

# EPISTEMUS

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SALUD

ISSN: 2007-4530

UNIVERSIDAD DE SONORA, JUNIO 2017, NÚMERO 22



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

## Metodologías y modelos digitales como alternativas experimentales para el desarrollo sustentable

### INVESTIGACIÓN

- Fiebre manchada y su potencial coinfección con otras enfermedades transmitidas por vector.
- Elaboración de un modelo digital de elevaciones de alta resolución de la cuenca experimental torre Rayón, Sonora.
- Evaluación de la técnica de aplicación y resistencia del concreto lanzado en minas mediante la metodología EFNARC.
- Cambio hidrodinámico y evolución de fondo en ríos de planicie por espigones.

### DESDE LA ACADEMIA

- Arreglo de estelas calendáricas de dzibilchaltún: conocimiento gnomónico y su relación con el poder.

Indexada en:

DOAJ

DIRECTORY OF  
OPEN ACCESS  
JOURNALS

REDIB

Red  
Iberoamericana  
de Investigaciones y  
Conocimientos  
Digitales

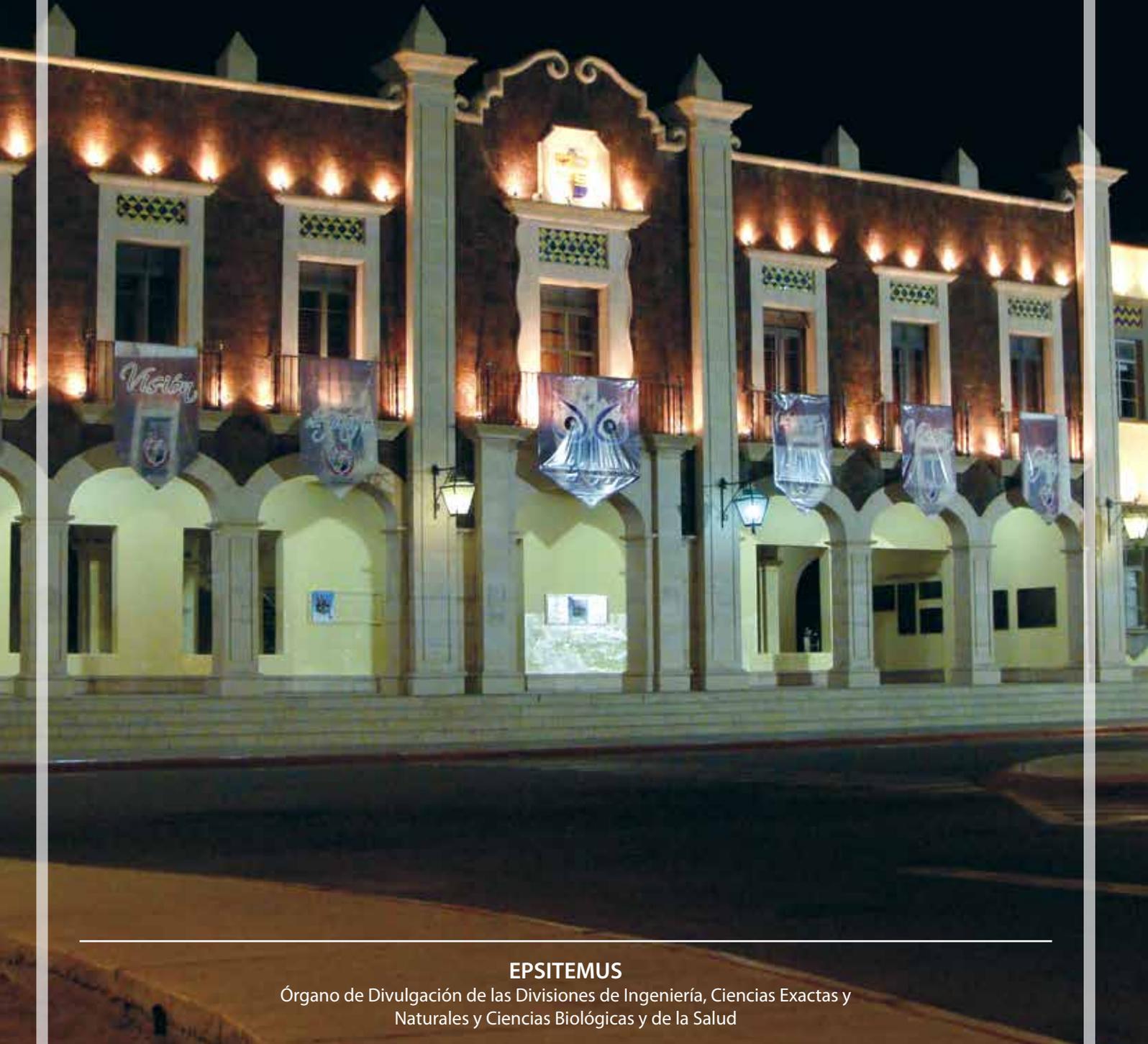
latindex

PERIÓDICA

biblat



“El saber de mis hijos  
hará mi grandeza”



---

**EPSITEMUS**

Órgano de Divulgación de las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud



# CONTENIDO

<b>CONTENIDO</b>	<b>1</b>
<b>DIRECTORIO</b>	<b>2</b>
<b>EDITORIAL</b>	<b>3</b>
<b>BASES</b>	<b>4</b>
<b>SEMBLANZA RECTOR</b>	<b>6</b>



<b>EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE APLICACIÓN Y RESISTENCIA DEL CONCRETO LANZADO EN MINAS MEDIANTE LA METODOLOGÍA EFNARC</b>	<b>20</b>
--	-----------

DR. SERGIO ALÁN MORENO ZAZUETA  
M.C. JUAN MANUEL RODRÍGUEZ ZAVALA



<b>CAMBIO HIDRODINÁMICO Y EVOLUCIÓN DE FONDO EN RÍOS DE PLANICIE POR ESPIGONES</b>	<b>27</b>
--	-----------

ENRIQUE LEÓN JIMÉNEZ  
LILIANA LIZÁRRAGA MENDIOLA  
FABIAN RIVERA TREJO  
ANTONIO NUNGARAY NÚÑEZ  
JHON DÍAZ ARCOS

## INVESTIGACIÓN



<b>FIEBRE MANCHADA Y SU POTENCIAL COINFECCIÓN CON OTRAS ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTOR</b>	<b>7</b>
--	----------

GERARDO ÁLVAREZ HERNÁNDEZ  
JESÚS DAVID LICONA ENRÍQUEZ  
JESÚS DELGADO DE LA MORA  
MARÍA DEL CARMEN CANDIA PLATA



<b>ELABORACIÓN DE UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES DE ALTA RESOLUCIÓN DE LA CUENCA EXPERIMENTAL TORRE RAYÓN, SONORA</b>	<b>13</b>
---	-----------

JUAN ALEJANDRO SAIZ RODRÍGUEZ  
SUGHEY ALEJANDRA MIRANDA TORRES  
ALEJANDRA CASTRO VALENCIA  
RAMÓN SAIZ RODRÍGUEZ  
JUAN ARCADIO SAIZ HERNÁNDEZ

## DESDE LA ACADEMIA



<b>ARREGLO DE ESTELAS CALENDÁRICAS DE DZIBILCHALTÚN: CONOCIMIENTO GENOMÓNICO Y SU RELACIÓN CON EL PODER</b>	<b>36</b>
---	-----------

RAÚL PÉREZ ENRÍQUEZ



# EPISTEMUS

## UNIVERSIDAD DE SONORA

EPISTEMUS. Año 11, No. 22, enero-junio 2017, es una publicación semestral arbitrada y es editada por la Universidad de Sonora a través de las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud. Blvd. Luis Encinas y Blvd. Rosales s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo Sonora; Tel. (662) 2592105, (662)2592183 ext. 2650, www.epistemus.uson.mx, revista.epistemus@correom.uson.mx. Editor ejecutivo: Dr. José Luis Díaz Gómez. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2012-101210334800-102. ISSN: 2007-4530 otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Certificado de Licitación de Título y Contenido: 15747, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa por Color Express de México, S. A. de C. V., 12 de octubre No. 130, Col. San Benito, C.P. 83190, Hermosillo, Sonora; este número se terminó de imprimir el 30 de junio del 2017, con un tiraje de 500 ejemplares.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la presente publicación siempre y cuando se cite plenamente la fuente.

Información del contacto institucional de la publicación: Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México. Tel. (662)2592155, correo electrónico: revista.epistemus@correom.uson.mx, At'n. Dr. José Luis Díaz Gómez, Editor ejecutivo.

EPISTEMUS está Indexada en el Directory of Open Access Journal (DOAJ), la Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico (REDIB), el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX), en el Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias (PERIÓDICA) y en el portal especializado en Revistas Científicas y Académicas publicadas en América Latina y el Caribe (Biblat).

### REVISTA EPISTEMUS

Universidad de Sonora  
Unidad Regional Centro, Blvd. Luis Encinas y  
Rosales, s/n, Col. Centro, C.P. 83000,  
Hermosillo, Sonora, México.  
Teléfono: (662) 2592155.  
Correo: revista.epistemus@correom.uson.mx  
Atn. Dr. José Luis Díaz Gómez  
Editor Ejecutivo



## UNIVERSIDAD DE SONORA

**Dr. Enrique F. Velázquez Contreras**  
Rector

**Dra. Arminda Guadalupe García de León Peñúñuri**  
Secretaria General Académica

**Dra. Rosa María Montesinos Cisneros**  
Secretaria General Administrativa

**Dra. María Rita Plancarte Martínez**  
Vicerrectora de la Unidad Regional Centro

**Dr. Rodolfo Basurto Álvarez**  
Director de Vinculación y Difusión

## DIRECCIÓN GENERAL

Dr. Rodrigo Melendrez Amavizca  
Dr. Jesús Leobardo Valenzuela García  
Dr. Ramón Enrique Robles Zepeda

## EDITOR EJECUTIVO

**Dr. Eduardo Ruiz Bustos**  
revista.epistemus@correom.uson.mx

## COMITÉ EDITORIAL

**M.C. Lucía Guadalupe Castellón Campaña**  
Secretario del Comité Editorial

**Dr. Guillermo Dávila Rascón**

**Dr. Carlos Antonio Calcáneo Roldan**  
División de Ciencias Exactas y Naturales

**M.A. Jesús Fernando García Arvizu**

**Dr. José Luis Ochoa Hernández**

División de Ingeniería

**M.C. Lucía Guadalupe Castellón Campaña**

**M.C. Griselda Macrina Moreno Ibarra**

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

## CORRECCIÓN DE ESTILO

**M.C. Fermín González Gaxiola**  
Depto. de Letras y Lingüística  
Universidad de Sonora

## DISEÑO

L.D.G. José Benito Montaña Dórame

## IMPRESIÓN

COLOR EXPRESS DE MÉXICO, S.A. DE C.V.  
12 de octubre No. 130, C.P. 83190  
Col. San Benito, Hermosillo, Sonora, México

## PÁGINA WEB

<http://www.epistemus.uson.mx/>

**E**l 16 de junio de 2017, al asumir el cargo como rector de la Universidad de Sonora para el periodo 2017-2021, el Dr. Enrique Fernando Velázquez Contreras afirmó que trabajará en conjunto con la comunidad universitaria para “mantener una institución de calidad que afronte con éxito el reto de la competitividad nacional e internacional; flexible y abierta al cambio, capaz de establecer e impulsar métodos eficientes de medición de la calidad y la competitividad, y dispuesta a proporcionar de manera ordenada y transparente los pormenores de nuestro quehacer institucional”.

Durante el mismo semestre, los miembros del comité editorial de la Revista *Epistemos*, Ciencia, Tecnología y Salud para el periodo 2017-2019 conformada por académicos de las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales así como de Ciencias Biológicas y de la Salud iniciamos con el compromiso y reto de no sólo mantener el nivel de maduración de esta publicación, sino avanzar en su grado de consolidación mediante su acreditación por instancias nacionales e internacionales, mediante el trabajo de equipo no sólo del Comité Editorial, sino también del Comité Científico, Revisores, Autores e instancias Administrativas de nuestra institución, encaminado a la reestructuración de la revista, con la finalidad de cumplir con los niveles de exigencia de los organismos acreditadores.

Lo anterior, manteniendo el objetivo central de la revista, siendo éste el de “Divulgar el conocimiento que se crea, genera y enseña en las áreas de Ingenierías, Ciencias

Exactas y Naturales y las Ciencias Biológicas y de la Salud para favorecer el debate académico y la producción de nuevos conocimientos para generar un espacio de difusión, reflexión y crítica, en nuestro entorno”. Siendo actualmente una publicación semestral, el Comité Editorial de *Epistemos* somete a un proceso de revisión manuscritos recibidos en cualquier periodo del año, publicando aquellos que cumplen con los criterios de la revista, así como la aprobación por al menos dos pares académicos de instituciones nacionales o internacionales de educación superior e investigación.

Así, el nuevo equipo de trabajo nos comprometemos en fomentar las actualizaciones necesarias de esta publicación, con la finalidad de tener un mayor alcance de difusión del conocimiento, un incremento en participación de autores nacionales e internacionales, que resulten en un mayor reconocimiento del trabajo publicado, producto del esfuerzo de los mismos autores de los mismos.

Finalmente, al igual que el Comité saliente, exhortamos a los interesados a publicar sus trabajos de investigación o difusión en *Epistemos* tomando en consideración las bases de la revista, y a los lectores en general, nos participen sus valiosas sugerencias, que nos permita fortalecer la revista para beneficio de todos.

**Atentamente**

Comité Editorial

### POLÍTICA EDITORIAL

La educación, la ciencia y tecnología son consideradas como pilares fundamentales sobre los que se sustenta el desarrollo de un país; por eso es importante fortalecer el enlace entre los que generan el conocimiento y los beneficiados de ello: la sociedad. Uno de los aspectos que distingue a la Universidad de Sonora es la generación de conocimiento y su impacto en la sociedad. Es así como las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud crearon el proyecto editorial Epistemus el cual, constituye un medio de información y comunicación para dar a conocer las investigaciones realizadas o en proceso, las actividades académicas, las reflexiones en torno a la ciencia, la tecnología y la salud.

### OBJETIVO

Divulgar el conocimiento que se crea, genera y enseña en las áreas de Ingenierías, Ciencias Exactas y Naturales y las Ciencias Biológicas y de la Salud para favorecer el debate académico y la producción de nuevos conocimientos para generar un espacio de difusión, reflexión y crítica, en nuestro entorno.

### DIRIGIDA A

Está dirigida a investigadores, profesores y estudiantes de las Ingenierías, las Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y la Salud, y a todos aquellos profesionales que desarrollan la ciencia y la aplican en estas áreas.

### SECCIONES DE LA REVISTA

La revista publica artículos originales e inéditos de proyectos de investigación, reseñas, ensayos, y comunicaciones breves sobre ciencia y tecnología y salud, en las siguientes secciones:

#### Investigación

Incluye resultados de proyectos de investigación y quiere mostrar la metodología del caso.

#### Divulgación

- **Desde la academia.** Comprende los temas relacionados con el quehacer académico, ensayos, reseñas, desarrollo de problemas, temas de la vida académica y su relación con el entorno.
- **Políticas de Ciencia y Tecnología.** Incluye temas que tienen que ver con el análisis de las políticas en materia de ciencia y tecnología, la relación entre la investigación y el desarrollo, la innovación y las políticas públicas.
- **Ciencia, Tecnología y Sociedad.** Se trata de promover una cultura científica, tecnológica, de la salud y de la sociedad, abordando diversos temas específicos que inviten a la reflexión, y/o al análisis para comprender el conocimiento.

### ARBITRAJE

Cada trabajo será revisado por integrantes del Comité Editorial, y una vez que el trabajo sea considerado pertinente, se someterá al proceso de revisión en doble ciego por al menos dos especialistas en el área al que corresponde el artículo. Estos pares académicos deben ser de una institución diferente a la(s) institución(es) de origen del artículo. En caso de que los dictámenes de los especialistas sean contradictorios, el artículo se someterá al Consejo Editorial, o bien se solicitará una evaluación adicional.

- **La decisión podrá ser:** Aceptado, Condicionado o Rechazado.

El dictamen, será comunicado por escrito exclusivamente al autor corresponsal, en un plazo no mayor a tres meses, a partir de la fecha de recepción del original.

### EXCLUSIVIDAD

Todos los textos deberán ser originales e inéditos, enviando declaratoria de originalidad ([http://www.epistemus.uson.mx/cartas/Carta\\_originalidad.docx](http://www.epistemus.uson.mx/cartas/Carta_originalidad.docx)) y de no presentarse en paralelo para otras publicaciones. Se deberá asumir la responsabilidad si se detecta falsificación de datos y falta de autenticidad en la publicación.

### DERECHOS DE AUTOR

La revista adquiere los derechos patrimoniales de los artículos sólo para difusión sin ningún fin de lucro, sin menoscabo de los propios derechos de autoría.

Los autores son los legítimos titulares de los derechos de propiedad intelectual de sus respectivos artículos, y en tal calidad, al enviar sus textos expresan su deseo de colaborar con la Revista Epistemus, editada semestralmente por la Universidad de Sonora.

Por lo anterior, de manera libre, voluntaria y a título gratuito, una vez aceptado el artículo para su publicación, ceden sus derechos a la Universidad de Sonora para que la Universidad de Sonora edite, publique, distribuya y ponga a disposición a través de intranets, internet o CD dicha obra, sin limitación alguna de forma o tiempo, siempre y cuando sea sin fines de lucro y con la obligación expresa de respetar y mencionar el crédito que corresponde a los autores en cualquier utilización que se haga del mismo.

Queda entendido que esta autorización no es una cesión o transmisión de alguno de sus derechos patrimoniales en favor de la mencionada institución. La Universidad de Sonora le garantiza el derecho de reproducir la contribución por cualquier medio en el cual usted sea el autor, sujeto a que se otorgue el crédito correspondiente a la publicación original de la contribución en Epistemus.

Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica se distribuyen bajo una licencia de uso

y Creative Commons — Attribution-NonCommercial 4.0 International — CC BY-NC 4.0. Puede consultar desde aquí la versión informativa y el texto legal de la licencia. Esta circunstancia ha de hacerse constar expresamente de esta forma cuando sea necesario.

## FORMATO GENERAL

- 1. Título:** de la colaboración, máximo de 12 palabras. Escrito en los idiomas Español e Inglés. Debe representar el contenido del artículo y permitir al lector situarse en el contexto específico que aborda.
- 2. Nombre(s) de los autores:** en mayúsculas, separados por una coma, sin grados. Máximo 5 autores.
- 3. Resumen:** Aproximadamente de 100 a 150 palabras, colocado después de los autores del artículo. Debe contener información concisa de principales resultados, métodos y conclusiones.
- 4. Palabras clave:** Mínimo 3 y máximo 5.
- 5. Abstract:** La traducción al inglés del resumen es responsabilidad del autor.
- 6. Keywords:** Mínimo 3 y máximo 5. La traducción al inglés es responsabilidad del autor.
- 7. Nombre(es) de los autores:** ámbito disciplinar, institución académica, dirección de correo electrónico de autor(es).
- 8. Estructura deseable para artículos de investigación** (Extensión máxima de 3500 palabras y hasta 20 cuartillas):
  - A. Introducción.
  - B. Objetivo.
  - C. Planteamiento del problema.
  - D. Método de trabajo.
  - E. Resultados.
  - F. Discusión.
  - G. Conclusiones.
- 9. Estructura deseable para artículos de divulgación** (Extensión máxima de 3000 palabras y hasta 15 cuartillas):
  - A. Introducción.
  - B. Desarrollo.
  - C. Conclusiones.
- 10. Citas y referencias:** Preferentemente de los últimos 5 años; deben seguir el formato IEEE ([http://www.epistemus.uson.mx/cartas/Biography\\_IEEE.pdf](http://www.epistemus.uson.mx/cartas/Biography_IEEE.pdf)) e ir al final de la colaboración.
- 11. Contenido:** Elaborado en Microsoft Word de Windows. Utilizar letra tipo Arial de 12 puntos, normal, a doble espacio, justificada. Para las expresiones matemáticas debe usarse un editor de ecuaciones y deberán estar numeradas consecutivamente entre paréntesis. No incluir notas en pie de página.
- 12. Tablas, fotos y gráficos:** Se deben incluir en archivos separados. Incluir el título (como nombre Figura1.ext). Fo-

tos y gráficos en formato jpg o tif con una resolución (en puntos por pulgada) de 300 ppp para imágenes a escala de grises o color, 600 ppp para combinaciones imagen texto o 1,200 ppp para imágenes a línea; las tablas en Excel. Las imágenes deben ser originales o de licencia creative commons (libres de regalías).

- 13. Bajar la plantilla con el formato general para el documento:** Para desarrollar el artículo se encuentra una plantilla establecida de acuerdo a las características de los artículos. En la liga [http://www.epistemus.uson.mx/cartas/Plantilla\\_Epistemus.docx](http://www.epistemus.uson.mx/cartas/Plantilla_Epistemus.docx) se puede encontrar la plantilla en Word para la publicación de los trabajos.

