



## ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA HUELLA HÍDRICA ENTRE LA TÉCNICA DE TIERRA VERTIDA COMPACTADA (TVC) Y BLOCKS DE CEMENTO

**Mayra Marcela Rendón Olvera<sup>1</sup>; Armando Vicente Flores Salazar<sup>2</sup>; Gerardo Fajardo San Miguel<sup>3</sup>**

Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza Nuevo León, México.

<sup>1</sup>mayrarendon@yahoo.com; <sup>2</sup>floresalazar@yahoo.com

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza Nuevo León, México.  
gerardo.fajardosn@uanl.edu.mx

**Palabras clave:** suministro de agua, vivienda sostenible, conservación del semidesierto.

### Resumen

Dentro del marco del cuidado y conservación de los recursos naturales, esta investigación pretende mostrar resultados sobre el diseño de un block de tierra en la técnica de “Tierra Vertida Compactada”; el propósito es ofrecer soluciones orientadas a reducir el uso indiscriminado de los recursos naturales tales como el agua y la piedra caliza extraída de las reservas de los cerros en los municipio de García y Santa Catarina, en el estado de Nuevo León, México. El estudio se centra en dos variables principales, la tierra como material de construcción de bajo impacto energético y análisis de la huella hídrica entre el block de TVC y el de cemento portland gris por ser este el más utilizado en la región. El objetivo es medir la cantidad de agua que se requiere para la elaboración del block de tierra sin que este pierda su resistencia mínima y compararlo con la cantidad de agua en el block de cemento tomando en cuenta las mismas proporciones de ambos sistemas. Con este estudio se pretende demostrar que el suministro de agua en esta técnica es significativamente menor en comparación con el block de cemento. El interés en el estudio de la arquitectura vernácula en la tipología de tierra vertida compactada es debido al creciente deterioro ambiental generado por la industria de la construcción basada en el cemento portland ya que ésta necesita de insumos que requieren de la utilización de recursos naturales no renovables posicionándolo como material de alto impacto energético y con alto índice de huella hídrica. La investigación busca vincular a sociedad civil y sector privado para generar un cambio en los sistemas constructivos orientados a unificar la ecología con las prácticas productivas a través de procesos sustentables de producción, distribución y cadena de suministros, que contribuyan a mejorar la calidad de vida en las regiones desérticas del país.

### 1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable para todos los seres vivos del planeta, pues de ella depende la supervivencia, por lo que éste recurso, al ser limitado, debe recolectarse y distribuirse cuidadosamente, ya que es básico para el desarrollo económico y comercial ya que al intercambiar productos y servicios, también se intercambian grandes cantidades de agua (AgroDer, 2012).

En México, el crecimiento económico no ha tomado en cuenta seriamente las señales de escasez del agua pues los modelos de desarrollo urbano han concentrado la población y la actividad económica en zonas de alta escasez hídrica, como lo es el caso de la región del semidesierto de García, ocasionando mayor presión sobre las reservas de agua al punto que el volumen de este recurso demandado es mayor que el suministrado (Sainz, Becerra, 2007).

Dentro de este contexto, la industria de la construcción, además de que ha comenzado a enfrentarse al calentamiento global, todavía tiene que asumir su responsabilidad respecto al ahorro de recursos hídricos y tomar en cuenta que la escasez del agua en el mundo es un problema más urgente que el abastecimiento de energía, ya que ésta tiene un impacto directo sobre la salud y la producción de alimentos (Edwards, 2008).

Por tal razón, esta investigación se centra en conocer la cantidad de agua con la que es posible edificar un bloque de tierra para la elaboración de muros de TVC para obtener la huella hídrica por metro cúbico de material y posteriormente llevar a cabo una comparación del consumo de agua que se requiere para elaborar un metro cúbico de concreto basado en cemento Portland gris, por ser este el material que más es utilizado en esta región.

Esta técnica pudiera ser más eficiente en términos de recursos hídricos en comparación con otros sistemas de construcción por su lógica constructiva en donde la cantidad de agua suministrada en la mezcla de tierra y estabilizantes, solo humedece la tierra (a diferencia de otras técnicas de tierra como lo es el caso del adobe o el bahareque y el mismo block de cemento portland), por tal razón la técnica de TVC pudiera ser una opción sustentable dentro del marco de la conservación del agua en las regiones desérticas del país.

