39 (ASTM, 2000).

*Velocidad de pulso ultrasónico:* Se determinó a los de 28 y 90 días de edad. Se utilizó un equipo de pulso ultrasónico CONTROLS Mod. 58-E4800, con transductores de 54 KHz. Todas las mediciones de VPU fueron realizadas según el procedimiento indicado en la norma ASTM C597 (ASTM, 2000).

*Volumen de poros permeables:* La porosidad se determinó a los 90 días de edad, según lo indicado en la norma ASTM C 642 (ASTM, 2000).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Ensayos en estado fresco

En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos de la prueba de flujo de revenimiento. Se observa que el flujo de revenimiento de las mezclas control fue de 450 mm. En las mezclas con cemento C1, conteniendo mucílago de pitahaya y polímero de linaza, el flujo de revenimiento fue de 480 mm. Mientras que en las mezclas con cemento C2, fue de 580 mm. De acuerdo con la norma ASTM C 1611 y ACI 237R (2019), el flujo de revenimiento óptimo para concretos autoconsolidables debe estar comprendido entre 480 mm y 580 mm, similar a los valores obtenidos en los concretos con adiciones naturales. En la tabla, también se observa que únicamente la mezcla control C2, presenta un tiempo de flujo de embudo V, mayor a 10 s (tiempo deseable).

Tabla 6. Propiedades en estado fresco de las mezclas

Mezclas	Flujo de revenimiento (mm)	Embudo V (s)
Control (C1)	450	8
C1Pith	480	5
C1 Linaza	480	5.16
Control (C2)	450	12
C2 Pith	580	5.38
C2 Lin	580	7

#### 3.2 Ensayos en estado sólido

En la Figura 1 se presentan los resultados de resistencia a la compresión axial de concretos con 28 días de edad y 7 días de curado en húmedo. Se observa que el control C1 presentó el mayor valor de resistencia en comparación con el resto de mezclas. Los concretos que contenían mucílago de pitahaya presentaron una resistencia similar con ambos tipos de cementos. En cambio, en los que contenían polímero de linaza con cemento C1, la resistencia fue mayor en comparación con las C2. También se observa que la resistencia de las mezclas con adiciones orgánicas fue hasta un 40% menor en comparación con la mezcla control C1. Este resultado puede estar relacionado con la propiedad retardante de estos polímeros que afecta la hidratación del cemento (Hernández et al., 2016).

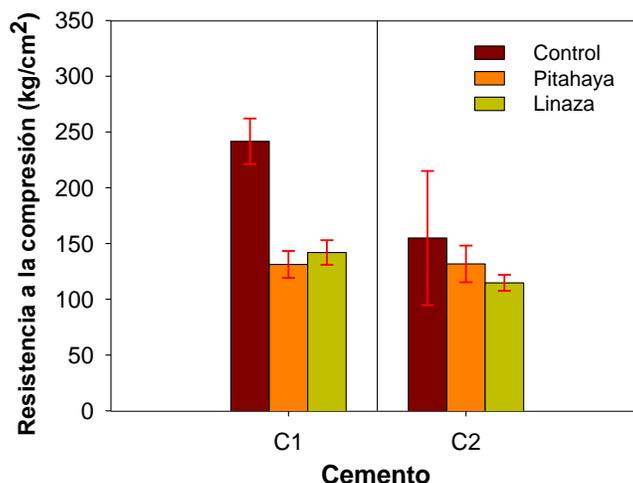


Figura 1. Resistencia a la compresión axial de concretos conteniendo adiciones orgánicas a los 28 días de edad y 7 días de curado en húmedo. Las barras de error indican una desviación estándar.

En la Figura 2 se presentan los resultados de resistencia a la compresión axial de concretos con 90 días de edad y 28 días de curado en húmedo. Se observa que las mezclas con cemento C1 y polímero de linaza presentan el mayor valor de resistencia a la compresión axial en comparación con el resto de mezclas. Este resultado puede estar relacionado con un mejor proceso de hidratación, debido a la capacidad del polímero de retener agua, funcionando como agentes de curado interno que liberan el agua retenida para hidratar el cemento (Hernández et al., 2017). En cambio, en los concretos que contenían mucílago de pitahaya, los valores de resistencia fueron menores. Los resultados de resistencia a la compresión axial en esta edad de prueba fueron mayores a los de 28 días.