## POLÍTICA DE ACCESO ABIERTO

Esta revista proporciona un acceso abierto inmediato a su contenido, basado en el principio de que ofrecer al público un acceso libre a las investigaciones ayuda a un mayor intercambio global de conocimiento. Las personas que utilicen la información contenida en la revista para su difusión están obligadas a referenciar la revista como fuente de información.

Esta revista no aplica ningún cargo económico ni en la entrega de artículos ni para la producción editorial de los artículos.

## CLÁUSULA DE EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del Comité Editorial de la publicación. Las imágenes son responsabilidad de los autores y o de la imprenta que realiza el diseño. El Comité Editorial declina toda responsabilidad por los derechos que pudieran derivarse de ellas.

## FECHAS DE RECEPCIÓN DE ARTÍCULOS

Los artículos se reciben durante todo el año de manera electrónica en el correo:

[revista.epistemus@correom.uson.mx](mailto:revista.epistemus@correom.uson.mx)

- Cierre de la edición del primer número del año: Primera quincena de marzo
- Cierre de la edición del segundo número del año: Primera quincena de septiembre
- Impresión y distribución: Junio y Diciembre de cada año.

## MAYORES INFORMES AL CORREO Y PÁGINA WEB

[revista.epistemus@correom.uson.mx](mailto:revista.epistemus@correom.uson.mx)

[www.epistemus.uson.mx](http://www.epistemus.uson.mx)

# Dr. Enrique Fernando Velázquez Contreras

## Rector de la Universidad de Sonora

### 2017 – 2021



Originario de Hermosillo, Sonora, el Dr. Enrique F. Velázquez Contreras cursó sus estudios de licenciatura en el Departamento de Ciencias Químico Biológicas dentro de la carrera de Químico Biólogo con especialidad en Análisis Clínicos, para posteriormente cursar sus estudios de maestría y doctorado en el Programa de Posgrado en Ciencias de Materiales, Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales.

A desarrollado diversas actividades académicas, entre ellas como auxiliar de laboratorio y profesor de asignatura en el Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica, y dentro de la Universidad de Sonora incluye participación como Profesor de Asignatura y posteriormente de tiempo completo en el Departamento de Ciencias Químico Biológicas (1985 – 1992), y a partir de 1992 como Investigador de Tiempo Completo, del Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales formando parte del Cuerpo Académico “Química Supramolecular”, reconocido como Cuerpo Académico Consolidado por PROMEP.

Ha dirigido 8 tesis de licenciatura, 3 de maestría y 2 de doctorado, participando asimismo en 16 jurado de tesis de posgrado, incluyendo 3 como sinodal externo en el Centro de Graduados e Investigación del Instituto Tecnológico de Tijuana y 3 en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Como producto de su trabajo académico y de investigación, el Dr. Velázquez Contreras cuenta con más de 17 artículos científicos publicados en revistas indexadas de circulación internacional, con 113 citas independientes a sus publicaciones. Lo anterior le ha hecho merecedor de distinciones tales como el Reconocimiento de Profesor con Perfil Deseable otorgado por la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación

Científica (SESI), y ser miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1998, contando actualmente con el nivel 1.

En el ámbito administrativo y colegiado, fungió como miembro de los Comités de Evaluación de los Programas Integrantes de Fortalecimiento Institucional (PIFI) de la SESIC, como miembro de los Comités de Evaluación de los Programas Integrales de Fortalecimiento del Posgrado (PIFOP) de CONACyT, así como miembro del jurado del Premio Nacional de Química “Andrés Manuel del Río”, otorgado por la Sociedad de Química de México. A la fecha, es miembro activo del Comité de Ciencias Naturales y Exactas de los Comités Interinstitucionales para la Evaluación de la Educación Superior (CIIES), participa como evaluador del Comité de Ingeniería y Tecnología de los CIIES, así como evaluador del Comité de Biología y Química de CONACyT.

Cuenta también con experiencia en Administración Académica dentro de la Universidad de Sonora, ejerciendo diversos cargos entre ellos, Secretario Administrativo del Departamento de Ciencias Químico Biológicas (1987 – 1991), Secretario Académico del Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales (1992 – 1995), Director de la División de Ingeniería (1995 – 1999), Coordinador de los Programas de Posgrado en Ciencia de Materiales (2000 – 2001), y como Secretario General Académico (2001 – 2017).

En Junio de 2017, la Junta Universitaria lo elige por mayoría de votos como rector de la máxima casa de estudios del estado de Sonora, por el periodo comprendido del 16 de junio de 2017 al 15 de junio de 2021.

# FIEBRE MANCHADA Y SU POTENCIAL COINFECCIÓN CON OTRAS ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTOR

*Spotted fever and its potential coinfection with other vector borne diseases*

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

ISSN: 2007-4530 (impresa)

Dr. Gerardo Álvarez Hernández<sup>1</sup>  
 Dr. Jesús David Licona Enríquez<sup>2</sup>  
 Dr. Jesús Delgado de la Mora<sup>3</sup>  
 Dra. María del Carmen Candia Plata<sup>4</sup>

Recibido: 27 de noviembre de 2016,  
 Aceptado: 22 de mayo de 2017

Autor de Correspondencia:  
 Dr. Gerardo Álvarez Hernández  
 Correo: galvarezh63@gmail.com

## Resumen

La fiebre manchada por *Rickettsia rickettsii* (FMRR) es una enfermedad reemergente transmitida en México por las garrapatas *Rhipicephalus sanguineus* infectadas por la bacteria homónima. Presentamos 3 casos fatales que cumplieron con criterios de compatibilidad para FMRR, y que al tener un resultado positivo para Dengue o *Chikungunya* no se solicitó prueba confirmatoria para FMRR o se hizo en días de evolución clínica donde es poco probable encontrar elevación de anticuerpos específicos contra la bacteria. Si bien existe una similitud en el cuadro clínico y de laboratorio entre FMRR y padecimientos febriles exantemáticos endémicos en Sonora, hay datos clínicos, de laboratorio y epidemiológicos que podrían guiar al médico clínico a sospechar de la enfermedad, incluso en presencia de una prueba positiva confirmatoria de algún otro padecimiento. Esta serie de casos es una llamada a estructurar protocolos de estudio en pacientes con enfermedades febriles exantemáticas en regiones endémicas de FMRR como Sonora.

**Palabras claves:** *Rickettsia rickettsii*, Dengue, Fiebre Chikungunya.

## Abstract

*Rocky Mountain Spotted Fever (RMSF) is a reemergent disease in Mexico transmitted by Rhipicephalus sanguineus ticks infected with Rickettsia rickettsii bacteria. We present 3 fatal cases that met clinical criteria for RMSF but did not have a confirmatory test due to having a positive test for Dengue or Chikungunya infection or because the test was done in a clinical period where it is unlikely to find a rise of specific antibodies against the bacteria. Although there is similarity in clinical and laboratory findings between RMSF and other exanthematic febrile diseases endemic to Sonora, there are clinical, laboratory and epidemiological clues that can guide clinicians to an early suspicion of the disease, even in the presence of a positive confirmatory result for other diseases. This case series is a call to improve study protocols on patients with exanthematic febrile diseases in endemic regions for RMSF such as the State of Sonora*

**Key words:** *Rickettsia rickettsii*, Dengue, Chikungunya Fever.

<sup>1</sup> Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad de Sonora, México. / Correo: galvarezh63@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad de Sonora, México. / Correo: jdlicona@gmail.com

<sup>3</sup> Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad de Sonora, México. / Correo: jdelgadam@live.com.mx

<sup>4</sup> Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad de Sonora, México. / Correo: carmenc@guayacan.uson.mx



## INTRODUCCIÓN

La Fiebre Manchada por *Rickettsia rickettsii* (FMRR) es una enfermedad transmitida en México por las garrapatas *Rhipicephalus sanguineus* infectadas con *Rickettsia rickettsii*, una bacteria gran negativa intracelular obligada [1-3], reemergente en el estado de Sonora desde los primeros años del siglo XXI como un problema de salud pública con un impacto específico en grupos vulnerables de la población [4].

Su importancia radica en que a pesar de la existencia de un tratamiento antibiótico efectivo, la letalidad en Sonora permanece entre las más elevadas a nivel mundial, principalmente asociada al retraso diagnóstico y terapéutico, tanto por la poca especificidad sintomática en los primeros días de evolución como por el desconocimiento médico y por la ocurrencia de enfermedades que semejan el cortejo sintomático de la FMRR, como son el Dengue (DenV), Chikungunya (ChikV), Zika (ZikV), hepatitis, entre otros [4-8]. Por ello, el médico en contacto con pacientes infectados por FMRR, enfrenta un desafío diagnóstico, pues tales padecimientos comparten con la FMRR no sólo el cuadro clínico y de laboratorio, si no también ocurre con mayor frecuencia en escenarios sociodemográficos (p.e. pobreza, contacto con perros, garrapatas y mosquitos) y climáticos (Verano) que son semejantes [9-10].

Si bien, el impacto de un algoritmo de abordaje médico en enfermedades febriles exantemáticas en regiones con FMRR no ha sido documentado, en áreas con condiciones climáticas similares a las de Sonora, se ha reportado una subestimación de diversas enfermedades que se atribuye a resultados positivos mediante pruebas rápidas y serológicas

para DenV, lo que puede confundir al médico y detener el protocolo de estudio al no considerarse la posibilidad de una coinfección [11], y en el caso de regiones con FMRR, elevar las tasas de letalidad al contribuir al retraso del tratamiento específico con doxiciclina.

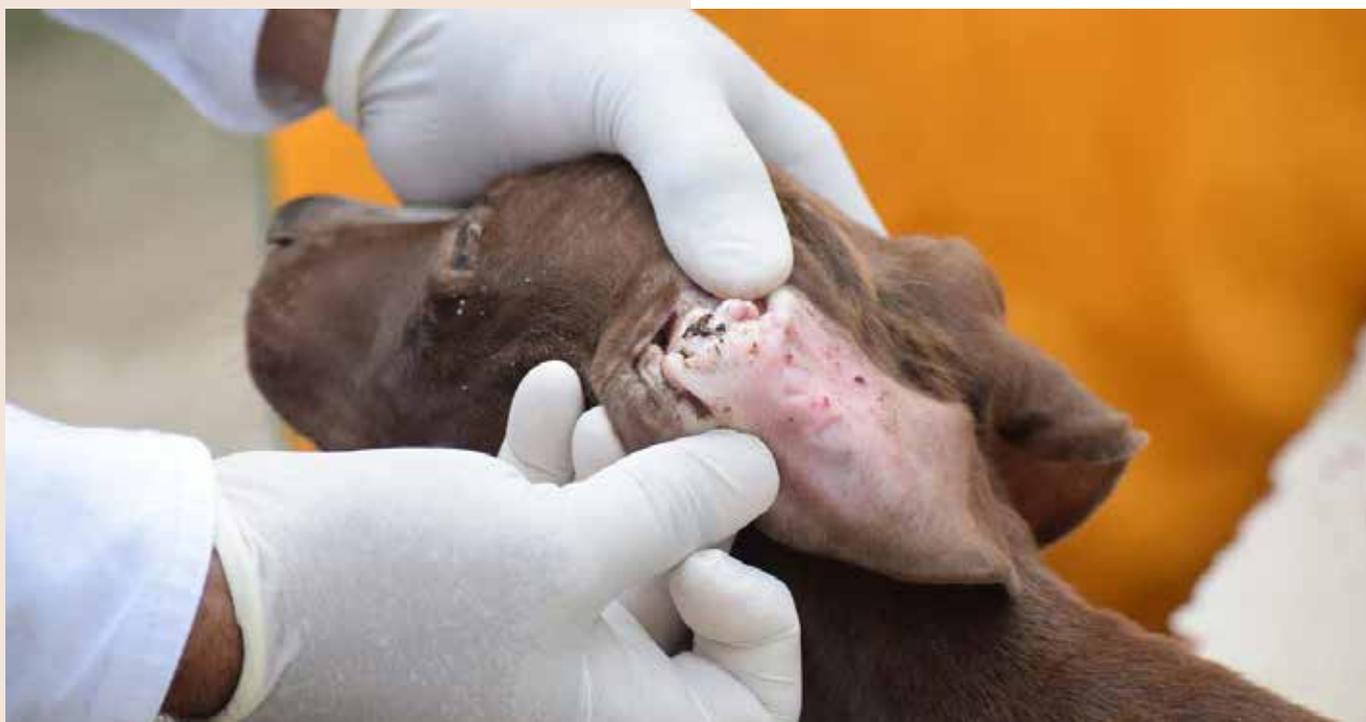
Por lo anterior, presentamos una serie de casos hospitalizados compatibles por criterios clínicos y epidemiológicos con el diagnóstico de FMRR, en los que adicionalmente se identificó una prueba positiva a Dengue o Chikungunya. Se discuten las implicaciones de la potencial coinfección.

## REPORTE DE CASOS

### Caso 1

Paciente masculino de 26 años de edad, sin antecedentes patológicos de importancia, historia de contacto con perros o garrapatas y previamente sano. Inició su sintomatología 4 días previos a su hospitalización con astenia, adinamia, mialgias, artralgias, vómito, diarrea, dolor abdominal, exantema petequeial generalizado y fiebre no cuantificada. Acudió previamente a consulta con médico particular que prescribió manejo sintomático no especificado antes de su ingreso.

A la exploración física se le observó con exantema generalizado petequeial que involucraba palmas y plantas, con deshidratación de piel y mucosas e inyección conjuntival bilateral. Sus signos vitales mostraban una presión arterial de 80/60 mmHg, frecuencia cardiaca de 133 latidos por minuto y una temperatura de 36.3°C, sin agregados patológicos a la exploración. Sus pruebas





de laboratorio mostraron leucocitosis (18.6/ $\mu$ L) con predominio de neutrófilos (17.5/ $\mu$ L), linfopenia (0-7/ $\mu$ L), plaquetopenia severa (14/ $\mu$ L), hiponatremia (126 mEq/L), hipoalbuminemia (2.6 gr/dL) y procalcitonina sérica elevada (18ng/mL); se le realizó un ultrasonido abdominal que mostró escaso derrame pleural izquierdo.

A su ingreso fue diagnosticado como enfermedad febril exantemática y se sospechó de rickettsiosis por lo que se inició manejo con doxiciclina intravenosa (IV). También, se dio reanimación hídrica con soluciones cristaloides sin presentar mejoría, por lo que se brindó apoyo aminérgico, además de transfundirse seis concentrados plaquetarios debido a plaquetopenia severa. A pesar del manejo, se mantuvo febril con hipotensión, taquicardia y oliguria, por lo que en su segundo día de estancia intrahospitalaria fue ingresado a la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) debido a hipoperfusión y falla hepática (TGO 546/ $\mu$ L, TGP 206/ $\mu$ L, GGT 258/ $\mu$ L), renal (Creatinina 1.49 mg/dL, Urea 90 mg/dL), hematológica y hemodinámica, que provocó una falla orgánica múltiple y la defunción. Se obtuvo un resultado positivo para DenV (NS1), pero no se realizó examen serológico para FMRR debido a que sólo tenía 4 días de evolución al momento de su ingreso.

### Caso 2

Paciente femenino de 35 años de edad con 3 cesáreas previas, historia de contacto con perros ectoparasitados y con el antecedente de que dos contactos intradomiciliarios fueron confirmados (PCR positivo) como casos de fiebre manchada por *Rickettsia rickettsii*, con tres días de diferencia. Tenía historia de asma desde la infancia tratada únicamente con medicamento de rescate. Inició su padecimiento 1 semana previa a su ingreso con mialgias, artralgias, cefalea e hipertermia no cuantificada. Dos días antes de su ingreso inició exantema petequial generalizado con predominio en extremidades inferiores. Acudió a médico general que estableció el diagnóstico de dengue no grave y fue administrado tratamiento sintomático (paracetamol). Sin

mejoría, se agregó hemorragia transvaginal sin relación con su ciclo menstrual y disnea en reposo, por lo que fue hospitalizada.

A su ingreso hospitalario se observó somnolienta, con piel marmórea y presencia de exantema petequial que involucró palmas y plantas, así como mucosas deshidratadas. En tórax se auscultó hipoventilación con presencia de estertores crepitantes, llenado capilar retardado en extremidades superiores e inferiores, pulsos no perceptibles, signos vitales con tensión arterial imperceptible, frecuencia cardiaca de 120 latidos por minuto, frecuencia respiratoria de 6 respiraciones por minuto y glicemia capilar de 25mg/dL. En el laboratorio tenía leucocitos de 9.7/ $\mu$ L, con predominio de neutrófilos (7.8/ $\mu$ L), plaquetopenia severa (6/ $\mu$ L), falla renal (creatinina 3.07 mg/dL, urea 91 mg/dL), falla hepática (TGO 1720/ $\mu$ L, TGP 191/ $\mu$ L, DHL 8897/ $\mu$ L, BT 4.9 mg/dL, BD 4.3 mg/dL), hiponatremia (131 mEq/L) e hiperkalemia (incremento de potasio) (8.39 mEq/L).

Se dio manejo avanzado de la vía aérea con intubación endotraqueal en secuencia rápida, tuvo sangrado endotraqueal de 400ml y paro cardiorrespiratorio irreversible apenas un par de horas posteriores a su ingreso. Se obtuvo resultado positivo para DenV (NS1) e indeterminado para FMRR en una prueba de inmunofluorescencia indirecta (IgG) que se realizó a una muestra sanguínea única tomada al séptimo día de evolución.

### Caso 3

Paciente masculino de 39 años de edad, previamente sano y sin antecedentes patológicos de importancia, inició síntomas 4 días previos a su ingreso con mialgias, artralgias, hipertermia no cuantificada, así como odinofagia y disfagia, fue tratado ambulatoriamente como infección de vías respiratorias altas, sin especificar tratamiento. Sin mejoría, se agregó edema de miembros inferiores y tronco, así como exantema petequial generalizado con coloración marmórea de la piel y dolor intenso en articulaciones de pies y manos que refirió como incapacitante además de disnea en reposo.





Acudió a urgencias donde fue ingresado con datos de hipoperfusión con falla renal y hepática, siendo diagnosticado como probable rickettsiosis y se inició manejo con doxiciclina IV, así como reanimación con soluciones cristaloides. Los laboratorios al ingreso mostraron una leucocitosis (48.28/ $\mu$ L) caracterizada por linfopenia (0.38/ $\mu$ L), plaquetopenia severa (43/ $\mu$ L), hemoconcentración (hemoglobina 20.2 g/dL, hematocrito 56.3%), hiponatremia (133.8 mEq/L), hiperkalemia (8.0 mEq/L), falla renal (creatinina 2.8 mg/dL, urea 64 Mg/dL) y datos de falla hepática (TGO 348/ $\mu$ L, TGP 62/ $\mu$ L, GGT 167.06/ $\mu$ L, DHL 3144/ $\mu$ L).

Sin presentar mejoría clínica, fue admitido a la unidad de cuidados intensivos (UCI) en su segundo día de estancia intrahospitalaria donde continuó sin responder a tratamiento con líquidos y aminos, persistiendo con hipotensión y anuria, presentó paro cardiorrespiratorio irreversible por lo que se declaró su defunción. Se confirmó diagnóstico de ChikV por reacción en cadena de polimerasa (PCR), pero no se realizó prueba para FMRR.

## DISCUSIÓN

La fiebre manchada por *Rickettsia rickettsii* es un padecimiento difícil de confirmar por laboratorio y su diagnóstico es esencialmente clínico. La prueba de referencia que confirma es la determinación cuantitativa de anticuerpos IgG en muestras pareadas tomadas al final de la primera y de la tercera semana de evolución clínica [2]. Los síntomas y signos, especialmente el exantema petequeial generalizado que involucra plantas y palmas, la presencia de neutrofilia con linfopenia e hiponatremia, así como los datos epidemiológicos (p.e. contacto con perros, casos confirmados en misma familia) son altamente sugestivos de FMRR. También es esencial considerar que las tasas de letalidad para DenV/ChikV son bajas, mientras en FMRR predomina en pacientes con comorbilidades (p.e. insuficiencia renal, deficiencia de glucosa 6 fosfato deshidrogenasa) [4, 12], aunque esto no fue observado en los casos que hemos descrito quienes se encontraban aparentemente sanos antes de su última oportunidad.

Basados en lo anterior, los casos revisados cumplieron con criterios de compatibilidad para FMRR. Al obtener un resultado positivo para dengue o chikungunya, no se solicitó prueba para *R. rickettsii* o se hizo en días en los que es poco probable determinar la elevación de anticuerpos, ya que se ha documentado que sólo del 40-50% de los pacientes elevan títulos después del 7<sup>o</sup>-9<sup>o</sup> día de las manifestaciones clínicas, y aun cuando se obtuviera un resultado positivo, es necesaria la realización de una segunda prueba para evidenciar la elevación de 4 veces los títulos de IgG para confirmar el diagnóstico de FMRR [13].