### 1.1 Huella hídrica

El agua que existe en el planeta está conformada por agua salada en un 97,5% y agua dulce en un 2,5%, pero casi toda esta congelada en los polos y en los glaciares; del agua dulce, 69,7% es congelada, 30% es subterránea y en los ríos y lagos hay sólo 0,3% (Montemayor et al, 2015).

Aunado a esto, el agua que aunque es un recurso renovable, ha comenzado a escasear en el planeta debido al calentamiento global y el crecimiento exponencial de la población mundial, lo que genera conflictos por el recurso. Ante este panorama, se han buscado estrategias para medir la cantidad de recursos naturales que son consumidos por la población humana entre estos, el agua.

Para conocer la cantidad de agua consumida, se creó el concepto de “huella hídrica” (HH); que es un indicador para medir la cantidad de agua que se requiere en todas las actividades ya sean domésticas o para producir bienes y servicios, procesos industriales y generación de energía (AgroDer, 2012).

Tiene relación estrecha con la huella de carbono puesto que en el ámbito del agua se ubica como un importante antecedente; es parte de la “familias de huellas ecológicas” que sirven para conocer la presión humana sobre el planeta; son indicadores que tienen como objetivo medir el impacto generado por el crecimiento de la población y las actividades humanas, ya sea en la biósfera, la atmósfera o la hidrósfera (Vaham, Hoekstra, Bidoglio, 2013).

Para un producto, la HH es el contenido total de agua azul, verde y gris involucrada en toda la cadena de procesos de elaboración del mismo, y considera únicamente el agua dulce y se conforma de cuatro componentes básicos:

- Volumen
- Color/clasificación del agua
- Lugar de origen del agua
- Momento de extracción del agua

La HH considera la fuente de donde proviene el agua y, en función de ello, la clasifica en tres tipos o colores: azul, verde y gris. Los costos de oportunidad, el manejo y los impactos para cada uno difieren significativamente para cada color.

- Agua azul: Es el agua dulce de lagos, ríos y subterráneas. La huella hídrica azul se refiere al consumo de agua superficial y subterránea que no regresa al ciclo y sitio de donde se obtuvo.
- Agua verde: Es el agua de lluvia almacenada en el suelo como humedad. La huella hídrica verde se concentra en el uso de agua de lluvia, específicamente en el flujo de la evapotranspiración del suelo que se utiliza en agricultura y producción forestal
- Agua gris: Es toda el agua contaminada por un proceso. La huella hídrica gris es la cantidad de agua dulce necesaria para asimilar la carga de contaminantes

La suma del agua verde, el agua azul y el agua gris que requiere un producto o servicio dentro de todo el proceso de elaboración será su huella hídrica (AgroDer, 2012). Dentro del concepto de HH también existe el concepto de “agua virtual”, y se refiere al agua que es utilizada a lo largo de la cadena de procesos durante el ciclo de producción de un producto hasta su etapa final, por ejemplo, para producir un 250 g de algodón se necesitan 2000 litro de agua virtual, esto se refiere a toda el agua utilizada dentro de la cadena de proceso para producir el producto y también se considera que el agua virtual viaja cuando éstos se exportan o importan (AgroDer, 2012).

Dentro de este marco del cuidado de los recursos hídricos, conlleva en principio a verificar la cantidad de agua que se necesita para elaborar un block de concreto en su cadena de procesos para establecer una comparación con el agua requerida para elaborar un block en la técnica de TVC.

## 1.2 Análisis comparativo de la huella hídrica del concreto y la técnica de TVC

Actualmente las empresas que se dedican a esta industria han empezado a prestarle mayor atención a la importancia que los recursos hídricos debido a las señales de escases del agua, sin embargo, los esfuerzos para evaluar la huella hídrica se han llevado a cabo recientemente y las metodologías empleadas son escasas.

Razón por la cual, hay una notoria carencia de estudios de huella hídrica relacionados con el sector cementero; por otro lado no existen aún políticas y medidas que promuevan la gestión eficaz del agua utilizada dentro de la industria de la construcción, y existe muy poca información sobre la cantidad de agua utilizada para la elaboración del cemento.