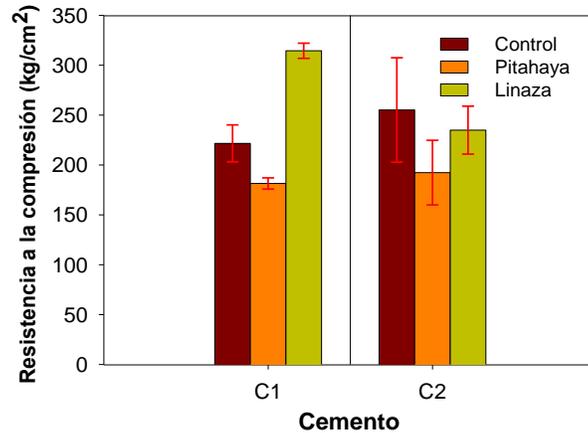


Figura 2. Resistencia a la compresión axial de concretos conteniendo adiciones orgánicas a los 90 días de edad y 28 días de curado en húmedo. Las barras de error indican una desviación estándar.

En la Figura 3, se muestran los resultados de las pruebas de Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU), de los concretos con 28 días de edad y 7 días de curado en húmedo. Se observa que los valores de VPU de las mezclas control fueron similares. Los valores de VPU de las mezclas que contenían adiciones orgánicas fueron menores en comparación con las de control. La baja desviación estándar de los resultados, indican que las mezclas elaboradas fueron homogéneas. La tendencia observada en los resultados es similar a la tendencia de los resultados de resistencia a la compresión a 28 días.

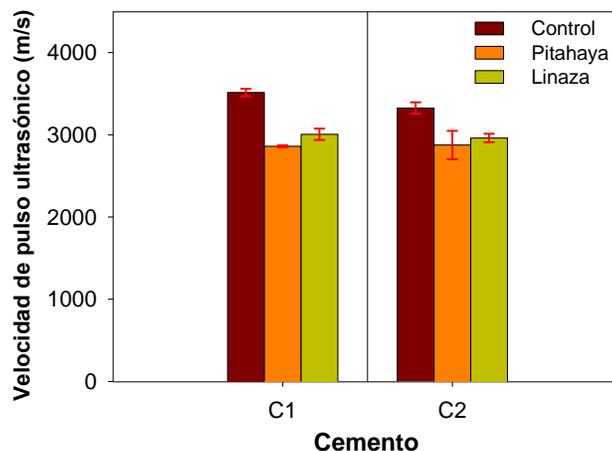


Figura 3. Velocidad de pulso ultrasónico de concretos conteniendo adiciones orgánicas a los 28 días de edad y 7 días de curado de húmedo. Las barras de error indican una desviación estándar.

En la Figura 4 se muestran los resultados de las pruebas de Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU), de los concretos con 90 días de edad y 28 días de curado en húmedo. Se observa que en los concretos conteniendo adiciones orgánicas el valor de VPU fue menor en comparación con las de control. De manera similar a lo observado a los 28 días, la baja desviación estándar indica que son homogéneas. La tendencia observada en los resultados es similar a la tendencia de los resultados de resistencia a la compresión a 90 días, con excepción de la mezcla C1 conteniendo polímero de linaza.

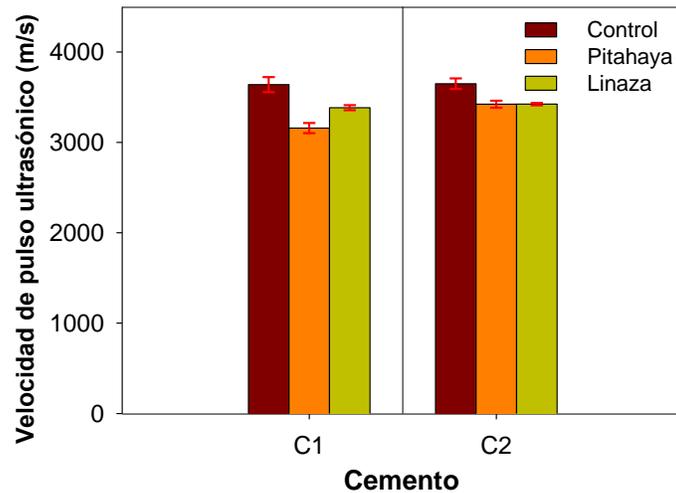


Figura 4. Velocidad de pulso ultrasónico de concretos conteniendo adiciones naturales a los 90 días de edad y 28 días de curado en húmedo. Las barras de error indican una desviación estándar.