Si bien existe una similitud en el cuadro clínico y de laboratorio entre FMRR y diversos padecimientos endémicos en Sonora como dengue, chikungunya y zika, la presencia de fiebre, cefalea y malestar general, acompañados por



Si bien el exantema puede ser un signo que ayude a sospechar alguna de estas enfermedades, es posible que no se manifieste o no se logre identificar, particularmente en pacientes de piel oscura. Además del exantema existen otros síntomas característicos como las artralgias severas de pequeñas articulaciones en el caso de ChikV y el dolor retroocular en el caso de DenV, aunque es complicado basar la sospecha diagnóstica en estos datos dada la subjetividad de los mismos [9, 15].

En el caso de datos de laboratorio, aunque la trombocitopenia es una constante dentro de estas enfermedades, en ChikV y ZikaV el descenso plaquetario es menor e incluso no hay trombocitopenia [10, 15]. Del mismo modo, el conteo leucocitario resulta relevante, en el caso de FMRR se

han documentado tanto leucocitosis como leucopenias acompañadas de neutrofilia y linfopenia [4, 19]; ChikV por su parte suele manifestarse con cuentas leucocitarias bajas sin diferencias sustantivas en el conteo, aunque en casos severos se ha reportado casos leucocitosis y neutrofilia [20], en el caso de DenV la leucopenia es constante sin predominio en el conteo diferencial [9].

A pesar de identificarse algunos otros datos de laboratorio sugerentes de cada enfermedad, como la hiponatremia en FMRR o la hipocalcemia en ChikV, pueden ocurrir en los tres padecimientos, igual que la hipoalbuminemia, elevación de enzimas hepáticas y bilirrubinas, prolongación de tiempos de coagulación, elevación de cuerpo azoados, entre otros [4, 9, 15]. Asimismo, basados en que procalcitonina (PCT) es un reactante de fase aguda que se eleva principalmente en infecciones de tipo bacteriano, puede constituir un marcador biológico útil, especialmente ante la presencia de cuadro exantemático febril, debe incluirse el diagnóstico de sospecha de FMRR [20-22].

A pesar de no encontrarse un dato de laboratorio patognomónico, la presencia de trombocitopenia con leucocitosis puede sugerir un cuadro de gravedad de FMRR, por lo que es necesario la evaluación médica cuidadosa que compare el cuadro clínico y de laboratorio de las 3 patologías descritas en esta serie. Del mismo modo, en regiones endémicas de FMRR, dengue y chikungunya, resulta prioritario establecer un protocolo de estudio de enfermedades febriles exantemáticas. En este sentido, es menester considerar que las pruebas rápidas para DenV

historia de contacto con garrapatas podrían guiar al médico a sospechar FMRR, cuyo diagnóstico no debe descartarse aún en presencia de alguna prueba confirmatoria de otro padecimiento (DenV, ChikV). La presencia de exantema puede constituir un elemento clave en la sospecha diagnóstica. Aunque se acepta que hasta 10% de los pacientes con FMRR no presentan exantema, cuando lo tienen es inicialmente macular que puede evolucionar a petequias generalizadas, y en fases avanzadas de la vasculitis involucra característicamente plantas y palmas. El exantema de FMRR tiene una progresión centripeta desde las muñecas y tobillos hacia los brazos, piernas y tronco [2, 3,14]. También es importante considerar que el exantema en FMRR puede ocurrir hasta el 4-5° día de evolución, aunque como se señaló no es necesaria su aparición para iniciar el tratamiento antibiótico [2, 14, 18].

En el caso de ChikV, el exantema se caracteriza por ser macular sin respetar plantas ni palmas, similar al exantema de FMRR, pero sin evolucionar a petequial, además en pacientes pediátricos y adultos con cuadros severos se han reportado lesiones bulosas [15,16]. En pacientes con dengue durante la fase febril, se describe un exantema maculo-papular, eritematoso, que no afecta plantas y palmas, mientras que en la fase de recuperación se puede presentar un segundo evento exantemático de tipo maculopapular o petequial generalizado que suele acompañarse de prurito [9, 17]. Por otro lado, en el caso de zika aunque no hay claridad acerca de las características del exantema, es usualmente maculo-papular, rubicundo y acompañado de purito.

pueden generar un subregistro de otras enfermedades con presentaciones similares (ChikV, Zika) [11], y en el caso de regiones con FMRR, retrasar la sospecha diagnóstica e incrementar la probabilidad de formas severas al detenerse la indagación clínica cuando se obtenga un resultado positivo por prueba rápida para DenV.

Existe el antecedente de un paciente coinfectado con *Rickettsia rickettsii* y *Streptococcus pyogenes*, que presentó un cuadro clínico agresivo, en el que a pesar de haber iniciado doxiciclina en su 4º día de evolución, el paciente continuó con deterioro generalizado y falleció en su 5º día de evolución [23]. Este antecedente sugiere que la coinfección de FMRR con otros padecimientos es posible, aun cuando no tenemos conocimiento de la confirmación de la coinfección por FMRR y DenV/ChikV. Nuestra serie no pretende concluir al respecto, sino sugerir que se realicen protocolos exhaustivos de evaluación clínica y de laboratorio en pacientes con exantema febril en regiones endémicas semejantes a las que se observan en el estado de Sonora.

## REFERENCIAS

[1] Dantas-Torres F. Rocky Mountain spotted fever. *Lancet Infect Dis* 2007; 7(11): 724-32.

[2] Chen LF, Sexton DJ. What's new in Rocky mountain spotted fever? *Infect Dis Clin North Am* 2008; 22(3): 415-432.

[3] Cunha BA. Clinical features of Rocky Mountain spotted fever. *Lancet Infect Dis* 2008; 8(3): 143-44.

[4] Álvarez-Hernández G, Murillo-Benitez C, Candia-Plata MC, Moro M. Clinical profile and predictors of fatal rocky mountain spotted fever in children from Sonora, Mexico. *Ped Infect Dis J* 2015; 34(2): 125-30.

[5] Kirkland JE, Wilkinson WE, Sexton DJ. Therapeutic delay and mortality in cases of Rocky Mountain spotted fever. *Clin Infect Dis* 1995; 20(5): 1118-121.

[6] Masters E, Olson GS, Weiner SJ, Paddock CD. Rocky mountain spotted fever a clinician's dilemma. *Arch Intern Med* 163(7): 769-74.

[7] Lee N, Lp M, Wong B, Lui G, Yin-Tsang OT, Lai JK, et al. Risk factor associated with life - threatening rickettsial infections. *Am J Trop Med Hyg* 2008; 78(6): 973-78.

[8] Zientek J, Dahlgreen FS, McQuiston JH, Regan J. Self-reported treatment practices by healthcare providers could lead to death from Rocky mountain spotted fever. *J Pediatr* 2014; 164(2): 416-18.

[9] Guzmán M and Kouri G. Dengue: an update. *Lancet Infect Dis* 2002; 2(1): 33-42. Staples.

[10] JE, Breiman RF, Powers AM. Chikungunya fever: an epidemiological review of a re-emerging infectious disease. *Clin Infect Dis* 2009; 49(6): 942-48.

[11] Saswat T, Kumar A, Kumar S, Mamidi P, Muduli S, Kumar N, et al. High rates of co-infection of Dengue and Chikungunya virus in Odisha and Maharashtra, India during 2013. *Infect Genet Evol* 2015; 35: 134-141.

[12] Walker DH, Hawkins HK, Hudson P. Fulminant Rocky Mountain spotted fever. Its pathologic characteristics associated with glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency. *Arch Pathol Lab Med* 1983; 107 (3): 121-5.

[13] Paddock CD, Greer PW, Ferebee TL, Singleton J, McKechnie DB, Treadwell TA, et al. Hidden mortality attributable to Rocky Mountain spotted fever: immunohistochemical detection of fatal, serologically unconfirmed disease. *J Infect Dis* 1999;

179 (6): 1469-76.

[14] Abarca K, Oteo JA. Aproximaciones clínicas y principales rickettsiosis transmitidas por garrapatas presentes en Latinoamérica. *Rev Chilena Infectol* 2014; 31 (5): 569-76.

[15] Pialoux G, Gauzere BA, Jaureguiberry S, Strobel M. Chikungunya, an epidemic arbovirolosis. *Lancet Infect Dis* 2007; 7: 319-27.

[16] Rahman-Malik M, Mnzava A, Mohareb E, Zayed A, Al Kohlani A, Thabet AAK, et al. Chikungunya outbreak in Al-Hudaydah, Yemen, 2011: epidemiological characterization and key lessons learned for early detection and control. *J Epidemiol Glob Health* 2014; 4: 203-11.

[17] Simmons CP, Farrar JJ, Van Vinh Chau N, Wills B. Dengue. *N Engl J Med* 2012; 366: 1423-32.

[18] Mukkada S, Buckingham SC. Recognition of and prompt treatment for tick-borne infections in children. *Infect Dis Clin N Am* 2015; 29: 539-555.

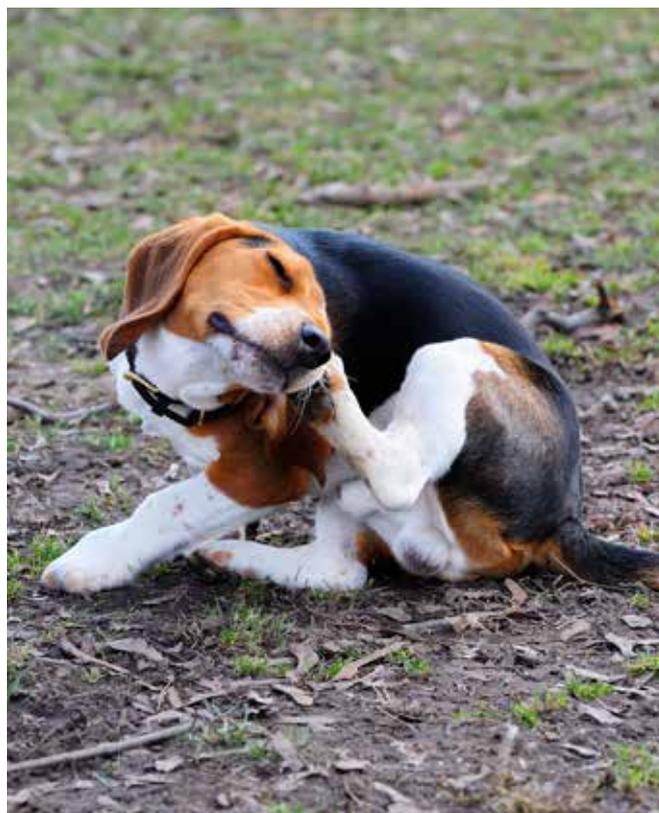
[19] De Lara-Huerta J & Cárdenas-Barragán R. Fiebre manchada de las montañas rocosas en pediatría: revisión clínica de una serie de 115 casos. *Rev Enfnfecc Ped* 2008; 22 (85): 4-9

[20] Torres JR, Codova LG, Castro JS, Rodríguez L, Saravia V, Arvelaez J, et al. Chikungunya fever: atypical and lethal cases in the western hemisphere a Venezuelan experience. *ID cases* 2015: 6-10.

[21] Delevaux I, Andre M, Colombier M, Albuissou E, Begue RJ, Piette JC, et al. Can procalcitonin measurement help in differentiating between bacterial infection and other kinds of inflammatory processes? *Ann Rheum Dis* 2003; 62(4): 337-40.

[22] Alkholi UM, Al-monem NA, El-Azim AAA, Sultan MH. Serum procalcitonin in viral and bacterial meningitis. *J Glob Infect Dis* 2011; 3(1): 14-18.

[23] Raczniaak GA, Kato C, Chung IH, Austin A, McQuiston JH, Weis E, et al. Case report: co-infection of *Rickettsia rickettsii* and *Streptococcus pyogenes*: is fatal Rocky Mountain spotted fever underdiagnosed? *Am J Trop Med Hyg* 2014; 91(6): 1154-1155.



# ELABORACIÓN DE UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES DE ALTA RESOLUCIÓN DE LA CUENCA EXPERIMENTAL TORRE RAYÓN, SONORA

*Development of a high resolution digital elevation model of experimental watershed Torre Rayon, Sonora*

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

ISSN: 2007-4530 (impresa)

M.C. Juan Alejandro Saiz Rodríguez<sup>1</sup>  
 Ing. Sughey Alejandra Miranda Torres<sup>2</sup>  
 Ing. Alejandra Castro Valencia<sup>3</sup>  
 Ing. Ramón Saiz Rodríguez<sup>4</sup>  
 Dr. Juan Arcadio Saiz Hernández<sup>5</sup>

Recibido: 17 de septiembre de 2016,

Aceptado: 23 de mayo de 2017

Autor de Correspondencia:

M.C. Juan Alejandro Saiz Rodríguez

Correo: [juan.saiz@dicym.uson.mx](mailto:juan.saiz@dicym.uson.mx)

## Resumen

Se desarrolla una procedimiento basado en ArcGIS para la obtención de un modelo digital de elevaciones de alta resolución espacial a partir de puntos de coordenadas (x,y,z) tomados con un sistema de posicionamiento global de doble frecuencia. El modelo se contrasta con valores de altitud tomados con Estación Total, resultando parámetros estadísticos muy similares entre sí y un error cuadrático medio igual a 0.1401, lo que indica la confiabilidad del producto para ser utilizado en estudios avanzados de Hidrología e Hidráulica Fluvial de microcuencas.

**Palabras clave:** GPS, Estación Total, microcuencas

## Abstract

A procedure based on ArcGIS is developed for obtaining a high resolution digital elevations model from points of coordinates (x, y, z) taken with a global positioning system dual frequency. The model is contrasted with altitude values taken with Total Station and statistical parameters result very similar to each other and mean square error equals to 0.1401, indicates the reliability of the product to be used in advanced Hydrology studies and Fluvial Hydraulics in micro watersheds.

**Keywords:** GPS, Total station, micro watersheds

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora / Correo electrónico: [juan.saiz@dicym.uson.mx](mailto:juan.saiz@dicym.uson.mx)

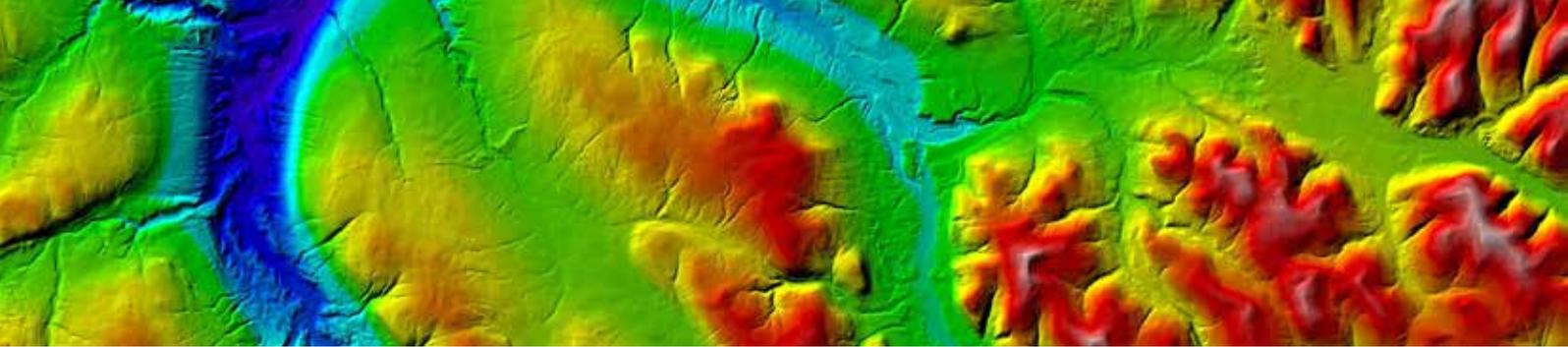
<sup>2</sup> Estudiante Ingeniera Civil, Universidad de Sonora / Correo electrónico: [sugheymiranda@gmail.com](mailto:sugheymiranda@gmail.com)

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora / Correo electrónico: [acastro@dicym.uson.mx](mailto:acastro@dicym.uson.mx)

<sup>4</sup> Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora / Correo electrónico: [ramón.saiz@unison.mx](mailto:ramón.saiz@unison.mx)

<sup>5</sup> Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora / Correo electrónico: [jsaiz@dicym.uson.mx](mailto:jsaiz@dicym.uson.mx)





## INTRODUCCIÓN

Un modelo digital de elevaciones (MDE) es la representación digital de las formas del relieve terrestre de manera estimada y simplificada, que se define por la distribución espacial regular de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar [1] y consiste en un arreglo matricial de elevaciones para un número determinado de posiciones espaciadas en intervalos regulares [2].

El MDE constituye un elemento invaluable para estudios de Ciencias de la Tierra y proyectos de administración y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Originalmente se utilizaron para analizar la pendiente, el aspecto y el sombreado del terreno, delineado de depresiones, flujo por tierra, trayectos de flujo y delineación de cuencas [3]. Posteriormente, las aplicaciones crecieron en calidad y cantidad, siendo utilizados para agricultura de precisión, en la que las propiedades inherentes al suelo y la topografía controlan el movimiento del agua [4] que se representa por el parámetro de índice de humedad topográfico con el que se puede determinar la profundidad de labranza y la cantidad de fertilizantes de manera óptima [5]. También se han desarrollado aplicaciones para estudios forestales, en los que se ha delineado la copa de los árboles [6] o evaluado parámetros de bosques con procedimientos semiautomatizados con la mínima interacción de las personas [7]. Los modelos digitales también han sido utilizados para estudios de erosión en cuencas rurales [8] y en áreas agrícolas [9] para analizar y controlar la pérdida de suelo. Las aplicaciones en Hidrología son las más generalizadas y para las que se han desarrollado más aplicaciones informáticas y los modelos digitales de elevación en su estructura ráster [10] o de red de triángulos irregulares [11] (TIN), son el elemento fundamental para la modelación hidrológica avanzada que se desarrolla sobre Sistemas de Información Geográfica [11, 10].

Los MDE se elaboran con diversos métodos y muy variada tecnología. Pueden ser creados con un proceso de digitalización e interpolación a partir de la digitalización de cartografía topográfica [12], mediante fotogrametría aérea o satelital [13] o con medidas que se realizan directamente sobre el terreno real, como el DEM de 90 m generado por la misión topográfica con radar del transbordador espacial (SRTM) [14] y el de 30 m obtenido con el Radiómetro Térmico de Emisión y Reflexión (ASTER) [15] que cubren todo el planeta.

Los DEM's generados con estas metodologías son de gran calidad y precisión; sin embargo, en cuencas muy

pequeñas, de 1 a 5 hectómetros, no proporcionan información suficiente, por lo que existe alternativas como el LIDAR (Detección y Medición a Través de la Luz), que permite elaborar DEM's de 1.0 m [16] o de menor resolución o bien con mallas de puntos registrados con Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), con lo que es posible estudiar áreas pequeñas [17].

En México se tiene acceso a las tecnologías mencionadas para elaborar MDE's; sin embargo, las condiciones típicas de cobertura vegetal y climáticas de las zonas áridas, hacen que la creación de un modelo con GPS sea una opción económica en la región, por lo que este trabajo tiene como objetivo mostrar un procedimiento para elaborar un MDE de alta resolución espacial de la cuenca experimental Torre Rayón a partir de una malla irregular de puntos registrados con un GPS en modo RTK y los resultados se validan con un conjunto de puntos tomados con Estación Total.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio de estudio, figura 1, lo constituye la cuenca de 2.158 hm<sup>2</sup> delimitada por las coordenadas UTM (544600,3290400); (54500, 3290400); (544500, 3290000) y (545000, 3290000) y está localizado a 4.1 km al noreste de Rayón, Sonora.