Sin embargo en algunos estudios se ha concluido que solamente para la producción de  $1\text{m}^3$  de concreto se consumen entre  $2,1\text{ m}^3$  y  $2,8\text{ m}^3$  de agua, seguido por el consumo de agua indirecto debido al consumo de energía (electricidad, diésel, carbón) y la cadena de suministro (Echeverri, 2014).

Desde este argumento se debe de añadir la cantidad de agua utilizada en el proceso de la cadena de producción para elaborar el block de cemento, sin embargo dado que no existen datos duros que midan la cantidad de agua, se elaboró un esquema parcial de la HH del block de concreto que se muestra en la tabla 1, para tener un marco de comparativo con la cadena de producción de la técnica de TVC que se muestra en la tabla 2.

Tabla 1. Fases de la huella hídrica para producir un block de concreto basado en cemento

|                                                  |                          |                       |
|--------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Mezclado para producción de cemento              | Utilización de agua azul | Residuos de agua gris |
| Mezclado para producir concreto para mampostería | Utilización de agua azul | Residuos de agua gris |
| Lavado y curado de block de concreto             | Utilización de agua azul | Residuos de agua gris |
| Mezclado para la elaboración de mortero          | Utilización de agua azul | Sin residuos          |

A diferencia de la técnica de TVC, el procedimiento constructivo al ser en sitio, el agua utilizada se puede suministrar de forma controlada lo que permite intervenir y medir las dosificaciones de ésta.

La lógica constructiva de este sistema de tierra se basa en humedecer la mezcla de tierra, estabilizantes y agregados sin que esta resulte en estado plástico, dicha composición física se logra con las dosificaciones adecuadas de agua (Minke, 2000).

Tabla 2. Fases de la huella hídrica para producir un block de TVC

|                                   |                          |              |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------|
| Mezclado para producción de block | Utilización de agua azul | Sin residuos |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------|

Por tal razón dentro del marco del cuidado del agua, la técnica de TVC pudiera ser una solución para una mejor gestión y reducción en el consumo del agua en la construcción, ya que esta técnica al no ser industrial y por su método constructiva, el suministro de agua puede ser gestionado favorablemente en comparación con los materiales industrializados.

## 2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO CUANTITATIVO

Para esta investigación la variable dependiente es la resistencia y la variable independiente es la dosificación de agua; al tomar el agua como la variable independiente, se estableció el porcentaje mínimo de dosificación de agua buscando que el bloque de tierra no pierda resistencia.

Esto con la finalidad de medir la dosificación de agua requerida para controlar el suministro de agua y posteriormente realizar una comparación de huella hídrica con el block de concreto.

La investigación es de corte experimental con un enfoque exploratorio ya que no existen antecedentes que midan la cantidad de agua suministrada para la elaboración de mampostería de los materiales constructivos por lo que se busca hacer una comparación del suministro de agua entre el block de concreto y el material que se propone.

Por otro lado, no existen normativas para ensayar mampostería a base de tierra en la tipología que se propone, por tal razón para llevar a cabo el experimento cuantitativo se utilizó como referencia la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2005 de la industria de la construcción.

La intención es partir de un marco referencial para llevar a cabo pruebas de ensayos con distintos porcentajes de agregados y estabilizantes que permitan elaborar una mampostería de tierra para posteriormente aplicar la resistencia como marca la norma NMX C-036-ONNCCE-2005; como se ha mencionado, se busca definir los porcentajes óptimos de cada componente y fijar la resistencia mínima a la compresión en el bloque de tierra con el fin de llevar a cabo un análisis comparativo de la diferencia de la cantidad de agua que se requiere para ambas técnicas.

### 2.1 Proporción inicial

Se seleccionó una proporción de los materiales a utilizar en base a criterios experimentales tomando en cuenta la textura de la mezcla al comprimirla con la mano para observar si la tierra se mantenía cohesionada que es la prueba de ensayo que se utiliza empíricamente para esta técnica, como se muestra en la figura 1.



Figura1. Tierra humedecida para TVC

Partiendo de ese primer ensayo se seleccionó la mezcla de referencia o mezcla inicial partiendo de las proporciones en volumen que se indican en la tabla 3.