En la Figura 5 se muestra la correlación entre los resultados de resistencia a la compresión axial y la velocidad de pulso ultrasónico (VPU). Se observa una buena correlación lineal entre ambas variables, obteniéndose un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.83. Este resultado es importante si se considera que es posible estimar la resistencia a la compresión axial de un elemento de concreto autoconsolidable a partir de los valores de VPU.

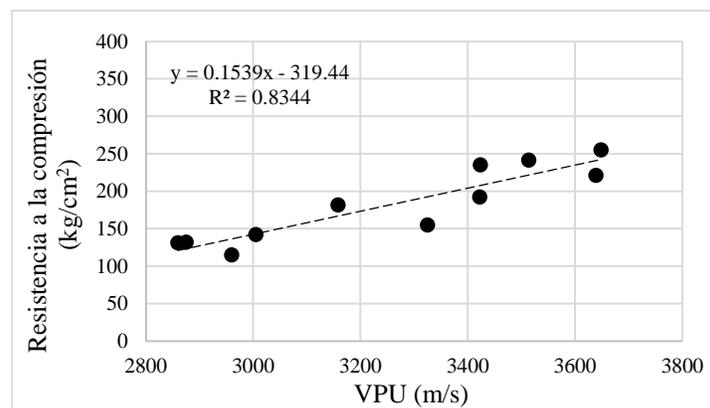


Figura 5. Correlación entre resistencia a la compresión axial y VPU.

Los resultados de porosidad (Figura 6), muestran que los concretos que contenían mucílago de pitahaya presentan un mayor volumen de poros permeables en comparación con el resto de mezclas. Para el caso de los concretos que contenían polímero de linaza y cemento C1, se observa que presentan un mayor volumen

de poros permeables con respecto al control. Estos resultados indican que las adiciones orgánicas afectaron la porosidad del concreto.

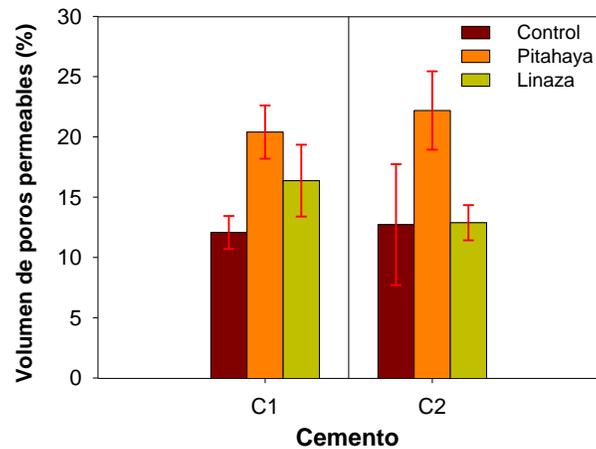


Figura 6. Volumen de poros permeables. Las barras de error indican una desviación estándar.

#### 4. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se concluye que:

- La relación a/c de las mezclas control fue menor en comparación con las que contenían aditivos naturales. La determinación de la relación a/c de las mezclas con adiciones se basó en estudios preliminares de fluidez en pastas de cemento.
- Los resultados de fluidez indican que las mezclas que contenían aditivos naturales fueron más fluidas y estables en comparación con las mezclas control, presentando valores dentro del rango óptimo para concretos autoconsolidables.
- Las mezclas con polímero de Linaza con 28 días de curado, presentaron los mayores valores de resistencia a la compresión. El valor alcanzado fue de un 42% mayor de resistencia con respecto al control.
- La resistencia a la compresión de los concretos que contenían mucílago de pitahaya fue menor con respecto al de la mezcla control.
- Existe una buena correlación entre los resultados de VPU con los de resistencia a la compresión.
- La porosidad de los concretos conteniendo adiciones orgánicas fue mayor en comparación con las de control, indicando que los polímeros actúan como inclusores de aire.
- 

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. Miguel Fonseca, decano de la Facultad de Tecnología de la Construcción (FTC) y a la Arq. Jeaneth Romero, jefa del departamento de tecnología de la Facultad de Arquitectura (FARQ), por su apoyo en las gestiones para el uso de los laboratorios de materiales de la FTC. También agradecen al Arq. Gabriel Obando, coordinador de investigación de la FARQ, por el préstamo de equipos y herramientas, necesarios para realizar esta investigación.