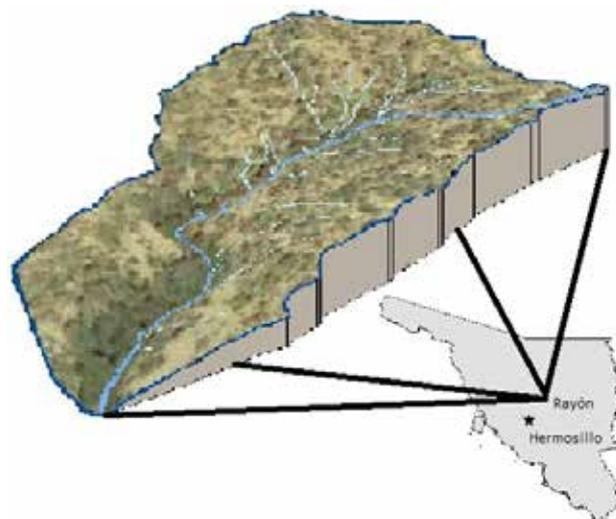
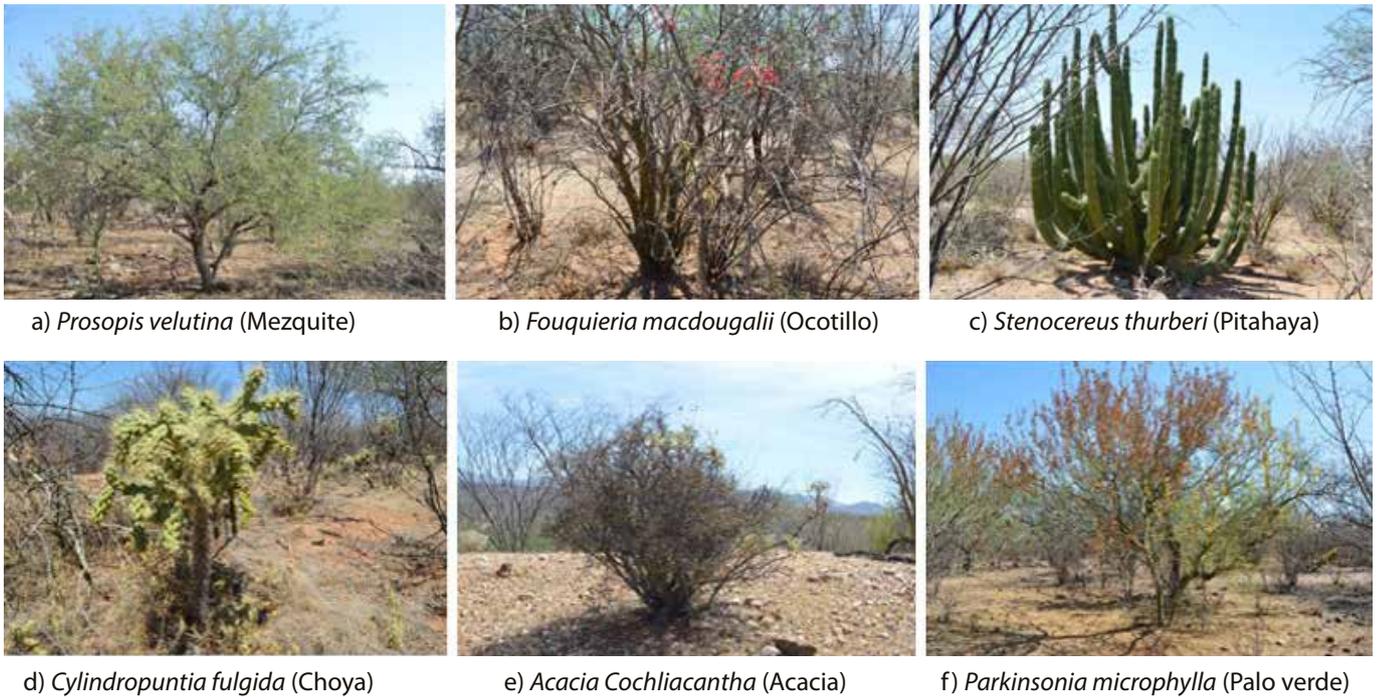


Figura 1. Localización del sitio de estudio.

En el área predomina el clima seco a muy seco, con precipitación inferior a los 400 mm al año y su temperatura media anual de 18 a 26 °C, por lo que se considera clima extremo. Predomina la vegetación desértica como mezquite,



**Figura 2. Vegetación típica en el sitio de estudio. Estudio topográfico.**

ocotillo, pitahaya, choya, acacia y palo verde (figura 2) que presenta un mayor porcentaje de cobertura vegetal durante el Monzón de Norteamérica fenómeno climatológico que produce cerca del 70% de la precipitación en la región.

Se generó una malla irregular de puntos con un GPS Zenith 20 GPS RTK Network Rover GSM. Marca GeoMax: en modo RTK (modo cinemático en tiempo real).

De acuerdo al plan de trabajo, se delimitó la cuenca con un polígono que abarcó todo el parteaguas y posteriormente se cubrió toda el área con puntos a una separación máxima de 3 m. El eje del cauce y a los taludes laterales, se levantó con mayor densidad de puntos para delinearlos y trazar sus secciones transversales. Durante el procedimiento se verificó que la señal de radio entre la estación fija y el receptor móvil se mantuviera intensa, en caso contrario se cambiaba la base. Continuamente se verificaban los puntos y se observaban las obstrucciones o posibles factores por los cuales no se obtenía la precisión deseada. Se evitó, en la medida de lo posible, realizar toma de datos después de las 14:00 horas, debido a la débil señal captada de satélites en esta zona horaria.

Los primeros levantamientos en campo se realizaron durante los meses enero y febrero, trabajándose también en julio y posteriormente de octubre a diciembre de 2014. En este último período la vegetación era demasiado densa y no permitió obtener datos precisos. El programa de trabajo se replanteó, reprogramándose el levantamiento para los meses más secos, en los que la vegetación no tiene follaje y se tiene un mejor funcionamiento del sistema GPS.

### **Elaboración del modelo digital de elevaciones**

Para elaborar el MDE se utilizó una computadora DELL, con procesador: Intel® Core™ i7-2600 CPU y los programas informáticos AutoCAD R15 y ArcGIS 10.2.2.

Para la creación del DEM se activó la extensión *Geostatistical Analyst* de ArcGIS y la herramienta ArcToolbox. Los datos (x,y,z) obtenidos con el GPS se almacenaron en forma tabular (figura 3) y para asegurar la calidad de los datos, se utilizó la herramienta *Trend analysis*. Posteriormente con la herramienta *Create TIN*, se creó el modelo TIN. Los datos de entrada y los resultados del proceso se referenciaron espacialmente en coordenadas UTM de la zona 12, con Datum WGS84.



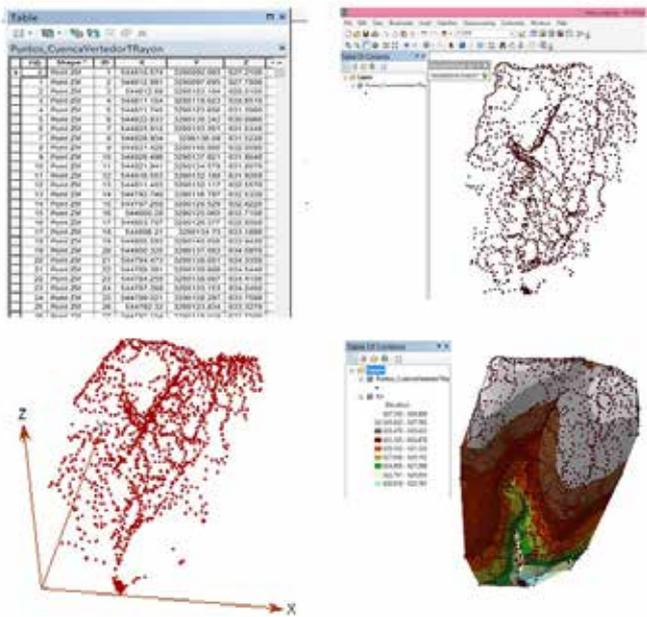


Figura 3. Procedimiento para crear el modelo TIN.

A partir del TIN, con la secuencia de instrucciones 3d Analyst→Conversion→From IN→TIN to raster de ArcTool-Box se generó el modelo digital en estructura ráster, al que se agregó la ubicación del vertedor de pared delgada con que se mide el escurrimiento de la microcuenca experimental de Torre Rayón (figura 4). La malla tiene una resolución de 1.0 m x 1.0 m, que es la más acorde al espaciamiento con que se tomaron los puntos con el GPS. Entre más fina es la malla de puntos (x,y,z), menor el tamaño del píxel con el que se puede construir el MDE.

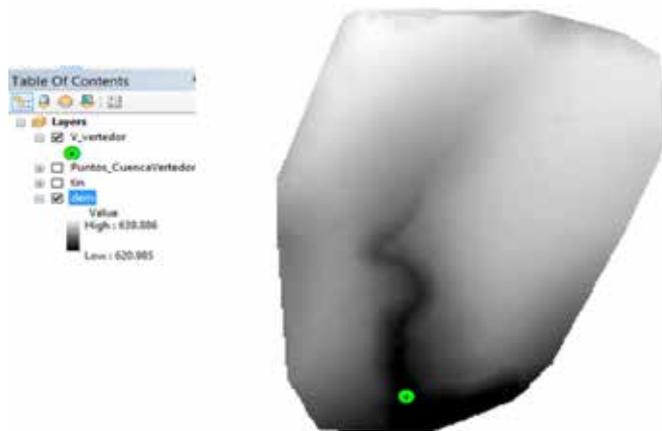


Figura 4. Modelo digital de elevaciones ráster de alta resolución.

### Precisión del MDE

Se tomaron puntos con una estación total Geomax serie ZT20 en la porción baja de la cuenca (figura 5), que

se caracteriza por sus pendientes pronunciadas y densa vegetación, a pesar de lo que se pudo tomar gran cantidad de puntos en el cauce principal de la cuenca. El equipo se ubicó en un sitio que permitió una buena visibilidad desde donde se capturaron puntos en cauces, zonas medias y altas representativas de la vertiente que se correlacionaron con las altitudes correspondientes en el MDE construido a partir de la malla generada con el GPS.

La comparación se realizó entre las elevaciones de los puntos tomados con Estación Total y los correspondientes en el modelo digital del terreno de alta resolución, que fueron extraídas del modelo con herramientas de ArcGIS.

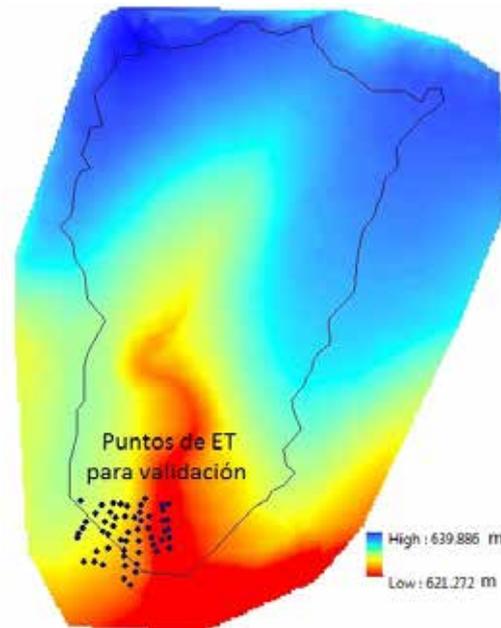


Figura 5. Puntos tomados con estación total zona baja de la cuenca.

Se realizó un análisis de correlación entre las altitudes medidas con la estación total y las correspondientes extraídas del modelo digital. También se calcularon la media, desviación estándar y el error medio cuadrático (tabla 1).

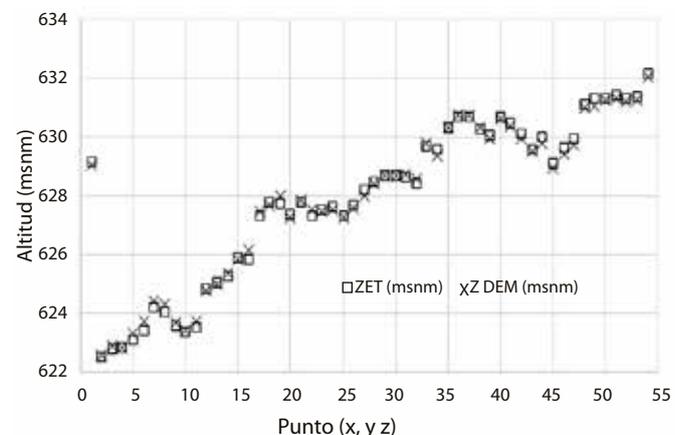


Figura 6. Comparación de altitudes de GPS y ET.

Tabla 1. Análisis estadístico de las altitudes del modelo.

Punto	Z <sub>ET</sub>	Z <sub>MDE</sub>	Z <sub>ET</sub> Z <sub>MDE</sub>	(Z <sub>ET</sub> Z <sub>MDE</sub> ) <sup>2</sup>	Punto	Z <sub>ET</sub>	Z <sub>MDE</sub>	Z <sub>ET</sub> Z <sub>MDE</sub>	(Z <sub>ET</sub> Z <sub>MDE</sub> ) <sup>2</sup>
1	629.167	629.094	0.073	0.005	30	628.712	628.711	0.001	0.000
2	622.542	622.608	-0.066	0.004	31	628.648	628.750	-0.102	0.010
3	622.781	622.916	-0.135	0.018	32	628.425	628.610	-0.185	0.034
4	622.881	622.867	0.014	0.000	33	629.708	629.824	-0.116	0.013
5	623.133	623.342	-0.209	0.044	34	629.581	629.408	0.173	0.030
6	623.442	623.740	-0.298	0.089	35	630.358	630.334	0.024	0.001
7	624.250	624.447	-0.197	0.039	36	630.725	630.765	-0.040	0.002
8	624.063	624.324	-0.261	0.068	37	630.676	630.741	-0.065	0.004
9	623.613	623.676	-0.063	0.004	38	630.261	630.337	-0.076	0.006
10	623.368	623.437	-0.069	0.005	39	630.081	629.978	0.103	0.011
11	623.536	623.751	-0.215	0.046	40	630.682	630.640	0.042	0.002
12	624.854	624.821	0.033	0.001	41	630.482	630.388	0.094	0.009
13	625.066	625.032	0.034	0.001	42	630.119	629.972	0.147	0.021
14	625.298	625.367	-0.069	0.005	43	629.617	629.531	0.086	0.007
15	625.894	625.875	0.019	0.000	44	629.998	629.831	0.167	0.028
16	625.872	626.152	-0.280	0.079	45	629.101	628.958	0.143	0.021
17	627.309	627.469	-0.160	0.026	46	629.632	629.459	0.173	0.030
18	627.794	627.723	0.071	0.005	47	629.939	629.733	0.206	0.042
19	627.732	628.025	-0.293	0.086	48	631.142	631.016	0.126	0.016
20	627.380	627.252	0.128	0.016	49	631.313	631.057	0.256	0.066
21	627.787	627.868	-0.081	0.007	50	631.331	631.271	0.060	0.004
22	627.345	627.539	-0.194	0.038	51	631.463	631.315	0.148	0.022
23	627.525	627.492	0.033	0.001	52	631.335	631.233	0.102	0.010
24	627.671	627.548	0.123	0.015	53	631.391	631.274	0.117	0.014
25	627.346	627.282	0.064	0.004	54	632.176	632.089	0.087	0.008
26	627.710	627.602	0.108	0.012	<b>Suma=</b>	<b>33907.63</b>	<b>33907.63</b>		<b>1.060</b>
27	628.206	628.029	0.177	0.031	<b>Promedio=</b>	<b>627.92</b>	<b>627.92</b>	<b>0.000</b>	<b>0.020</b>
28	628.481	628.437	0.044	0.002	<b>Desv. Est=</b>	<b>2.78</b>	<b>2.70</b>	<b>0.141</b>	<b>0.023</b>
29	628.687	628.690	-0.003	0.000	<b>EMC=</b>				<b>0.140</b>

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En relación a la precisión del modelo, en la tabla 1 se puede apreciar que no hay diferencia entre la media de los altitudes medidas con la Estación Total (Z<sub>ET</sub>) y las correspondientes en el modelo (Z<sub>MDE</sub>), resultando igual a 627.92 msnm en ambos conjuntos de datos. La media de las altitudes, resultó igual a 627.92 en los dos conjuntos de datos, mientras que la desviación estándar fue 2.78 para los valores de altitud medidos con la estación total (Z<sub>ET</sub>) y de 2.70 para los correspondientes en el modelo digital (Z<sub>MDE</sub>). Estos resultados y el error medio cuadrático estimado de 0.140, muestran que no hay una diferencia significativa en los valores de altitud.

En las figura 7, se muestra el resultado del análisis de correlación entre las altitudes tomadas con el GPS y las de los puntos correspondientes en el modelo digital del terreno de alta resolución. Se aprecia una buena correlación, observándose una levemente mayor dispersión en los puntos de baja altitud, que corresponden a las áreas donde se localizan los cauces de la cuenca y que también se caracterizan por ser los de vegetación más densa y alta, que dificulta la transmisión de la señal entre la base del GPS y el dispositivo de captura de datos.

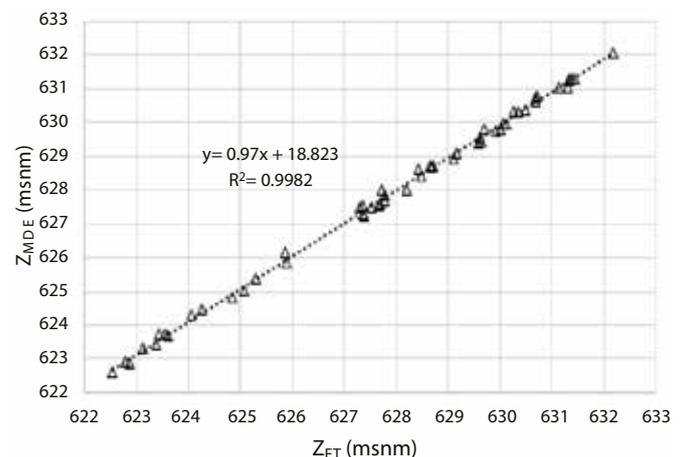


Figura 7. Análisis de correlación entre altitudes.

El modelo digital puede ayudar a visualizar el terreno con diferentes vistas (figura 8) que pueden ser en perspectiva en 3D con paletas de colores que realcen ciertos rasgos o con imágenes ráster superpuestas (figura 9) opción que lo convierte en una herramienta muy valiosa para analizar rasgos de la superficie del terreno.

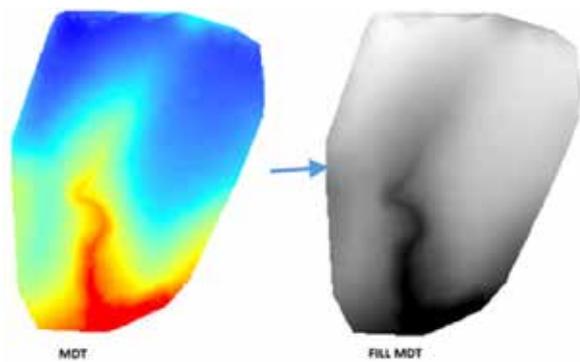


Figura 8. Presentación del modelo digital de elevaciones.

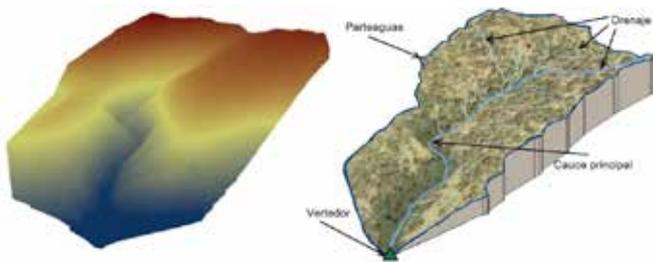


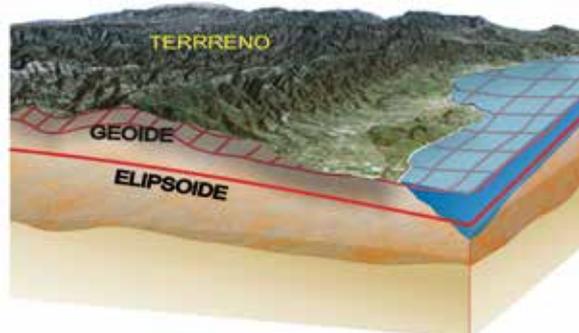
Figura 9. Vista 3D MDT y vista con imagen de Google Earth superpuesta.

## CONCLUSIONES

El modelo de alta resolución (1.0 m x 1.0 m) elaborado con el procedimiento descrito, representa la topografía del terreno con una precisión aceptable para realizar estudios de hidrología en la microcuenca Torre Rayón, Sonora.

Con el procedimiento propuesto, se pueden elaborar este tipo de modelos en sitios donde no haya una gran densidad de vegetación, o bien, donde exista vegetación caducifolia que permita que en las temporadas secas se puedan hacer los levantamientos topográficos. La altura de la base del GPS y la del dispositivo móvil, son dos factores importantes para la buena calidad del levantamiento topográfico.

La metodología propuesta podrá ser aplicada en otras zonas del noroeste de México, incluso del país y puede constituir un valioso elemento de soporte para ampliar el conocimiento de los elementos del Ciclo Hidrológico en zonas áridas.