Tabla 3. Proporciones en porcentaje de volumen de los materiales

|        |       |
|--------|-------|
| Cal    | 12,5% |
| Tierra | 62,5% |
| Arena  | 12,5% |
| Agua   | 12,5% |

Con la mezcla de referencia se elaboró un bloque de tierra con 25 cm de largo x 20 cm de ancho x 5 cm de altura como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Mampostería de TVC

## 2.2 Caracterización física

Lo procedimiento que se realizó para la obtención de la densidad de cada uno de estos materiales está establecido en la norma mexicana NMX-C-165-ONNCCE-2014 para la determinación de la densidad relativa y absorción de agua de los agregados.

Como primera fase se procedió a realizar una caracterización física de las materias primas a utilizar en los bloques de tierra. Para ello se utilizó una muestra de tierra obtenida de los bancos del río Pesquería, ubicado dentro del municipio de García, a la que se le hicieron pruebas de granulometría y en las cuales se concluyen que pertenece a un tipo de suelo arcilloso.

Seguido, se determinó la masa específica relativa de los componentes que se proponen para conformar la mezcla del bloque de tierra que son: cal marca Calidra, tierra arcillosa de García, arena cribada #4 (apertura de malla de 4,76 mm) y agua. Una vez obtenidas las densidades de cada material se procedió a elaborar cuatro mezclas con distintos porcentajes de agregados basados en porcentajes del ensayo previo del bloque de TVC que corresponde a la tabla 4.

Para poder sacar las proporciones de cada material que conforma el bloque de tierra se realizó una serie de ecuaciones basados en la medida del bloque inicial de 25 cm x 20 cm x 5 cm con un volumen de 2500 cm<sup>3</sup> y para conformar este bloque de tierra se utilizó un recipiente con un volumen de 492,3 ml. Con estos datos se puede determinar la cantidad de agua que se utiliza en este sistema constructivo de tierra por metro cúbico (tabla 4).

Tabla 4. Composición de materiales de block de tierra

| Material | Proporción (%) | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Volumen (cm <sup>3</sup> ) | Masa (g) |
|----------|----------------|-------------------------------|----------------------------|----------|
| Cal      | 12,5           | 2,66                          | 984,6                      | 2510,73  |
| Tierra   | 62,5           | 2,55                          | 4923,0                     | 13095,18 |
| Arena    | 12,5           | 2,70                          | 984,6                      | 2658,42  |
| Agua     | 12,5           | 1,00                          | 984,6                      | 984,60   |

En base a las proporciones de dosificación de componentes del ensayo preliminar (tabla 5), se elaboraron una serie de 3 especímenes prismáticos de 5 cm<sup>3</sup>, por cada mezcla con distintos porcentajes de material, sobre los cuales se realizan los ensayos de resistencia a la compresión.

Tabla 5. Porcentaje en volumen de materiales de cada espécimen (%)

| Material | Espécimen |       |       |       |
|----------|-----------|-------|-------|-------|
|          | 1         | 2     | 3     | 4     |
| Cal      | 10,78     | 14,34 | 13,63 | 13,59 |
| Tierra   | 69,38     | 64,48 | 59,00 | 58    |
| Arena    | 11,41     | 15,18 | 13,63 | 13,59 |
| Agua     | 8,45      | 5,62  | 13,63 | 11,12 |

Una vez obtenidos los especímenes se procedió a ensayarlos y se concluyó que el espécimen 3 fue el que presentó el comportamiento más óptimo a la prueba de compresión, y fue el que presentó mayor relación con las proporciones del bloque de tierra que se realizó previamente, por lo que seguido, se procedió a cortar el bloque de tierra para tomar muestras de éste, del cual se obtuvieron 2 especímenes para ensayar como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Especímenes prismáticos de tierra

### 2.3 Características mecánicas

Las características mecánicas del material son representadas por los ensayos descritos a continuación. El ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión se realizó de acuerdo a la norma NMX-C-036 (2004).

Dado que no existen normas para realizar ensayos de resistencia a la compresión en mampostería de tierra, esta norma se tomó solo como marco referencial para obtener datos cuantitativos con el fin de conocer el desempeño ya que el estudio de la investigación es medir las dosificaciones de agua que la mampostería, hacer mejoras y/o realizar nuevas propuestas.

Los resultados para el primer ensayo arrojaron que el punto máximo de carga por centímetro cúbico es de 492 kgf, para el segundo ensayo los resultados arrojaron que el punto máximo de carga es de 466 kgf, esto establece una media de 479 kgf por centímetro cúbico, de los cuales se distribuyen entre los 25 cm que mide el bloque de tierra dando como resultado un esfuerzo de 19,16 kgf/cm o 1,9 MPa.