## REFERENCIAS

- ACI 237 R. (2019). Self-consolidating concrete ACI 237 R. In *Mi, Usa*.
- ASTM. (2000). *Annual Book of ASTM Standards, Section Four, Construction, Volume 04.2 Construction, Concrete and Aggregates*.
- Cabrera, M. I. (2015). Utilización de los concretos de alta resistencia y concretos celulares en la industria de la construcción ecuatoriana, clasificados por sectores: vivienda, electricidad, gas/petróleo, salud y educación. *Revista INGENIO*, 1(1), pp.15-30.
- Calderrelli, V., Benassi, M., Visentainer, J., & Matioli, G. (2010). *Quinoa and flaxseed: potential ingredients in the production of bread with functional quality*.
- González Morán, S. I., Landaverde Martínez, A., & Romero López, C. I. (2005). *Concreto autocompactable: propuesta para el diseño de mezcla, beneficios técnicos y consideraciones básicas para su implementación en El Salvador*. Universidad de El Salvador.
- Herchi, W., Arráez-Román, D., Trabelsi, H., Bouali, I., Boukhchina, S., Kallel, H., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutierrez, A. (2014). Phenolic compounds in flaxseed: A review of their properties and analytical methods. An overview of the last decade. *Journal of Oleo Science*, 63(1), 7–14. <https://doi.org/10.5650/jos.ess13135>
- Hernández, E. F. (2018). Uso de aditivos naturales en materiales de construcción - una revisión. *Arquitectura+*, 3(3), 63–68. <https://www.lamjol.info/index.php/arquitectura/article/view/9213>
- Hernández, E. F., Cano-Barrita, P. F. de J., & Torres-Acosta, A. A. (2016). Influence of cactus mucilage and marine brown algae extract on the compressive strength and durability of concrete. *Materiales de Construcción*, 66(321). <https://doi.org/10.3989/mc.2016.07514>
- Hernández, E. F., Pfeiffer Perea, H., & Cano Barrita, P. F. de J. (2017). Influence of cactus mucilage and brown seaweed extract on the degree of hydration of ordinary portland cement pastes. *Nexo*, 30(02), 73–83. <http://www.revistasnicaragua.net.ni/index.php/nexo/article/view/4732>
- Koca Faik, A., & Anil, M. (2007). Short Communication Effect of flaxseed and wheat flour blends on dough rheology and bread quality. *Revista de Fitoterapia*, 13(2), 125–135. <https://doi.org/10.1002/jsfa>
- León-Martínez, F. M., Cano-Barrita, P. F. D. J., Lagunez-Rivera, L., & Medina-Torres, L. (2014). Study of nopal mucilage and marine brown algae extract as viscosity-enhancing admixtures for cement based materials. *Construction and Building Materials*, 53, 190–202. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.068>
- Marpalle, P., Sonawane, S. K., & Arya, S. S. (2014). Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread. *LWT - Food Science and Technology*, 58(2), 614–619. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.003>
- Mayta, J. (2014). *Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo*. 282.
- Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self Compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1), 5–15.

Rodríguez, K. (2016). *Aplicación del concreto autocompactante con aditivo incorporador de aire para el estudio de fisuras en losas de concreto armado*. 120.

## SEMBLANZA DE LOS AUTORES



**Ana Yely Blandón López:** Obtuvo el grado de Arquitecto en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de Nicaragua. Ha colaborado en diversos proyectos de investigación en el Instituto de Estudios Superiores (IES) y Facultad de Arquitectura (FARQ) de la UNI. Sus intereses de investigación incluyen la ciencia y tecnología de materiales base cemento empleando adiciones naturales.



**Eddisson Francisco Hernández:** Es investigador y coordinador de investigación del Instituto de Estudios Superiores (IES), de la Universidad Nacional de Ingeniería. Obtuvo el grado de Arquitecto e Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de Nicaragua, y los grados de maestría y doctorado en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México. Ha realizado estancias de investigación en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Universidad Marista de Querétaro, en México. Sus intereses de investigación incluyen la ciencia y tecnología de materiales base cemento, así como la corrosión del acero de refuerzo en estructuras de concreto.



**Sofía Alejandra Arauz Navarro:** Obtuvo el grado de Arquitecto en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de Nicaragua. Ha colaborado en diversos proyectos de investigación en el Instituto de Estudios Superiores (IES) y Facultad de Arquitectura (FARQ) de la UNI. Sus intereses de investigación incluyen la ciencia y tecnología de materiales base cemento empleando adiciones naturales.



**Xaviera Lucía Mayorga Parrales:** Obtuvo el grado de Arquitecto en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de Nicaragua. Ha colaborado en diversos proyectos de investigación en la Facultad de Arquitectura (FARQ) de la UNI. Sus intereses de investigación incluyen la ciencia y tecnología de materiales base cemento empleando adiciones naturales.