## REFERENCIAS

- [1] Diario Oficial de la Federación. (2014). Norma Técnica para la generación de Información Geográfica en Modelos Digitales de Elevación que se incorpore al Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5373796&fecha=02/12/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5373796&fecha=02/12/2014)
- [2] U.S. Geological Survey (1993). Data Users Guide 5 Digital Elevation Models. United States Department of the Interior.
- [3] Jenson, S. K. (1991). Applications of hydrologic information automatically extracted from digital elevation models. *Hydrological Processes*, Vol. 5, 31-44.
- [4] Schmidt, F. (2003). Agricultural applications of laserscanner DEMs. Quality Requirements and analysis methods. BEAK Consultants GmbH. ISPRS/EuroSDR Workshop on: 3D reconstruction from airborne laser scanner and InSAR data, Dresden, 8-10 October. [http://www.beak.de/beak/en/publications\\_staff?page=2](http://www.beak.de/beak/en/publications_staff?page=2) Consultado 13/10/2015
- [5] Grenzdörffer, G. and Donath, C. (2008). Generation and Analysis of Digital Terrain Models with Parallel Guidance Systems for Precision Agriculture. Proc. 1st International Conference on Machine Control & Guidance. Zurich, Germany. Pp. 141-150.
- [6] Mei, C. and Durrieu, S. (2004). Tree crown delineation from digital elevation models and high resolution imagery. *Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment*. SPRS Archives – Volume XXXVI-8/W2 WG VIII/2. Eds: M. Thies, B. Koch, H. Spiecker, H. Weinacker. 03-06 October. Freiburg, Germany.
- [7] Aschoff, T. and Spiecker, H. (2004). Algorithms for the automatic detection of trees in laser scanner data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVI -8/W2. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/8-W2/ASCHOFF.pdf>
- [8] Zhang, J.X, Chang, K.T. & Wu, J.Q. (2008). Effects of DEM resolution and source on soil erosion modelling: a case study using the WEPP model. *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 22, Issue 8.
- [9] Abd Aziz, B. L. Steward, A. Kaleita, M. Karkee. (2012). Assessing the effects of DEM uncertainty on erosion rate estimation in an agricultural field. *Transactions of the ASABE* Vol. 55(3): 785-798 © 2012 American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [10] Li, Z. (2014). Watershed modeling using arc hydro based on DEMs: a case study in Jackpine watershed. *Environmental Systems Research*. <https://environmentalsystemsresearch.springeropen.com/articles/10.1186/2193-2697-3-11> Consultado: 13/07/2015
- [11] Vivoni, E.R., Ivanov, V.Y., Bras, R.L. and Entekhabi, D. (2002). *tRIBS User Manual*. Department of Civil and Environmental Engineering. Massachusetts Institute of Technology. <http://vivoni.asu.edu/tribs/userManual.html> Consultado: 15/07/2015
- [12] Pryde, J.K., Osorio, J., Wolfe, M.L., Heatwole, C., Benham, B. and Cardenas, A. (2007). Comparison of watershed boundaries derived from SRTM and ASTER digital elevation datasets and from a digitized topographic map. Written for presentation at the 2007 ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE Minneapolis Convention Center Minneapolis, Minnesota 17 - 20 June. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [13] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (sf). Modelos digitales de elevación MDE –Descripción ¿Qué es un modelo digital de elevación? <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx> Consultado: 7/07/2015
- [14] Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara. (2008). Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90 m Database (<http://srtm.csi.cgiar.org>). Consultado: 21/08/2015
- [15] Tachikawa, T., Kaku, M., Iwasaki, A., Gesch, D., Oimoen, M., Zhang, Z., Danielson, J., Krieger, T., Curtis, B., Haase, J., Abrams, M., Crippen, R. and Carabajal, C. (2011). ASTER Global Digital Elevation Model Version 2 – Summary of Validation Results. Compiled by Dave Meyer4 on behalf of the NASA Land Processes Distributed Active Archive Center and the Joint Japan-US ASTER Science Team.
- [16] Gillin, C.P., Bailey, S.W., McGuire, K.J. and Prisley, S.P. (2015). Evaluation of Lidar-derived DEMs through Terrain Analysis and Field Comparison. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 81, No. 5, pp. 387–396.
- [17] Nico, G., Rutigliano, P., Benedetto, C. and Vespe, F. Terrain modelling by kinematical GPS survey. (2005). *Natural Hazards and Earth System Sciences. European Geosciences Union*. Vol. 5, pp. 293–299.



# EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE APLICACIÓN Y RESISTENCIA DEL CONCRETO LANZADO EN MINAS MEDIANTE LA METODOLOGÍA EFNARC

*Shotcrete assesment in mines based on concrete strength and aplication technique using EFNARC methodology*

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

ISSN: 2007-4530 (impresa)

Dr. Sergio Alán Moreno Zazueta<sup>1</sup>

Dr. Juan Manuel Rodríguez Zavala<sup>2</sup>

Recibido: 14 de septiembre de 2016,

Aceptado: 21 de junio de 2017

Autor de Correspondencia:

Dr. Juan Manuel Rodríguez Zavala

Correo: [juan.rodriguez@unison.mx](mailto:juan.rodriguez@unison.mx)

## Resumen

El concreto lanzado es una mezcla de cemento, agregados y agua proyectado neumáticamente; es utilizado como medio de soporte en las obras mineras y la adición de fibras a la mezcla puede cambiar las propiedades de resistencia a la compresión del concreto. El objetivo es determinar valores de la resistencia a la compresión de las mezclas de cemento, agregados, agua y fibras plásticas y de acero mediante la metodología EFNARC y con ello determinar la pertinencia del uso de fibras además de evaluar las técnicas de lanzado in-situ del concreto. Los resultados indican que no existe variación significativa en la resistencia del concreto lanzado al utilizar fibras de acero o fibras plásticas. Modificaciones en la técnica de lanzado fueron sugeridas. Se determinó necesario continuar con pruebas que validen la calidad de los materiales utilizados en la fabricación del concreto lanzado.

**Palabras clave:** concreto lanzado, EFNARC, fibras

## Abstract

*Shotcrete is a cement, sand, gravel and water mixture pneumatically projected; it is used as a rock support in the mining tunneling and fiber addition can change the compression strength properties. Testing objective is to determine the compressive strength of the concrete mixtures with plastic and iron fibers using the EFNARC methodology in order to determine the relevance of the use of fibers. Furthermore, the review of shotcrete technique used in-situ. Results show no substantial variation in in the shotcrete strength when using plastic and iron fibers. Suggestions in the shotcrete application were make. More studies are required to verify the concrete and mixture quality for the shotcrete.*

**Keywords:** shotcrete, EFNARC, fibers

## INTRODUCCIÓN

El concreto lanzado es una mezcla de cemento, agregados y agua proyectado neumáticamente; es utilizado como medio de soporte en las obras mineras y la adición de fibras a la mezcla puede cambiar las propiedades de resistencia a la compresión del concreto [1].

La metodología EFNARC proporciona resistencias mínimas que el concreto debe de cumplir así como el procedimiento para el lanzado del concreto, el seguimiento de estos pasos deberá ser preciso para la buena práctica asegurando el mejor resultado [3].

El concreto lanzado puede ser aplicado tanto en húmedo como en seco. En la aplicación húmeda los elementos que la componen son alimentados ya como una mezcla mientras que la aplicación en seco el agua es aplicada en la boquilla de salida antes de ser proyectada a la zona de aplicación. Las mezclas húmedas y secas pueden tener adición de fibras siendo el rebote de material (mezcla que no se adhiere) de 10 y 25% respectivamente [2].

El concreto lanzado se usa para mejorar y/o mantener la calidad de la roca en los túneles mineros, una mala aplicación o baja calidad del concreto lanzado puede originar caídos de roca ocasionando desde pérdidas económicas mínimas hasta la muerte del personal; de aquí que una buena aplicación y calidad del mismo sean tan importantes. El objetivo del presente estudio técnico es aportar información referente a los valores de la resistencia a la compresión de las mezclas de cemento, agregados, agua, fibras plásticas y de acero aplicadas mediante la técnica de concreto lanzado por vía seca así como aportar mejoras en las técnicas de lanzado usadas in-situ mediante su análisis y evaluación. Aun cuando existen varias metodologías como las descritas por Zhang [4] se seleccionó para este estudio la metodología EFNARC (European Federation for Specialist Construction Chemical and Concrete System) por apegarse más a las condiciones del área de trabajo de una mina subterránea.

## DESARROLLO

La metodología EFNARC (European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems) se ha usado para evaluar la calidad de los materiales y la secuencia operativa debiéndose aplicar de la siguiente forma:

**Materiales:** El cemento y agregado debe de cumplir con las normas nacionales válidas en el sitio que se aplica o la norma europea EN197 así como el agua de mezclado debe de estar dentro de la norma EN1008, para el refuerzo de acero la norma EN10080 y EN10138 fueron consultadas y para las fibras ASTM A 820 (norma estadounidense).

**Ejecución del lanzado:** Trabajos de preparación: La roca intemperizada y suelta se retira, la roca es mapeada registrando todas las características geoestructurales para





trabajos futuros, las fugas de agua son drenadas ya sea por medio de drenes, canales o sellado por inyección de concreto.

**Lanzamiento de la mezcla:** El sitio de aplicación es humedecido previamente, los huecos en la roca que sean de gran dimensión se cubren con una capa superficial para su posterior cubierta total, el lanzado empieza en la parte baja y continua hacia arriba para evitar la aplicación de concreto sobre los rebotes, la dirección de la boquilla mantiene 90 grados con respecto a la superficie de aplicación, la velocidad y distancia de lanzamiento se ha regula para evitar el exceso de rebote [5].

**Muestreo:** El método de muestreo de acuerdo a la normativa EN7034 se realiza con la elaboración de paneles de madera para el muestreo de 600x600x100mm. El molde debe de estar en posición vertical y ser llenado con la misma técnica y equipo en el sitio de colocación del concreto lanzado. Los moldes podrán ser removidos del sitio después de 12 horas de la aplicación del concreto lanzado. El curado deberá de ser de al menos 7 días. Los núcleos son extraídos del centro del panel sin incluir áreas cercanas a las orillas (125mm), ver figura 1.



**Figura 1. Obtención de la muestra cilíndrica del panel de concreto lanzado.**

**Compresión uniaxial:** Las pruebas de esfuerzo compresivo uniaxial se realizan de acuerdo a la norma EN4012 en los núcleos obtenidos de los paneles. El diámetro mínimo será de 50mm y la relación de esbeltez de 1 a 2.

## RESULTADOS Y COMPARATIVOS

De acuerdo a la norma EN206 el esfuerzo compresivo del concreto lanzado deber cumplir con lo especificado en la tabla 1. Los resultados de la resistencia compresiva uniaxial se detallan en las tablas 2 a la 5 donde se puede ver de forma individual las resistencias arrojadas.



Tabla 1. Esfuerzo compresivo uniaxial mínimo requerido por la norma EN206.

Tipo de muestra	C24/30	C28/35	C32/40	C36/45	C40/50	C44/55	C48/60
Cilindro	245	286	326	367	408	449	490
Cubo	306	357	408	459	510	561	612
Núcleo	209	245	275	311	347	382	418

Tabla 2. Núcleos sometidos a carga uniaxial con fibras plásticas (14 días).

Muestra	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Esbeltez	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
M1	11.19	5.58	2	24.47	2672	109.19
M2	11.12	5.56	2	24.28	2560	105.44

Tabla 3. Núcleos sometidos a carga uniaxial con fibras de acero (14 días).

Muestra	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Esbeltez	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
M1	11.13	5.57	2	24.38	2300	94.32
M2	11.12	5.56	2	24.35	2744	102.69

Tabla 4. Núcleos sometidos a carga uniaxial con fibras plásticas (21 días).

Muestra	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Esbeltez	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
M1	11.15	5.57	2	24.38	3752	153.89
M2	11.12	5.56	2	24.30	2676	110.11
M3	11.12	5.56	2	24.30	2432	100.07
M4	11.15	5.57	2	24.41	2864	117.34
M5	11.09	5.54	2	24.17	2556	105.75





**Tabla 5. Núcleos sometidos a carga uniaxial con fibras de acero (21 días).**

Muestra	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Esbeltez	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
M1	11.15	5.57	2	24.41	2304	94.40
M2	11.10	5.55	2	24.18	3292	136.15
M3	11.13	5.56	2	24.33	2588	106.38
M4	11.16	5.58	2	24.45	3092	126.46
M5	11.16	5.58	2	24.45	2740	112.06

Aunque la variabilidad de muestra a muestra puede en algunos casos verse como una diferencia significativa esto no es real ya que los resultados medio de las pruebas arrojan una diferencia no significativa como se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6. Resistencia compresiva uniaxial media de las muestras por tipo de fibra.**

Fibra	Fraguado (días)	Resistencia media (kg/cm <sup>2</sup> )
Acero	14	94.51
	21	115.51
Plástico	24	107.31
	21	117.43

Los resultados indican que no existe variación significativa en la resistencia del concreto lanzado al utilizar fibras de acero o fibras plásticas además, los métodos utilizados pueden ser mejorados con las sugerencias aportadas y apegándose de manera estricta a la metodología EFNARC.

Con referencia a las técnicas de lanzado del concreto se detectaron inconsistencias las cuales se detallan en la tabla 7.

**Tabla 7. Observaciones que no cumplen con las directrices de la metodología EFNARC.**

Recomendación EFNARC	Observación In-Situ
Equipo en buen estado	Se denotó falta de aditamentos como válvulas sensibles a los flujos de agua que pudieran ser reguladas contantemente
Visibilidad	La falta de regulación del abasto de agua produce una nube de polvos que dificulta la visibilidad y la buena aplicación
Adición de fibras	No existe una flujo constante de fibras que asegure su homogeneidad
Limpieza de las áreas	La eliminación de la roca suelta es un factor que aunque se lleva a cabo no se hace de forma adecuada
Humedecido de áreas de aplicación	El humedecido de las paredes y techo no se lleva a cabo dificultando la adherencia del concreto lanzado en la roca
Agua	La cantidad de agua agregada a la mezcla es variable lo que produce concreto muy aguado o concreto muy seco
Iluminación	No se cuenta con iluminación extra requerida para verificar que el concreto lanzado se coloque adecuadamente
Drenes	No se ve que se instalen ningún tipo de dren para evitar la presión hidrostática
Espesor	No se cumple con lo especificado en la metodología EFNARC

## RECOMENDACIONES

La metodología EFNARC es muy clara en la los procesos de aplicación y evaluación de las características del concreto lanzado siendo varios los puntos en que se observaron deficiencias:

**Espesor mínimo:** el espesor mínimo del concreto lanzado deberá de ser de 2 pulgadas por lo que ciertas zonas no cumplían con este requisito como se muestra en la figura 2.



**Figura 2. Espesor del concreto lanzado.**





**Proceso de lanzado del concreto:** Durante el proceso de obtención de los paneles de concreto se observan ciertas irregularidades como pueden ser la reducción de la visibilidad, la aplicación vía seca del concreto lanzado minimiza la visibilidad por lo que no es posible la buena práctica recomendando la aplicación vía húmeda debido a las fallas en la regulación del agua. La supervisión de la aplicación de la capa de concreto lanzado es crucial ya que al disminuir la visibilidad es difícil seguir con la secuencia estipulada por EFNARC. La iluminación de los equipos in-situ no es la adecuada requiriendo de soporte en este rubro. El equipo no cuenta con dosificadores de fibras produciendo un concreto no homogéneo.

**Resistencia del concreto:** De acuerdo a los resultados de compresión uniaxial de las muestras obtenidas a partir de los paneles, estas están por debajo de las recomendaciones EFNARC debido a posibles factores como al uso de concreto de baja resistencia, irregularidades de la secuencia de aplicación, errores en la proporción de fibras y mezcla. Para descartar algunos factores se recomienda realizar pruebas al concreto suministrado para las labores de zarpeo, llevar un control estricto de las proporciones de mezclado y aplicar el concreto o zarpeo vía húmeda.

**Otros:** Es necesario realizar pruebas de paneles sin fibras y así tener una referencia de la resistencia del concreto. Para evitar la presión hidrostática habrá que instalar drenes o sellar las filtraciones. El uso de componentes metálicos de refuerzo (malla, falsos marcos) no tiene ninguna ventaja si la aplicación del cemento lanzado no tiene el espesor recomendado evitando en la medida el efecto sombra o espacios vacíos entre el cuerpo de la estructura de acero y la roca. La limpieza del área debe ser a conciencia para evitar los espacios vacíos de roca suelta además de un buen humedecido para incentivar la adherencia concreto-roca

## CONCLUSIONES

A partir del desarrollo, de las observaciones de campo y de los lineamientos EFNARC se desprenden las siguientes conclusiones:

- a) La adición de fibras plásticas o de acero no proporciona un incremento significativo en la resistencia a la compresión del concreto lanzado,
- b) Al no realizarse pruebas en el concreto lanzado sin fibras no es posible hacer un comparativo
- c) Es recomendable el cambio de concreto lanzado de seco a húmedo
- d) Es necesario realizar pruebas al cemento utilizado para asegurar la calidad del mismo.
- e) Es indispensable que se lleve a cabo limpieza de las áreas así como el humedecido
- f) Se requieren drenes en zonas con agua y apegarse al espesor mínimo recomendado de concreto lanzado

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Roman Jorge López. "Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: influencia del tipo y consumo de fibra adicionada". Tesis de maestría, Instituto de Ingeniería. UNAM, 2015.
- [2] D.R. Morgan. "Advances in shotcrete technology for support of underground openings in Canada". In Shotcrete for underground support V, proc. Engineering foundation conference, Uppsala. Eds. J.C. Sharp and T. Franzen, New York. pp. 358-382. 1993.
- [3] EFNARC. European Specifications for sprayed concrete, Guidelines for specifiers and contractors, EFNARC, ISBN 0-9522483-6-0 © 1999.
- [4] Lihe Zhang. "Variability of compressive strength of shotcrete in a tunnel-lining". Shotcrete magazine Fall 2014, Vol. 16, No. 4, pp. 22-27, 2014
- [5] ESSC, "Execution of spraying", European specifications for sprayed concrete, ISBN 0-9522483-7-9 ©, 1999.

# CAMBIO HIDRODINÁMICO Y EVOLUCIÓN DE FONDO EN RÍOS DE PLANICIE POR ESPIGONES

*Hydridynamic change and bed evolution in lowland  
rivers due to the presence of groynes*

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

ISSN: 2007-4530 (impresa)

M.I.H. Enrique León Jiménez<sup>1</sup>  
Dr. Liliana Lizárraga Mendiola<sup>2</sup>  
Dr. Fabián Rivera Trejo<sup>3</sup>  
M.C. Antonio Nungaray Núñez<sup>4</sup>  
Ing. Jhon Díaz Arcos<sup>5</sup>

Recibido: 16 de agosto de 2016,

Aceptado: 29 de junio de 2017

Autor de Correspondencia:  
M.I.H. Jesús Enrique León Jiménez  
Correo: napaleon01@hotmail.com

## Resumen

Existe un gran interés en la optimización de la forma, espaciado y orientación de los espigones como medidas de recuperación y protección en ríos de planicie. El objetivo principal de este estudio fue implementar una metodología numérica bidimensional, comparadas contra métodos tradicionales, que evaluaran en tres zonas la variación hidrodinámica del campo de velocidades y evolución del fondo de ríos de planicie. Con la finalidad de estimar sobre las zonas evaluadas un cambio geomorfológico. Todo esto usando un equipo Doppler ADCP y Estación total, que mediante secciones transversales estimo las geometrías complejas de las zonas evaluadas. Que al ser correlacionadas con la información granulométrica característica, evaluación numérica y métodos tradicionales. Reflejaran que actualmente en las zonas implementadas con espigones, el régimen de velocidades establecidas no supero el de velocidades permisibles, para la evolución del fondo en los ríos de planicie evaluados. No así en zonas aledañas.

**Palabras clave:** Espigones, Hidrodinámica, ADCP, evaluación numérica.

## Abstract

*There is great interest in finding the optimal shape, spacing and orientation of groynes for the purpose of recovering and protecting lowland rivers. The main objective of this study was to implement a two-dimensional numerical model for evaluating changes in the flow velocity field and river bed evolution due to the presence of groynes in lowland rivers. This methodology was compared to traditional methods by means of the estimation of geomorphological change in three different zones. The complex geometries of the study zone were estimated from cross sections obtained using ADCP equipment and a total station. These geometries were correlated with the characteristic granulometry, the numerical evaluation and the traditional methods, showing that in sites where groynes were placed, flow velocities did not surpass permissible levels, but they did in surrounding areas.*

**Keywords:** Groyes, hydrodynamics, ADCP, numerical evaluation.

1 División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, México / napaleon01@hotmail.com

2 Universidad Autónoma de Hidalgo, México / lililga.lm@gmail.com

3 División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, México / jgfabianrivera@gmail.com

4 Consultor especializado en obras hidráulicas, Querétaro, México / jose.nungaray@icopingeneria.com.mx

5 Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Tabasco, México / diaz.arcos.02@hotmail.com



## INTRODUCCIÓN

Los espigones son obras utilizadas mundialmente para la restauración de márgenes y zonas costeras. La optimización de la forma, espaciado y orientación de los espigones, ha generado numerosos estudios. Estas investigaciones se han enfocado al efecto hidrodinámico (campo de velocidades) que provocan estas estructuras antes de operar y después de su construcción [1,2].

La finalidad de algunos estudios es aumentar la eficiencia de operación y conocer el efecto geomorfológico negativo, causados en los ríos [3]. Ya que durante la operación de los primeros años, estas estructuras cumplen el objetivo de protección. No así durante el proceso de operación y abandono [4].

Se han realizado reproducciones de los efectos de la hidrodinámica en modelos físicos, al requerir el uso de espigones en protección de márgenes ante el efecto abrasivo de la erosión, presentado en curvas de cauces [5].