Figura 4. Ensayo de resistencia a la compresión

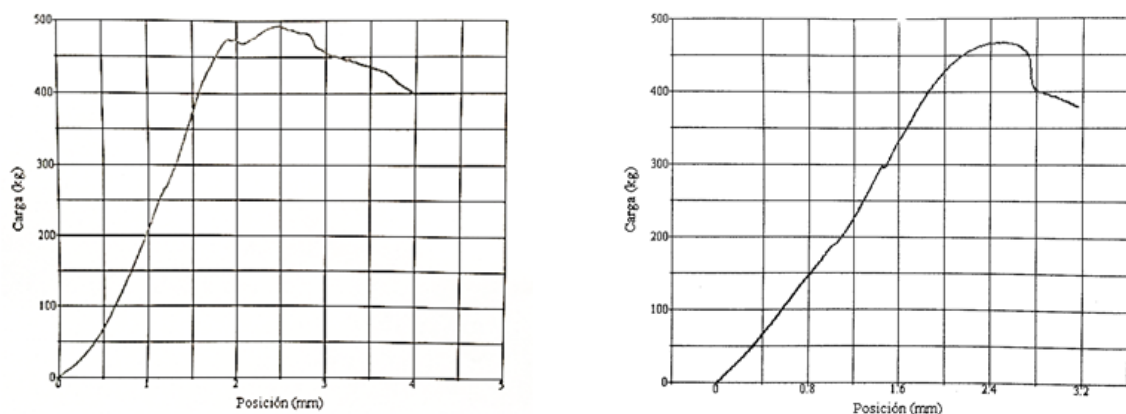


Figura 4. Gráficas de ensayos de resistencia a la compresión

### 3. CONCLUSIONES

El estudio concluye que, para elaborar  $2500 \text{ cm}^3$  de TVC, que corresponde al volumen del bloque con el que se llevó a cabo el experimento, se necesitan 984,5 ml de agua, de manera que se puede establecer que se necesitan 393,8 L de agua por cada metro cúbico de mezcla para TVC.

Por otro lado, como se mencionó con anterioridad, para la producción de  $1 \text{ m}^3$  de concreto se consumen entre  $2,1 \text{ m}^3$  y  $2,8 \text{ m}^3$  de agua, es decir entre 2100 y 2800 litros de agua, mientras que en la técnica de TVC se utiliza solo entre el 18,75% y 14,06% respectivamente.

Cabe señalar que, en este análisis comparativo, no se contabilizó la cantidad de agua de todo el proceso de la producción del cemento, solo aquella que es utilizada para producir un metro cúbico de concreto como ya se ha mencionado.

Desde este contexto, se puede establecer que la huella hídrica de TVC es menor si se contabilizaran todas las fases en donde se utiliza el agua para producir el block de cemento además durante el proceso de edificación de muros.

Con respecto del ensayo de resistencia, las recomendaciones para favorecer la resistencia de la mampostería es agregar fibras naturales o puzolanas amorfas, esto con el fin de mejorar su desempeño para las pruebas de compresión.

Sin embargo, no hay evidencia aún sobre si se debe de aumentar el suministro de agua para mejorar el desempeño del bloque de tierra en esta prueba, por lo que se puede establecer que la huella hídrica de TVC es mucho menor que la del block de cemento portland gris.

Es evidencia que existe una problemática ambiental que es consecuencia de la actividad industrial y que resulta en las malas prácticas de consumo de bienes y servicios; parte de la responsabilidad deriva de la actividad industrial del concreto.

Esta actividad no solo afecta al entorno natural y al aumento de la temperatura global, sino que incide directamente en la degradación de la calidad de la salud humana por la contaminación del aire donde además existe una tendencia exponencial en la pérdida de biodiversidad en las regiones donde se extrae la materia prima para la producción del cemento.

Así mismo la industria del cemento no ha tomado medidas estratégicas para reducir el uso del agua, pues a lo largo de la investigación se detectó que existe muy poca información contundente que establezca de forma cuantitativa el consumo de este recurso en la actividad de la producción de cemento.

Por tal razón, es importante el desarrollo de propuestas estratégicas que mitiguen y desplacen la utilización de los materiales de alto impacto ambiental, (como el caso del cemento), y que estas estrategias de diseño estén orientados a fomentar la conservación de los recursos naturales y habitabilidad en las construcciones de las viviendas del desierto.