La desventaja de modelos físicos es la escasa representación por la escala. En algunos casos los aparatos de medición empleados para corroborar el efecto de la hidrodinámica del campo de velocidades se ven afectados por el propio equipo [6]. Surge interés de emigrar a nuevas técnicas de recolección de información in situ, sobre obras existentes, mediante mediciones en campo por el factor de escala, ya que éste se pierde en los modelos físicos realizados en laboratorio.

La medición en campo requiere de equipos más sofisticados para determinar el campo de velocidades en tres

dimensiones; por ello, es necesaria la implementación de modelos numéricos [7]. La principal herramienta debida al desfase de la medición, en escala temporal, han sido los modelos numéricos 2D y 3D, conocidos como modelos híbridos. Ya que el proceso de calibración requiere de mediciones en campo [8].

Los modelos numéricos bidimensionales proveen de una buena representación del efecto que producen los espigones al campo de velocidades en 2D. Se ha optado por seleccionar este tipo de modelos, esencialmente por el menor tiempo de cómputo simulado en su ejecución [9].

De acuerdo con las características usadas para generar modelos físicos en los laboratorios, debe controlarse la mayor cantidad de variables independientes posibles; una de ellas es el gasto líquido. Un caso propicio de estudio son los Ríos de la Sierra y el Tintillo, donde uno de los afluentes de interacción con ellos, mantiene controlada la variable de gasto líquido. Localizados en Villahermosa, Tabasco, México [10].

## OBJETIVO

Implementar una metodología numérica bidimensional, comparados contra métodos tradicionales, que evalúen la variación hidrodinámica del campo de velocidades y evolución del fondo en ríos de planicie. Con la finalidad de estimar sobre las zonas evaluadas un cambio geomorfológico.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente no existe una comprensión clara del efec-





to, que causan los espigones a la hidrodinámica del campo de velocidades en cauces naturales, ya que son complejos y no tienen variables controladas. Por tal motivo, se han hecho esfuerzos por reproducir estos fenómenos en laboratorio mediante modelos físicos, concluyendo que es necesaria la medición en campo y la utilización de modelos numéricos en 2D. Generando modelos híbridos; Para reproducir situaciones reales de operación de gastos en las zonas, modelando las variables del campo de velocidad y evolución de fondo.

La zona de estudio evaluada, comprendida entre los ríos de la Sierra y el Tintillo, guardan una relación directa con el río carrizal y éste a su vez mantiene el gasto líquido controlado en las inmediaciones de la ciudad de Villahermosa.

### DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

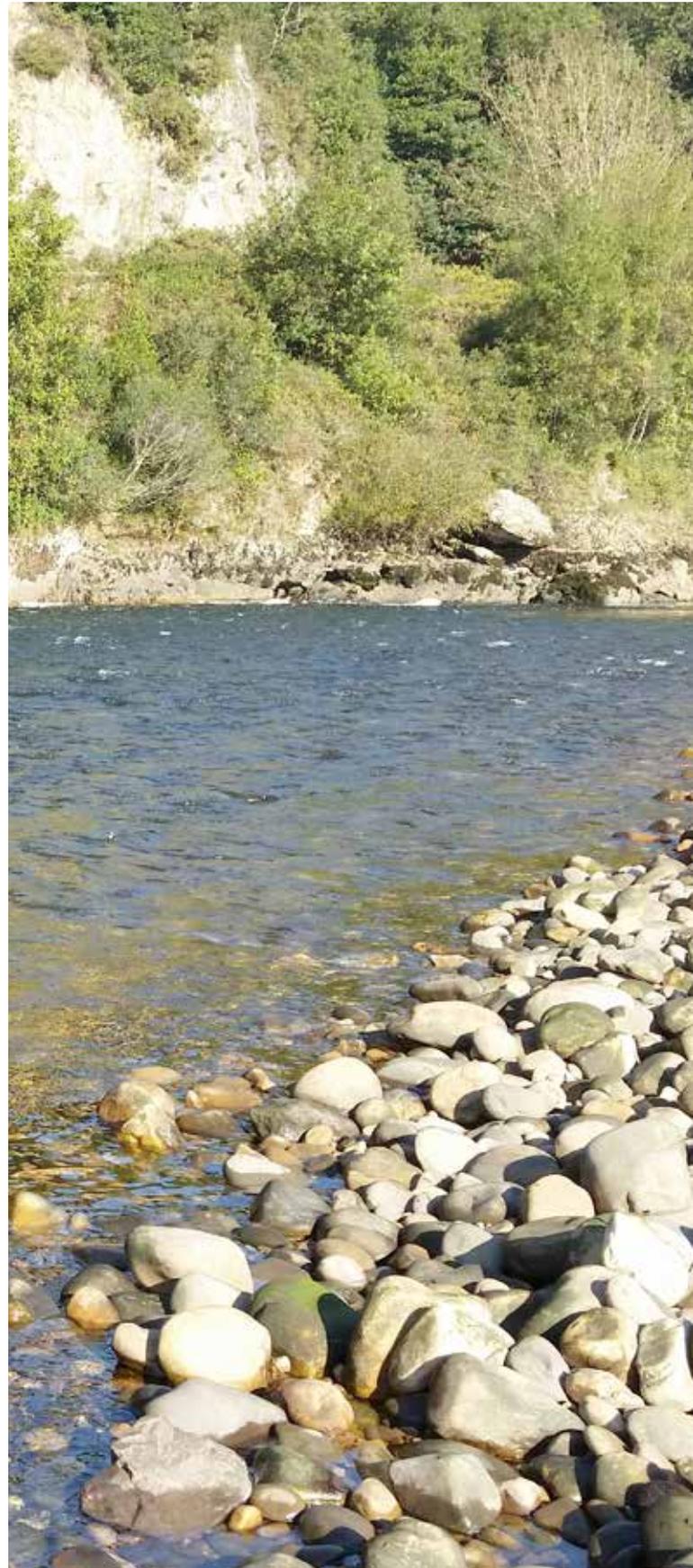
El río de la Sierra se localiza en las coordenadas  $17^{\circ}49'59.04''$  de latitud norte y  $92^{\circ}52'5.34''$  de longitud oeste, el río el Tintillo se localiza en las coordenadas  $18^{\circ}0'43.96''$  de latitud norte y  $92^{\circ}50'49.38''$  de longitud oeste [2]. (Figura 1).



Figura 1. Localización y Ubicación de las zonas de estudio Río tintillo y la Sierra.

### MEDICIONES DE CAMPO (ADCP Y ESTACIÓN TOTAL)

Para determinar la configuración del fondo del cauce se empleó un equipo medidor acústico de efecto Doppler





(ADCP, por sus siglas en inglés) de la marca Sontek con una frecuencia de trabajo de 1500 KHz. Puesto que la obtención de la información está limitada sobre la lámina de agua, las márgenes se configuraron con estación total empleando un equipo Leica Ts06plus con una precisión de 2 mm. La metodología empleada fue mediante seccionamiento transversal del cauce del río (Figura 2).



Figura 2. Levantamiento de geometrías complejas, con equipo estación total (Leica Ts06 Plus) y ADCP (Riverray).

## METODOS TRADICIONALES

### Predicción y mitigación con espigones

El propósito de los espigones es evitar el contacto directo entre las líneas de corriente del flujo y el material que forma la orilla evitando la erosión, y guiar el flujo en una dirección deseada y conveniente.

La determinación del valor de la socavación general se calcula al aplicar el método empírico propuesto por Lischtvan y Lebdiev al determinar las profundidades de erosión general y establece que el mecanismo de erosión se detiene cuando la velocidad media de la corriente ( $U_r$ ) se iguale con la velocidad media del flujo necesaria para erosionar el material que forma el cauce ( $U_e$ ) [11] (Ecuación 1):

$$U_r = U_e \quad (1)$$

La velocidad media de la corriente ( $U_r$ ) está en función de la profundidad. Cada punto de la sección se considera por esta teoría a partir de la ecuación de Manning (Ecuación 2):

$$U_r = \alpha * [(d_0^{5/3})/d_s], \quad \alpha = Q_d / (d_m^{5/3} * B_e * \mu) \quad (2)$$

En la estimación de la erosión del fondo adyacente al extremo de la obra de protección se aplica la ecuación obtenida por Maza con base en los datos y criterio inicial de Latuischenkov. Dicha relación establece (Ecuación 3):

$$d_e = 0.85d_0 \left[ 4.17 + \ln \frac{Q_1}{Q} \right] e^{(0.0028\alpha - 0.24\kappa)} \quad (3)$$

El sustento teórico de los espigones manejado en México está basado en modelos físicos realizados por Maza Alvares en laboratorios [8].

### Caracterización del sedimento y granulometría del río de la Sierra

Para conocer la descripción del suelo y parámetros de predicción (socavación general y local) fue necesario tener en cuenta la granulometría (Figura 3) del río de la Sierra.

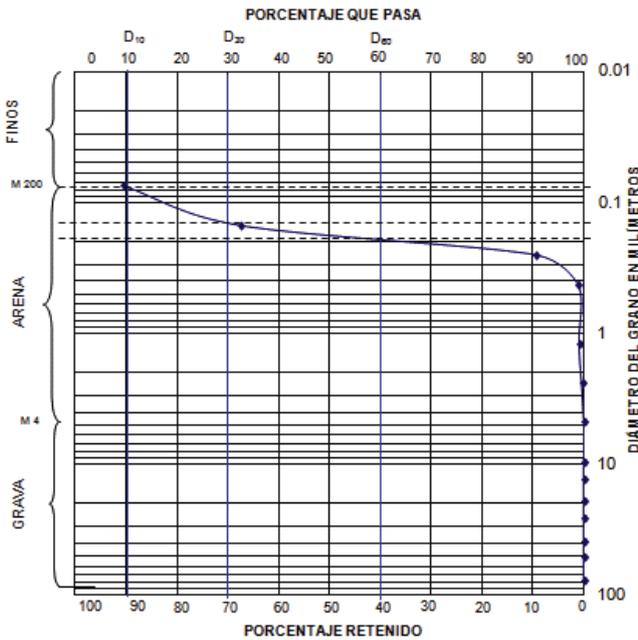


Figura 3. Análisis granulométrico del río de la Sierra.

### Caracterización granulométrica de la zona del río el Tintillo

La información de la zona es imperante en la realización del estudio de velocidades permisibles, al tomar los datos del sondeo mixto realizado, dando como resultados, el peso específico de 2700 kg/m<sup>3</sup>. Con un D84=0.0004 m (Figura 4).

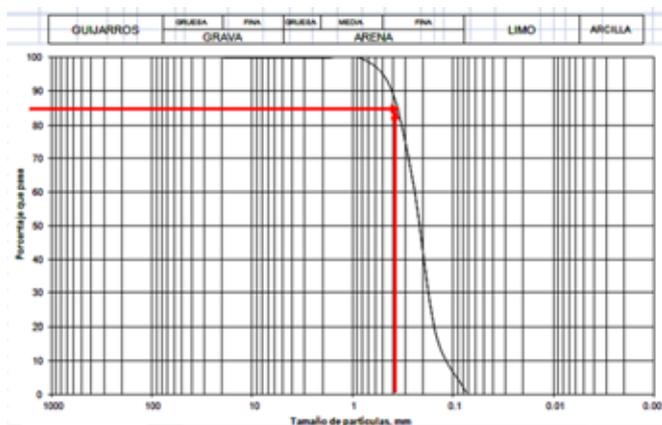


Figura 4. Análisis Granulométrico del río Tintillo.



### SIMULACIÓN NUMÉRICA

#### Estimación de hidrodinámica 2d en Iber 2.1.2

El modelo Iber 2.1.2, trabaja sobre un dominio bidimensional con 3 variables definidas en cada punto del dominio: el calado ( $h$ ) y las dos componentes de la velocidad horizontal ( $U_x$  y  $U_y$ ). Las ecuaciones que rigen la evolución de dichas variables se conocen como ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad o ecuaciones de St. Venant bidimensionales, y se expresa como (Ecuaciones 4, 5 y 6):

$$\frac{h}{t} + \frac{q_x}{x} + \frac{q_y}{y} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_x q_y}{h} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_t h \frac{\partial U_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_t h \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x q_y}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_y^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_t h \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_t h \frac{\partial U_y}{\partial y} \right) \quad (6)$$

La deducción matemática de las ecuaciones de aguas poco profundas 2D se realiza promediando en profundidad las ecuaciones de Reynolds tridimensionales [12]. Concretamente, se asume una escala espacial vertical (profundidad) mucho menor que la escala horizontal, lo cual permite asumir una distribución de presión hidrostática.

La resolución de las ecuaciones de aguas someras en 2D emplea métodos numéricos. Es decir, en la solución numérica de las ecuaciones de flujo es necesario discretizar la malla. Las mallas discretizan las ecuaciones y se clasifican en malla estructurada y malla no estructurada (Figura 5) [13,14].

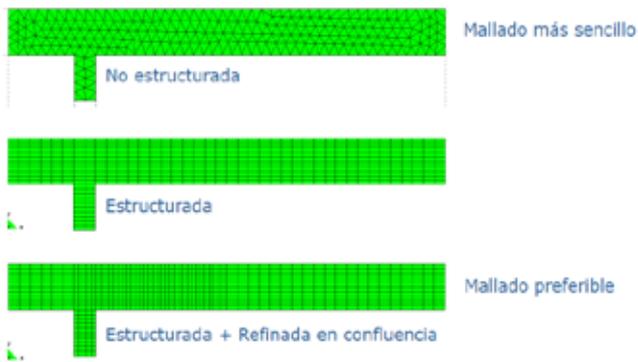


Figura 5. Estructuración del mallado en el módulo de Iber.

$$\frac{D\varepsilon}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( v + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + c_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2v_t S_{ij} S_{ij} + c_k \frac{u_f^3}{h^2} - c_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (10)$$

### Implementación de herramienta numérica Iber

Se generó la malla del terreno natural de curvas de nivel, generando triángulos regulares al usar la técnica de error cordal [2] (figura 6). Creando una superficie NURBS (Non Uniform Rational B-Splines). Sirviéndose de la calidad de malla se justifica que entre más próximo a la unidad se encuentre, más confiable es (Figura 7). Por lo tanto representará mejores resultados y el cómputo acelera la compilación del proceso.

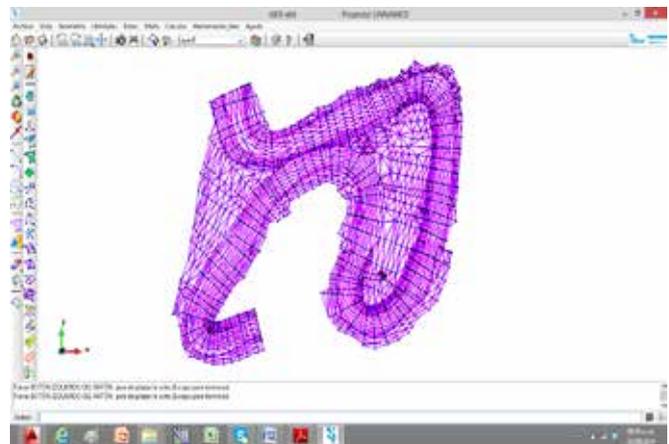


Figura 6. Superficie creada con técnica de error cordal.

### Implementación de fondo en la modelación 2d Iber 2.1.2.

Flujo turbulento (Ecuación 7 y 8)

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_x q_y}{h} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} - \frac{\partial}{\partial x} (hu'_x u'_x) - \frac{\partial}{\partial y} (hu'_x u'_y) \quad (7)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x q_y}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_y^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} - \frac{\partial}{\partial x} (hu'_x u'_y) - \frac{\partial}{\partial y} (hu'_y u'_y) \quad (8)$$

Modelo  $k - \varepsilon$  (Ecuación 9 y 10)

$$\frac{Dk}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + 2v_t S_{ij} S_{ij} + c_k \frac{u_f^3}{h} - \varepsilon \quad (9)$$



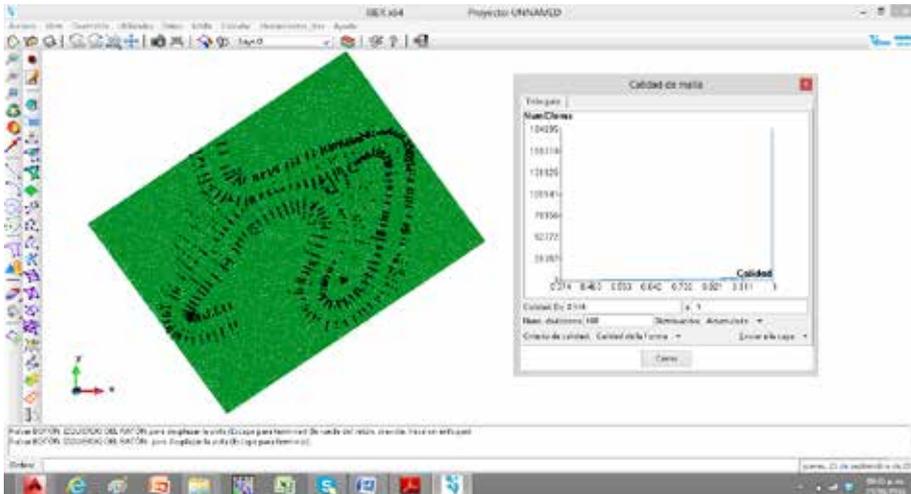


Figura 7. Mallado y calidad de la forma.

Se asignan las condiciones de contorno iniciales del modelo numérico y dentro de los parámetros asignados, se ingresa el valor del número de Manning (n), cota de agua y un gasto de entrada para un tiempo de simulación establecido y un intervalo de resultados discretizado (Figura 8).

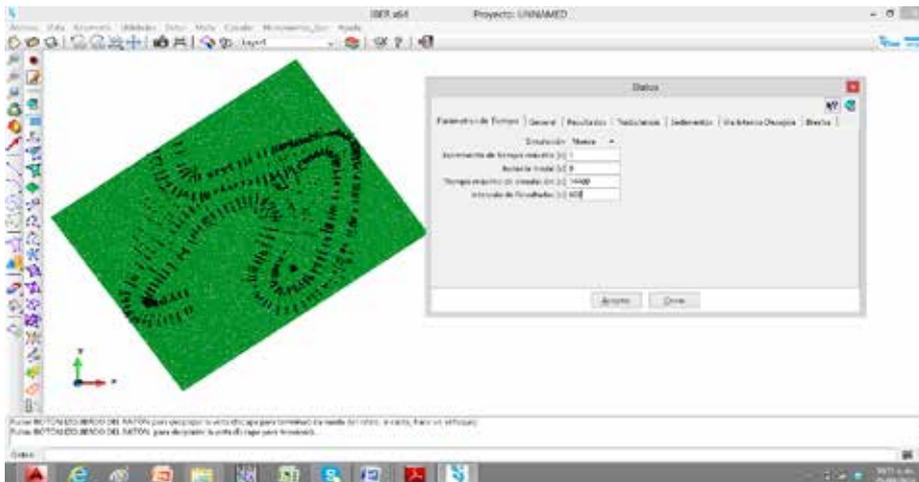


Figura 8. Asignación de valores de tiempo de simulación e intervalos de resultados.

### Condiciones de contorno e iniciales

El análisis hidráulico se realizó mediante flujo permanente; que consiste en las propiedades del flujo tal como velocidad, caudal y calado en cada punto del tiempo que es constante y régimen fluvial subcrítico, determinado por el número de Froude (Fr), al ser un número adimensional informa el estado del flujo y se define por la ecuación 11:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D_h}} = \frac{\text{Fuerzas inercia}}{\text{Fuerzas gravitatorias}} \quad (11)$$

Siendo la velocidad de la sección (m/s), g la aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ) y  $D_h$  la profundidad hidráulica (m). De acuerdo, a esto si el número de Froude es menor a la unidad, las fuerzas gravitatorias tienen mayor importancia que las de inercia [15].



Debido a que este tipo de protecciones debe ser diseñado con el gasto máximo que transita el cauce se usaron dos criterios, el primero fue el gasto formativo, el cual es el gasto máximo que conduce el río sin desbordar hacia sus márgenes. Del manual de Estabilización y Rectificación de Ríos [11]. Para zonas donde no existe información hidrométrica. Y el segundo criterio, el gasto formativo está asociado a un periodo de retorno de 1.4 años del Manual de Gaviones [16].

Para el caso del río de la Sierra, para determinar el gasto de diseño o gasto formativo del cauce se utilizó el primer criterio, proponiendo la distribución de gastos siguientes (Tabla 1):

**Tabla 1. Gatos de diseño o formativos evaluados en el río de la sierra.**

Corriente	PF1 (Q m3/s)	PF2 (Q m3/s)	PF3 (Q m3/s)
Río sierra	450	500	550

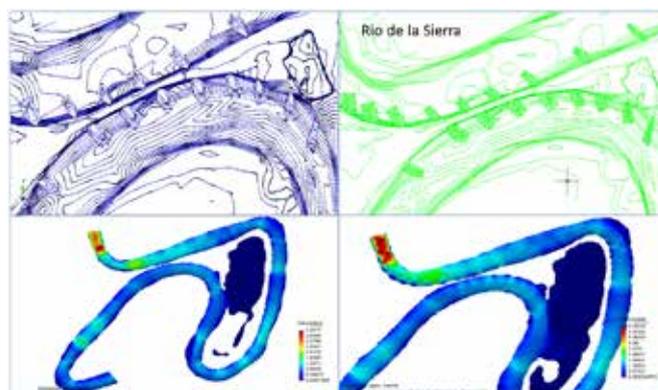
Para el caso del río tintillo, el modelo se alimentó con la curva gasto elevación de la sección de control aguas abajo de la escotadura Acachapan (Tabla 2), modelando todos los gastos y las elevaciones para determinar el gasto formativo, en régimen subcritico, tomando como base el segundo criterio.

**Tabla 2. Gasto-elevación evaluados en el río Tintillo.**

Gasto	Elevación
1467.01	2.5
1757.84	3.37
1806.03	3.52
1922.64	3.87
1965.88	4.00
2142.85	4.61
2257.15	4.93

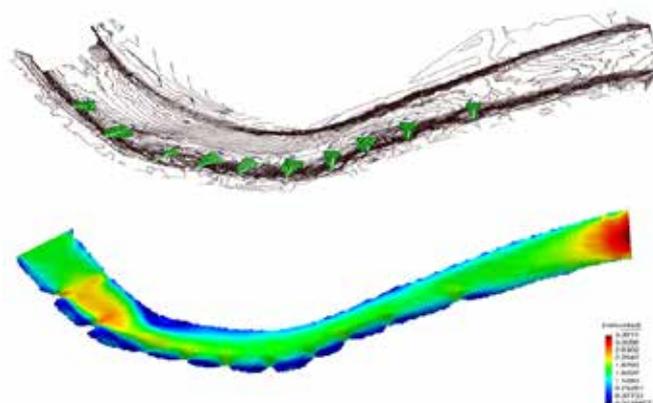
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de las modelaciones numéricas bidimensionales de las zonas estudiadas, que conforman los ríos de la Sierra, y el Tintillo, donde se localizan obras de protección marginal de recubrimiento a base de espigones se mencionan a continuación. Sobre la zona estudiada del río de la Sierra, antes de la existencia de los espigones existía un régimen establecido de velocidades que oscilaba entre 0.96 y 2.4 m/s y con espigones entre 1.23 y 3.07 m/s (Figura 9).



**Figura 9. Cambio de régimen por acción de 16 espigones, Río la sierra.**

Este cambio de régimen está generando una evolución del fondo y márgenes, ya que el régimen admisible estimado fue de 0.91m/s y es superado. Con lo que actualmente la predicción de migración del fondo máxima fue 2.22 m, erosionándose. Cuantitativamente mediante los procedimientos empíricos de laboratorio. Y una vez operando los espigones oscilaron entre 3.72 a 5.52 m, las erosiones. Demostrando que el régimen impuesto por mucho supera el admisible. Ahora bien en la zona estudiada del río el Tintillo, antes de la existencia de los espigones había un régimen establecido de velocidades que oscilaba entre 1.19 y 1.76 m/s y con los espigones oscilo entre 1.5 y 2.25 m/s, (figura 10).



**Figura 10. Cambio de régimen por acción de 10 espigones, Río Tintillo.**

Que comparado con el criterio de las ecuaciones de Shields que determina la relación de la tasa de transporte de sedimentos con la tensión de corte sobre el fondo [17], se determinó que el umbral de velocidades admisibles para suelos de arenas limo arcillosas era de 0.56 m/s, dando inicio al movimiento de las partículas cuando se presentaran velocidades superiores a esta. Estimando con ello que el promedio de socavaciones generales sobre la zona de estudio fue de 3.68 m, y operando los espigones de 2.1 a 4.47m.

Finalmente se observó que los espigones marcan una tendencia a la recuperación de márgenes, y en sitios donde existen un buen diseño y una perturbación inicial se aprecia un régimen más estable sobre el cauce y una recuperación acelerada de ella. Por esta razón, mantener un régimen estable de velocidades, hacen que el gradiente de variación de la cota de fondo respecto a su longitud sea invariante y se establezca una recuperación acelerada en ambos cauces.

## CONCLUSIÓN

### Río de la Sierra

En la zona de estudio del río de la Sierra, se obtuvieron velocidades que oscilaron entre 0.96 y 2.4 m/s. Ya operando los espigones de 1.23 a 3.07 m/s. Obteniendo con ellos socavaciones generales promedios de 2.22 m, Y con espigones de 3.72 a 5.52 m, en el cauce. Por lo que el régimen tanto de velocidades y de evolución de fondo se vio alterado al momento de la operación de los espigones. Cabe destacar que dicha evolución de forma natural seguiría presentándose ya que el régimen admisible estimado fue de 0.91m/s, para el tipo de fondo de la zona de estudio, Impuesto y modelado por el régimen de gasto formativo.

### Río el Tintillo

En la zona de estudio del río Tintillo, se obtuvieron velocidades que oscilaron entre 1.19 y 1.76 m/s. Ya operando los espigones de 1.5 y 2.25 m/s. Obteniendo con ellos socavaciones generales promedios de 3.68 m. Y con espigones de 2.1 a 4.47 m, en el cauce. Por lo que de igual forma el régimen tanto de velocidades y de evolución de fondo se vio alterado al momento de la operación de los espigones. Para este caso la evolución del fondo, de forma natural, seguiría presentándose, ya que el régimen admisible estimado fue de 0.56 m/s, en la zona de estudio, Impuesto y modelado por el régimen hidrométrico evaluado.

Puesto que durante las evaluaciones realizadas, se demostró que los espigones generan una alteración sobre las zonas aledañas donde operan. Por lo tanto deberían considerarse otras soluciones, que garanticen un efecto positivo, no acrecentando la alteración del campo de velocidades y la evolución del fondo y márgenes en cauces de planicie.

Finalmente de acuerdo a los resultados de las evaluaciones generadas, se concluye que es necesario investigar más sitios, debido a que cada sitio guarda una relación directa con la forma geomorfológica, el tipo de estratigrafía y la hidrodinámica que permite la captación de escurrimientos. Otro factor importante son los procesos antropogénicos que han provocado el aceleramiento y cambio de regímenes, tanto en la evolución del campo de velocidades y el acelerado proceso de migración de meandros (Escotaduras, Estructuras de control, Puentes).

## AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) por la disponibilidad y el consentimiento del uso de la información utilizada para la elaboración de este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] M. McCoy, G. Constantinescu and L.J. Weber, "Numerical investigation of flow hydrodynamics in a channel with a series of groynes," *J. Hydraul. Eng.*, Vol. 134, pp.157–172, 2008.
- [2] Manual de Ingeniería de Ríos. Series del Instituto de Ingeniería de la UNAM, 2012.
- [3] M. Vaghefi, M. Ghodsian, and S. Neyshabouri, "Experimental study on scour around a T-shaped spur dike in a channel bend," *J. Hydraul. Eng.*, Vol. 138, pp. 471–474, 2012.
- [4] W.H. Gregory. "Indirect Environmental Effects Of Dikes On Estuarine Tidal Channels: Thinking Outside Of The Dike For Habitat Restoration And Monitoring," *J. Coast Estuaries*, Vol. 27, pp. 273–282, 2004.
- [5] A. Rashedipoor, A. Masjedi and R. Shojaenjad, "Investigation on scour hole around spur dike in a 180 degree flume bend," *World Appl. Sci. J.*, vol.19, pp. 924-928, 2012.
- [6] J.G. Rivera, M.E. López, F. Uh Y O. Guillen. "Análisis de información para la identificación e inventario de los ríos y cauces en el estado de Tabasco," Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Mexico, Reporte de actividades, 2006.
- [7] B. Ercan and B.A Younis, "Prediction of bank erosion in a reach of the Sacramento river and its mitigation with groynes," *Water Resour Manage.*, vol. 23, pp. 3121–3147, 2009.
- [8] J. Kang, H. Yeo and C. Kim, "An Experimental Study on a Characteristics of Flow around Groyne Area by Install Conditions," *J. Eng.*, Vol. 4, pp. 636-645, 2012.
- [9] S. Abbasi S, A. Kamanbedast and J. Ahadian, "Numerical Investigation Of Angle And Geometric Of L-Shape Groin On The Flow And Erosion Regime At River Bends," *World Appl. Sci. J.*, vol. 15, pp. 279-284, 2011.
- [10] A. N. Papanicolaou, M. Elhakeem and B. Wardman, "Calibration and verification of a 2d hydrodynamic model for simulating flow around emergent bend way weir structures," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 137, pp. 75–89, 2011.
- [11] Manual de Estabilización y Rectificación de Ríos. Series del Instituto de Ingeniería de la UNAM, 2012.
- [12] L. Cea, Puertas J. Agudo Y M.E. Vázquez, "Evaluación de corrientes litorales y frentes de marea mediante modelación bidimensional en ríos y desembocaduras de ríos," *Rev. Ing. Agua.*, vol.16, pag.13-26, 2009.
- [13] E. Bladé, L. Cea, G. Corestein, E. Escolano, J. Puertas, E. Vázquez-Cendón, J. Dolz y A. Coll, "Iber: Herramienta De Simulación Numérica Del Flujo En Ríos," *Rev. Int. Métodos Numér. Cálculo. Diseño Ing.* vol. 30, pag. 1–10, 2014.
- [14] Manual Iber, Herramienta de Simulación Numérica del Flujo en Ríos. Universidad politécnica de Cataluña. 2012.
- [15] Calzas Pérez Mario. (2013). Modelización del canal de la planta TEL en la U.P.T de As Pontes. Máster Tesis. Departamento de Ingeniería Matemática, Universidad Da Coruña, Coruña, España, 2013.
- [16] Manual de Gaviones. Series del Instituto de Ingeniería de la UNAM, 2001.
- [17] P. A. Basile, "Geomorfología e Hidráulica Fluvial Movimiento Incipiente de Sedimentos," 2003. Centro Universitario Rosario de Investigaciones HidroAmbientales. [Online]. Disponible en: [http://www.fceia.unr.edu.ar/curiham/Secciones/Publicaciones/Geomorfologia\\_Erosion\\_etc/GHF](http://www.fceia.unr.edu.ar/curiham/Secciones/Publicaciones/Geomorfologia_Erosion_etc/GHF).

# ARREGLO DE ESTELAS CALENDÁRICAS DE DZIBILCHALTÚN: CONOCIMIENTO GENOMÓNICO Y SU RELACIÓN CON EL PODER

*Setting calendar stelles of dzibilchaltún: gnomonic knowledge  
and its relationship with the power*

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

ISSN: 2007-4530 (impresa)

Dr. Raúl Pérez-Enríquez

Recibido: 16 de agosto de 2016,

Aceptado: 29 de junio de 2017

Autor de Correspondencia:

Dr. Raúl Pérez Enríquez

Correo: raul.perez@unison.mx

## Resumen

Un aspecto cultural que sugiere la existencia de un Poder, sea éste religioso o político, es la presencia de estructuras calendáricas. La obsesión por la medición del Tiempo y sus manifestaciones es una de las características de la Cultura Maya. Ejemplos como el Castillo en Chichen-Itzá y el Templo Redondo de Mayapán muestran el nivel de conocimiento del movimiento aparente del Sol alrededor de la Tierra que tenían los mayas. En este trabajo, se analiza desde el punto de vista gnomónico, el conjunto de Tres Estelas de Dzibilchaltún ubicadas al inicio del Sacbé 1. Su orientación, casi exacta Norte-Sur, refleja una intensión gnomónica (miran hacia el Sol del mediodía), y las alturas sugieren una intensión calendárica; esto es, debido a su ubicación (Latitud  $21.092^\circ$  y orientación  $187^\circ$  de azimut) la sombra de un gnomon en el Solsticio de Invierno es igual a su altura, mientras el 'factor gnomónico' correspondiente es igual a la unidad. El astrónomo-sacerdote conocía estas características y podía predecir las épocas del año.

**Palabras clave:** Tiempo, factor gnomónico, poder, rituales, solsticios.

## Abstract

*A cultural feature that suggests the existence of a power, whether religious or political, is the presence of calendrical structures. The obsession about measurement of Time and its manifestations is well known in the Maya culture. Examples like El Castillo in Chichenitza and the Templo Redondo of Mayapán show the kind of knowledge the Maya had about the apparent motion of the Sun around the Earth. In this work, the set of three steles of Dzibilchaltún, located at the beginning of the Sacbé 1, is analysed from the gnomonic point of view. Its orientation, almost exact North-South, projects a gnomonic purpose (they look towards the Sun of the midday), and the heights suggest a calendrical meaning; due to its location (latitude  $21.092^\circ$  and  $187^\circ$  azimuth) the shadow of a gnomon at Winter Solstice is equal to his height, while the corresponding 'gnomonic factor' is equal to the unit. The astronomer-priest knew these features and he was aware of seasons of the year.*

**Keywords:** Time, gnomonic factor, power, rituals, solstices.

## INTRODUCCIÓN

De igual manera a como sucedió en otras latitudes, en Mesoamérica, los conocimientos astronómicos estuvieron íntimamente ligados a los ritos y mitos religiosos de los pueblos. A pesar de las distancias espaciales y temporales en las que se desarrollaron las diversas culturas de la región mesoamericana, ellas compartieron una cosmovisión central en la que el Tiempo, su conocimiento y su medición, fue central. La observación del cielo y sus manifestaciones era una manera de comunicarse y establecer contacto directo con los dioses [1].

Los rituales formaban parte de la estructura de poder en la que los gobernantes y sacerdotes-astrónomos, a través de ellos, podían perpetuar su presencia generación tras generación. En consecuencia, los rituales no pueden ser vistos como elementos que preservan o encarnan un conjunto de creencias religiosas, más bien deben verse como constructores, creadores o modificadores de las creencias religiosas [2]. Recordamos estas ideas acerca de los ritos o rituales porque en las Estelas Mayas se recogen escenas de ceremonias o eventos ligados a danzas u otro tipo de actividad de la élite [3], estrechamente ligados a los fechas calendáricas.

Así, las Estelas que son una de las expresiones de la escultura monumental Maya mejor conocidas

y frecuentemente citadas, tuvieron su auge en el período Clásico (alrededor de 250 – 850 dC) [4]. Y existen vestigios y ejemplos de ellas en las más variadas formas y contenidos; sin embargo, se pueden también encontrar otras que no se encuentran talladas y grabadas. Estas estructuras, cuyo glifo 'Lakam-tun' fue descubierto desde el siglo pasado y que podría traducirse como "banner stone" o "Piedra Letrero", resultan por demás indicativas de actividades rituales. Su acepción como 'bandera' o 'letrero' es apropiada pues el glifo suele estar representado en esculturas como la Estela 11 de Yaxchilán [4].

Así, estelas y fechas calendáricas están estrechamente vinculadas a la estructura de poder. Sin embargo, solo la observación del cielo y el registro por décadas del paso de los días pudo permitir con la ayuda del sistema numérico vigesimal, la consolidación de un sistema calendárico. Para hacerlo, se requería no solo una organización social que permitiera la existencia de los sacerdotes-astrónomos quienes llevarían las cuentas y la celebración de los rituales sino, también, de una élite gobernante que fusionada con ellos ejerciera el poder. Mismo que permitiría la organización de la gente para la erección de los templos y edificios, de los monumentos y de las estelas, en fin, de la producción de todos los materiales en que esos conocimientos se plasmarían.

En efecto, entre los Mayas, el astrónomo-sacerdote jugaba un papel





relevante de la estructura social; él era el *ah miatz tu ximbal* (el “sabio en el camino de las estrellas”) [1], encargado de regular las actividades terrenas a partir de las acciones en el cielo. Entre dichos eventos que ocurren en el cielo, es imposible no considerar aquellos atribuidos al Sol, sean ellos durante sus ortos y ocasos, sean en los momentos de su culminación, al cruzar día con día la línea Meridiana.

Pero, como dice Renfrew, desafortunadamente, “El arqueólogo... no puede observar creencias: uno solo puede trabajar con vestigios, consecuencia de acciones. En los casos favorables... estos vestigios son el resultado de acciones cuya interpretación puede ser plausible como resultado ‘de’ una creencia religiosa” (citado por [2]). En otros casos, esto es imposible. Pero en general, se puede recurrir a instrumentos y simulaciones que puedan dar luz acerca de las acciones o motivos que le dieron origen.

El Calendario o, mejor aún, los Calendarios fueron unos de los productos mejor acabados de esa “relación del hombre con los dioses” a través del sacerdote-astrónomo. Los modelos elaborados para entender los ciclos existentes en la Naturaleza tuvieron, en Mesoamérica, una expresión superior en muchos aspectos a la de los conquistadores, al conjugar los ciclos meteorológicos y de los astros con otros creados matemáticamente. En la zona Maya, en particular, fue el tzolkin (ciclo de 260 días) y el haab (ciclo de 360 días y 5 días aciagos o “sin nombre”), amparados bajo la Cuenta Larga, lo que proporcionó uno de los sistemas Calendáricos más precisos de la antigüedad.

El Sistema Calendárico, los rituales ligados a él y la existencia de la élite gobernante son las expresiones más acabadas de la existencia de un Poder en la zona Maya de Mesoamérica. Es, a través del análisis de un vestigio concreto en Dzibilchaltún que ejemplificaremos esta relación: Las Tres Estelas alineadas S4, S5 y S6 ubicadas en las estructuras Str. 47, Str. 48 y Str. 49, respectivamente. En consecuencia, el objetivo del presente trabajo es el de proponer, a partir del análisis de algunas de las características de las Estelas S4, S5 y S6, ubicadas en sus plataformas, que estas estelas constituyeron un conjunto diseñado con objetivos gnomónicos en mente; en particular, el medir los solsticios y el paso zenital del Sol. Además, sugerir su uso como parte de un ritual en una fase de Dzibilchaltún en la que prácticamente no se construyeron nuevas edificaciones.

### DZIBILCHALTÚN, YUCATÁN

Localizado a medio camino entre Mérida y Progreso, Dzibilchaltún aparece en el mapa como una pequeña ciudad que se desarrolló a lo largo de varios siglos. Con un nombre cuyo significado podría traducirse como “Donde hay escritos sobre piedras planas” [5], esta ciudad maya realmente representó un magnífico asentamiento de varias decenas de kilómetros cuadrados. Nosotros podríamos decir: “Lugar donde hay mensajes en las piedras planas”; mensajes cifrados en las estelas del sitio.



A pesar de la cercanía de esta ciudad con la costa (realmente está a un tercio de la distancia entre Mérida y Progreso), el lugar recibe muy poca agua de la lluvia. Por ello, también, los días despejados son más numerosos que en Progreso pero menos que en Mérida. La zona central del Sitio de alrededor de 500 m<sup>2</sup>, fue habitada por una elite de personajes importantes; y hubo, además, un desarrollo de pequeñas concentraciones de población satélites alrededor que se extendían en un área de 4 a 6 Km<sup>2</sup> y más [6].

La población residente de Dzibilchaltún en el período Decadente estaba dispersa. La mayoría vivía en zonas alejadas del centro del sitio y, seguramente, en viviendas hechas de material perecedero. Una de las más claras evidencias de la escasa población la constituye la casi ausencia de entierros en ese período [7] y el hecho de que un pequeño porcentaje de los vestigios arqueológicos recuperados durante las excavaciones sean del período Floreciente Modificado o del Decadente propiamente dicho [6].

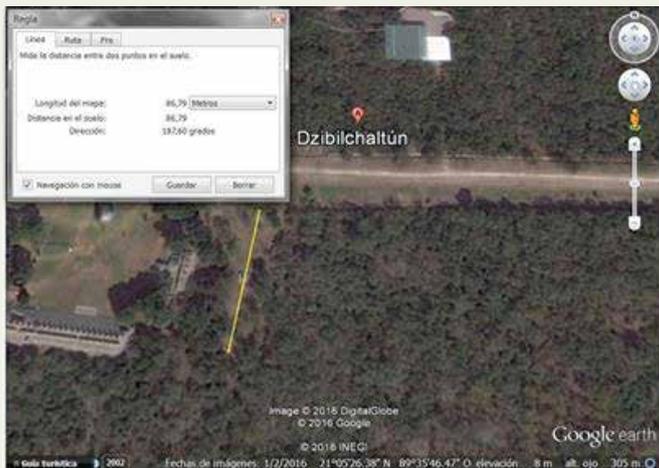
Las actividades rituales, principal orientación de la ciudad en este período, continuaron incluso una vez que la Conquista Española ya había llegado. Un testimonio de la vocación ritual del Dzibilchaltún lo puede constituir la Capilla abierta que levantaron los españoles con la finalidad, muy probablemente, de reorientar las actividades religiosas del sitio. Si bien, los desarrollos arquitectónicos del período Decadente que abarca de 1200 a 1540 dC, se orientaron a mejorar y remozar las estructuras que ya existían en los períodos anteriores, se pueden identificar estructuras específicas levantadas en ese período.