Por otro lado, dado que el recurso hídrico es básico para la supervivencia de todos los seres vivos del planeta, es imprescindible orientar esfuerzos desde todos los niveles, actividades productivas y comerciales para salvaguardar el recurso vital.

La tipología de TVC, por su lógica constructiva, ayuda no solo a la conservación del agua en las zonas desérticas, como es el caso de García, sino que también al utilizar materiales de bajo impacto energético como lo es la tierra. Además, conserva el entorno natural y reduce los GEI, pues al ser elaborada en sitio, esta técnica no industrializada no genera emisiones durante la edificación de los muros.

Con esta propuesta se espera generar un cambio de raíz dentro de los sistemas de construcción, procurando que en su transformación se utilicen procesos que tengan un bajo impacto ambiental y a fin de asegurar que en el término de su ciclo de vida este material pueda ser reutilizado o regresado a la tierra de forma segura tomando en cuenta el cuidado y conservación del agua y demás patrimonio natural.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AgroDer (2012). Huella hídrica en México en el contexto de Norteamérica. México.: WWF. Conagua (2012). Hinfografía huella hidrica. Disponible en: <http://www.huellahidrica.org/Reports/AgroDer,%202012.%20Huella%20h%C3%ADdrica%20en%20M%C3%A9xico.pdf>
- Echeverri, X. (2014). Estimación de la huella hídrica en la extracción de caliza a cielo abierto y propuesta de una política de integración sostenible del recurso hídrico – caso planta Rioclaro, Argos. Medellín, Colombia.
- Edwards, B. (2008). Guía básica de la sostenibilidad. Barcelona: Gustavo Gili.
- Minke, G. (2000). Earth construction handbook. Southampton: Witt press.
- Montemayor, J.; Ugalde, P.; Del Castillo, M.; Cruz, F. (2015). Energéticos y la supervivencia de la humanidad. México D.f.: Mexicanos Unidos.
- ONNCCE (2004). Norma Mexicana NMX-C-036-ONNCCE-2004. Industria de la construcción - Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones e adoquines – Resistencia a la compresión – Método de Prueba. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C.
- ONNCCE (2014). Norma Mexicana NMX-C-165-ONNCCE-2014. Industria de la construcción – Agregados – Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino – método de ensayo. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C..
- ONNCCE (2012). Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2005. Industria de la construcción – Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural – Especificaciones y métodos de ensayo. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C..



Sainz, J.; Becerra, M. (2007). Los conflictos por el agua en México: avances de investigación. Instituto Nacional de Ecología. Disponible en: [http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetas/389/conf\\_agua.htm](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetas/389/conf_agua.htm), Accedido en 18/4/2015

Vaham, D.; Hoekstra, A. Y.; Bidoglio, G. (2013). Potencial water saving through changes in European diets. *Environment International*, 61, 45-56. Disponible en: [http://waterfootprint.org/media/downloads/Vanham-et-al-2013\\_1\\_1.pdf](http://waterfootprint.org/media/downloads/Vanham-et-al-2013_1_1.pdf) Accedido en 3/7/2016.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen la colaboración del Técnico en Materiales Gumaro Tovar Arguello y el Ingeniero Mauro Villarreal del laboratorio de Investigación de Materiales de Construcción del Instituto de Ingeniería Civil de la UANL y al Sr. Joan Carlos Cristerna Moreno y Jonathan Antonio Balleza Galicia del laboratorio de concreto de la Facultad de Arquitectura de la UANL.

## **AUTORES**

Mayra Marcela Rendón Olvera, estudiante de Maestría en Ciencias con Orientación en Diseño por la facultad de arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Maestría en Diseño Sustentable por la Academia de Diseño de Eindhoven en los Países Bajos, y Licenciatura en Diseño Industrial por la Universidad de Monterrey.

Armando Vicente Flores Salazar, Doctor en Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México, Maestro en Diseño Arquitectónico en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León; Arquitecto por la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Gerardo Fajardo San Miguel Doctor en Ingeniería Civil con especialidad en Durabilidad de Estructuras de Concreto en la Université Paul Sabatier, Toulouse, Francia. Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Veracruz. Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico del Mar en Campeche.