Muchas de ellas fueron parte de zonas habitacionales hechas de materiales perecederos; sin embargo, las Str. 47, Str. 48 y Str. 49, con sus estelas parecen haber sido

diseñadas con un objetivo ritual [8]. Algunas de las obras relacionadas con actividades rituales que destacan en este período son, por ejemplo, el tunelamiento de la Str. 1 por su lado oeste para llegar y abrir espacio hacia la fachada de la estructura Str. 1-sub, para permitir el acceso a la cámara central; y, la construcción del altar con su vista hacia la antigua entrada al recinto [7]. Así, en este período Decadente, en el cual se consolidaron cambios estructurales importantes, se puede identificar ese enfoque puramente ritual de Dzibilchaltún con las tres pequeñas plataformas con estelas (recién mencionadas, Str. 47, Str. 48, Str. 49) que se describen en detalle más abajo, mismas que parecen haber sido planeadas en el marco de un plan integral. La conformación de las estelas sugiere que fueron talladas hacia el Período Temprano II. Lo que distingue a estas estelas es el que se encuentran ubicadas en una plataforma específicamente diseñada para cada una de ellas.

En Mayapán, otro sitio del norte de la Península de Yucatán, existen numerosas estelas pero solo unas cuantas están colocadas en plataformas construidas exprofeso. No cabe duda de que en Mesoamérica, la región más prolifera en el levantamiento de estelas es la región Maya. Como afirma Susan T. Evans, gracias al desciframiento de la lengua, se puede constatar que los integrantes de esta cultura se referían a ellas como "grandes rocas" o "rocas letrero" y explican los métodos usados para su erección [9].

Pero estas estelas se distinguen, también, porque las estructuras y ellas mismas están orientadas en la dirección Norte – Sur; aunque como se verá más adelante, es necesario precisar que su eje apuntaría a una dirección más precisa: azimut 187.6° [10], como se puede observar en la Figura 1.



**Figura 1. Foto de GoogleEarth en la que aparece la orientación del Arreglo de Estelas con azimut de 187.6° (GoogleEarth, 2016).**

No es descabellado pensar que el uso de las estelas pudo estar relacionado con la medición y registro del transcurrir del Tiempo. Si en otras regiones del mundo, Babilonia o Egipto, los movimientos del Sol fueron observados y registrados por medio del uso del gnomon entendido éste como una vara recta colocada verticalmente sobre una superficie horizontal [11], las estelas mayas bien pudieron jugar un papel similar en Mesoamérica. En donde, también podemos afirmar, hubo un extendido uso de bastones y báculos ceremoniales que en algún momento pudieron ser utilizados como gnómones. Postes, báculos y estelas pudieron ser utilizados en estas latitudes como dispositivos para registrar el Tiempo y bien pudieron haber evolucionado a partir de la estaca o vara de madera utilizada como herramienta para el cultivo [3].

## ARREGLO DE ESTELAS CALENDÁRICAS

Al inicio del Sacbé1 que conduce hacia el Templo de las Muñecas se pueden observar tres estructuras alineadas en una dirección prácticamente Norte – Sur. Estas estructuras, denominadas Str. 47, Str. 48 y Str. 49, se encuentran alrededor de 20 metros hacia el Este de la estructura Str. 42 como se ilustra en el diagrama de la Figura 1. Al centro de cada una de las tres estructuras se encuentra colocada una estela (estelas S4, S5 y S6, respectivamente); mismas que han sido datadas para el período Decadente de Dzibilchaltún. Dos de las plataformas, Str. 48 y Str. 49, fueron estudiadas por Adrian D. Anderson (citado por [3]) y por los hallazgos hechos en el material de relleno de las estructuras y por la forma en la que los bloques de roca estaban unidos con mortero, una técnica no encontrada en estructuras más antiguas del sitio, le permitieron asignar una fecha dentro de ese período. La Estructura Str. 47 fue liberada hasta la temporada 2001-2002 del Proyecto Arqueológico Dzibilchaltún [12]; habiéndose encontrado muy pocos vestigios cerámicos o de otros materiales.

Las características de las estelas, en cuanto a formas y acabados, son diferentes a aquellas presentes en otras zonas de la cultura Maya. Se trata de estelas delgadas sin grabados aparentes y con su borde superior redondeado. Más bien, se supone que las caras rugosas de las estelas pudieron haber estado suavizadas con una capa de estuco, aunque, según Anderson (citado por [3]), al día de la excavación ya no se apreciaba resto alguno de él.

Si bien las tres estructuras son similares, ellas difieren en varios aspectos: la presencia de escalinatas y las alturas de las estelas colocadas en ellas. Respecto de las escalinatas, se puede afirmar, según se observa ahora después de



la recuperación arqueológica, que la Str. 48, ubicada entre las otras dos estructuras, posee dos: una hacia el Norte, mirando hacia la Str. 47; y, otra al Sur con vista hacia la Str. 49. Por su parte, las Str. 47 y Str. 49, poseen una sola escalinata mirando cada una hacia la Str. 48; esto es, la Str. 47 con escalinata hacia el Sur, misma que fue propuesta por los arqueólogos [11] y la Str. 49 con la suya hacia el Norte, de cuya evidencia dan cuenta Andrews IV y Andrews V [6]. En la Figura 2, se puede apreciar el diagrama esquemático de este conjunto (las dimensiones no son a escala).



**Figura 2. Esquemático del Arreglo de las Estelas en sus plataformas.**

Ya mencionábamos arriba que el alineamiento de las plataformas y por ello de las estelas, es en la dirección Norte – Sur; aunque es importante para nuestra argumentación definir una orientación más precisa: azimut 187.6°; o bien, la sombra de un gnomon producida por el Sol del Solsticio de Invierno se observaría con dirección de 7.6° al Este del Norte [10], como se puede observar en la Figura 1. Debemos destacar que dicha sombra debería ser igual



al gnomon pues la elevación del Sol sería, en aquel momento, de 45°.

Otro aspecto relevante es que las tres estructuras son casi rectangulares: Str. 48 con lados de 490 (oeste), 510 (este), 580 (norte) y 635 cm (sur); Str. 49 con lados de 540, 520, 610 y 580 cm, en el mismo orden [6]; la Str. 47 quedó reconstruida de forma cuadrangular con lados 640 (eje este-oeste) por 690 cm (eje norte-sur) [12,13].

En la Tabla 1, se recogen las dimensiones básicas de las estelas tal y como quedaron reconstruidas en 2002. En ella, cabe destacar, las alturas de las mismas y la orientación general que no es en dirección exactamente norte-sur sino ligeramente hacia el este del norte.

**Tabla 1. Dimensiones de la Estelas.**

	Estelas		
Concepto	S4	S5	S6
Largo (cm) <sup>1</sup>	255	312	319
ancho (cm) <sup>1</sup>	102	90	115
espesor (cm) <sup>1</sup>	23	23	25
Altura (cm) <sup>1</sup>	205	245	234
Orienta (°) <sup>2</sup>	187.6	187.6	187.6
Latitud (°) <sup>2</sup>	21.092	21.091	21.091
Longitud (°) <sup>2</sup>	89.596	89.596	89.596

<sup>1</sup>Informe Técnico Temporada 2001-2002 (Maldonado et al) <sup>2</sup>GoogleEarth (2016)

Deseamos destacar la importancia del mediodía para los Maya: Un día (parte diurna y nocturna) se contaba a partir del Sol de mediodía; cruce del Sol por la línea Meridiana, diríamos ahora. Este día recibía el nombre de *uay*. Ellos deben haber contado con métodos para determinar ese momento preciso que recibía el nombre de *Zu huy kin* (o mediodía en punto) [15]; según Barrera Vásquez, los Maya podían hacer referencia a ese momento con la expresión *Pochek' Bo'oy* que literalmente significa "cuando el Sol hace sombra derecha" [15]. Esta sencilla expresión nos indica que ellos debieron utilizar algún elemento vertical (estela, poste, bastón, vara) cuya sombra pudieron observar para determinar cuándo ésta estaban derecha o recta; es decir, los mayas deben haber tenido el concepto de elemento que ahora llamamos gnomon como indicador.

Por ello, ese Sol de mediodía debió jugar un papel relevante en las ceremonias y rituales, tanto en las épocas de su apogeo como en el período Decadente. Habría ceremonias rituales diarias pero, sobre todo, de inicio y de fin del año. Se puede sugerir, asimismo, el papel relevante que jugaban los días de los Solsticios pues a los sitios en el horizonte de los ortos y ocasos correspondientes, los denominaban "las esquinas del Mundo" [16].

Así, combinando ambas acepciones podemos, ahora, valorar el momento de culminación del Sol en el Solsticio de Invierno como un momento crucial. Además, como se puede ver en la Tabla 2, en Dzibilchaltún, el Sol se encuentra exactamente entre el horizonte y el zenit; esto es, tiene una elevación de 45°. Esta posición implica un factor gnomónico platónico igual a cero ( $fgp = 0$ ) [17]. En cuanto al Solsticio de Verano, el Sol prácticamente se encuentra en el zenit: los mayas dirían *Kaz chumuc kin* [18].

Tabla 2. Alturas y Sombras de las Estelas.

	S4	S5	S6
SI	45.382	45.409	45.409
SI'	45	45	45
SIs	202.285	241.527	230.683
SIs'	205.000	245.000	234.000
SV	87.553	87.553	87.553
SV'	87.529	87.529	87.529
SVs	8.762	10.471	10.001
SVs'	8.846	10.572	10.097
SIs+SVs	211.047	251.998	240.684
SIs'+SVs'	213.846	255.572	244.097
SIs+SVs+e	234.047	274.998	265.684
SIs'+SVs'+e	236.846	278.572	269.097
Fg	1.0295	1.0286	1.0286
fg'	1.0431	1.0431	1.0431
Fge	1.1417	1.1224	1.1354
fge'	1.1553	1.1370	1.1500
Fgp	-0.0130	-0.0140	-0.0140
fgp'	0.0000	0.0000	0.0000

Sx - Elevaciones del Sol en Solsticios, x = I para Invierno y x = V para Verano

Sxs - Correspondientes valores de las sombras

fg - Factores gnomónicos

' - Las primadas corresponden a la orientación general de las estructuras.

Los días del paso del Sol por el zenit, fecha calendárica de suma importancia en la cultura Maya, pueden ser apreciados con la ayuda de las estelas. Las fechas correspondientes son los días 26 de mayo y 18 de julio y en esos días las estelas no proyectan sombra a mediodía.

La idea que propone la planeación del conjunto de estelas como un todo de objetivo ritual, se ve soportada

cuando se observan los resultados de las mediciones de las sombras de las estelas y sus respectivas alturas. Por ejemplo, la longitud de las sombras de la estela S4 en los solsticios más el espesor de la misma (234,047 cm en la Tabla 2) es igual a la altura de la estela S6 (234.0 cm); también, La suma de las sombras de la estela S6 en los solsticios (244,097 cm en la Tabla 2) es igual a la altura de la estela S5 (245,0 cm). Además, estas coincidencias corresponden a los momentos en que el Sol aparece alineado con el azimut de 187.6°.

## COMENTARIOS FINALES

Una de las formas de expresión por medio de esculturas que reflejan la existencia de actos rituales y registros calendáricos, es la erección de Estelas ricamente decoradas con auge en el período Clásico Maya. En ellas, además de fechas de conmemoración o de registro de ciclos (Katunes), aparecen los gobernantes ataviados con ricas prendas y portando bastones decorados o rituales. En el período llamado Decadente de Dzibilchaltún, aparentemente, esta costumbre fue relegada y así, se pueden encontrar estelas lisas que bien pudieran haber sido trabajadas en un período previo y que pueden haber sido erigidas con un objetivo en mente.

Además, el poder político y/o religioso en una sociedad se hace evidente cuando existe en ella el registro del tiempo y por ende la prevalencia de un Calendario. En el caso Maya, el sofisticado sistema de cuenta de los días con la Cuenta Larga, el año Haab y el período Tzolkín hacen por demás evidente la existencia de una élite con sacerdotes-astrónomos o astrónomos-sacerdotes que ejercen cierto poder. En Dzibilchaltún, en la época denominada Decadente, algunos años antes de la conquista, la ciudad desarrolló una vocación ritual que se manifiesta en escasas nuevas construcciones. Entre ellas destaca el levantamiento de tres estructuras (Str.47, Str.48 y Str.49) con estelas, presuntamente originarias del período Temprano II, cuyas dimensiones y orientación sugieren un objetivo gnomónico. Su orientación refleja la búsqueda de la observación del Sol a 45° en el Solsticio de Invierno con la sombra de las Estelas iguales a su altura; y, con las alturas de las mismas relacionadas unas con otras a través de sus sombras: suma de sombras de S4 igual a S6 y altura de S5 igual a suma de las Sombras de S6.

Como la observación de sombras de un gnomon, o como en el presente caso, de una estela puede considerarse como una actividad geométrica pues en ella se ven involucrados elementos continuos, es lógico suponer que las dimensiones de dichas sombras traten de ser contadas (o mejor aún, relacionadas) por medio de unidades al elemento que las produce. Vemos aquí, entonces, con la relación entre las sombras de las estelas y sus alturas, una expresión concreta de los que John Stillwell aborda al considerar que las diferencias entre geometría y aritmé-

tica son solo aparentes pues existe una relación profunda entre ellas, ejemplificado por el Teorema de Pitágoras [19].

Finalmente, podemos sugerir que las Estelas Calendáricas de Dzibilchaltún, aquí analizadas, constituirían un ejemplo de edificación con objetivos rituales y reflejo de un poder existente que como dice León Portilla, “los sabios mayas del horizonte clásico no fueron los primeros ni los únicos que consagraron su atención al tema del tiempo, [pero] si fueron los que con el más obsesionante interés desarrollaron ésta, que pudo haber sido herencia en común de la antigua cultura mesoamericana, hasta llegar a crear sistemas cronológicos con módulos y cómputos de una precisión que hoy nos parece inverosímil” [20].

## RECONOCIMIENTOS

Deseo agradecer a la UNISON por el apoyo recibido para mi año sabático y a la UNAM, en especial al Instituto de Investigaciones Estéticas por haberme recibido en este período. Al Dr Jesús Galindo Trejo y al Dr Estanislao Ivanisciewski agradezco sus comentarios y orientaciones durante la preparación de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Galindo Trejo, *Arqueoastronomía en la América Antigua*. Cd México: México: CONACYT, 1994.
- [2] L. Fogelin, “The Archaeology of Religious Ritual”, *Annual Review of Anthropology*, Vol. 36, pp. 55-71, 2007.
- [3] M.Looper, *Lighting Warrior: Maya art and kingship of Quirigua*. Austin, USA: The University of Texas Press, 2003.
- [4] D. Stuart, “Shining Stones: Observations on Ritual of Early Maya Stelae”, in *Place of Stone Monuments* pp. 285-297. Ed. Julia Guernsey et al. *Dumbarton Oaks Research Library and Collection*, 2010.
- [5] E. W. Andrews, “Lost City of the Maya”. *National Geographic Magazine* vol. 115, pp. 91 – 109, 1959.
- [6] E. B. Kurjack, “Introduction to the Map of the Ruins of Dzibilchaltun, Yucatan, Mexico”. *Middle American Research Institute Publication Num. 47*. EUA:Tulane University,1979.

- [7] E. W. Andrews IV, E. W. Andrews V, “Excavations at Dzibilchaltun, Yucatan, Mexico”. *Middle American Research Institute Publication Num. 48*. EUA: Tulane University, 1980.
- [8] E.W. Andrews V, “Dzibilchaltún”. *Handbook of Middle American Indians*. EUA: Ed. Bricker, V.R. & J.A. Sabloff, supp. 1, 1981.
- [9] S. T. Evans, *Ancient Mexico and Central America: Archaeology and Culture History*. London, UK: Thames & Hudson, 2008.
- [10] (2016) Google Earth, Accessed July 2016.
- [11] E. M. Linton “From Eudoxus to Einstein: A history of Mathematics and Astronomy”, Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press 2004.
- [12] R. Maldonado, A. Uriarte, G. Santiago, E. Acevedo, “Informe Técnico. Temporada 2001-2002”. *Proyecto Arqueológico Dzibilchaltún Num. 30.230*. Cd. De México, México: INAH, 2003.
- [13] R. Maldonado, “Proyecto Arqueológico Dzibilchaltún”. *Informe de Proyecto Num. 30-220*. Cd. De México, México: INAH, 2003.
- [14] C. Alvarez, *Diccionario Etnolingüística del Idioma Mayayucateco colonial*. I *El Mundo Físico*, Cd. De México: UNAM, 1980.
- [15] A. Barrera Vásquez, Alfredo, *Diccionario maya cordemex :Maya-español español-maya*, Cd. De México, México: Cordemex, 1980.
- [16] A. Villa Rojas, *Apéndice de: Tiempo y realidad en el pensamiento maya*. Cd. De México, México: Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM, 1981.
- [17] R. Perez-Enriquez, “Plato’s Triangle and gnomonic factor: An application to Herodotus’ Oracles”, *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* vol. 14 Num. 3, pp. 45 – 53, 2014. [Online] Available: <http://maajournal.com/Issues/2014/Vol14-3/Full5.pdf>.
- [18] E. Solis Alcalá, *Diccionario Español-Maya*. Mérida, Yucatán: Ed. YIKAL MAYATHAN, 1949.
- [19] J. Stillwell, *Mathematics and Its History*. Springer-Verlag, 1989. [Online] Available: <http://www.springer.com/us/book/9781441960528>.
- [20] M. León Portilla *Tiempo y realidad en el pensamiento maya*, Cd. De México, México: UNAM, 1986.





# Universidad de Sonora UNIDAD REGIONAL CENTRO

## DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

<http://www.investigacion.uson.mx/programas-posgrado.htm>



### PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS\*



Objetivo del Programa: Ofrecer un marco de formación académica especializada a egresados de Ciencias Biológicas, Químicos-Biólogos, Ingeniería Química, Agrónomo y carreras afines, formando re-

recursos humanos de excelente nivel, con una preparación sólida en diversas áreas de la ciencia, que sean capaces de realizar investigación original e independiente que represente avances significativos en el campo de las Ciencias y Tecnología de los Alimentos, con mayor énfasis en las áreas de granos y productos acuícolas. Asimismo, brindarles un panorama profundizado e integral para que sean capaces de identificar problemas relevantes en sus áreas de trabajo y generar conocimiento aplicable.

### PROGRAMA DE MAESTRÍA EN BIOCIENCIAS\*

Objetivo del Programa: Formar Maestros en Ciencias con una visión amplia de su área de especialidad y con capacidad de identificar problemas y procesos básicos y aplicados en las diferentes disciplinas de las ciencias biológicas, así como de realizar labores de docencia y difusión científica propias del ejercicio profesional.

### PROGRAMA DE DOCTORADO EN BIOCIENCIAS\*

Objetivo del Programa: Formar investigadores de la más alta calidad académica, capaces de realizar investigación original e independiente, básica y/o aplicada en su área de su especialización, la cual contribuya significativamente a la generación, innovación y adaptación de conocimientos científicos y/o tecnológicos.

### PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD\*



Objetivos del Programa: Formar recursos humanos con capacidad para realizar investigaciones de alto nivel en el campo de la salud y para transmitir sus conocimientos mediante

actividades docentes y de difusión de resultados, con el interés de que su formación tenga un impacto decisivo en el perfil epidemiológico poblacional.

## PROGRAMA DE MAestrÍA EN CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD\*



Objetivos del Programa: Formar personal altamente calificado en las áreas de química, biología y ciencias de la salud, con una visión interdisciplinaria, que contribuya a solventar la problemática de salud.

## PROGRAMA DE ESPECIALIDAD DE ENFERMERÍA EN CUIDADOS INTENSIVOS\*



Objetivos del Programa: Formar Especialistas de Enfermería en el Cuidado Crítico, competitivos en el ámbito laboral para la asistencia de pacientes en estado de salud crítico mediante la profundización especializada tanto

de conocimientos, habilidades y destrezas clínicas en el campo, como competencias actitudinales, desarrollando las competencias profesionales que se requieren para la atención del paciente que le permitan alcanzar y mantener la máxima capacidad y/o bienestar para preservar la vida, prevenir y limitar discapacidades, utilizando para ello la metodología del Proceso de Enfermería.

## PROGRAMA DE ESPECIALIDAD EN UROLOGÍA



Objetivos del Programa: Formar médicos especialistas competentes en la especialidad de Urología, considerando en ésta los diversos campos disciplinarios del saber médico y campos de interrelación, para formar profesionistas capaces de desarrollar una práctica profesional de las

más alta calidad científica, sin perder el sentido humanista y vocación de servicio social y que además desarrollen y asocien a su trabajo de expertos, las actividades de educación e investigación.

## PROGRAMA DE ESPECIALIDAD EN OTORRINOLARINGOLOGÍA Y CIRUGÍA DE CABEZA Y CUELLO



Objetivos del Programa: Formar médicos especialistas competentes en la especialidad de ORL y CCC, considerando en ésta los diversos campos disciplinarios del saber médico y campos de interrelación, para

formar profesionistas capaces de desarrollar una práctica profesional de las más alta calidad científica, sin perder el sentido humanista y vocación de servicio social y que además desarrollen y asocien a su trabajo de expertos, las actividades de educación e investigación.

## PROGRAMA DE ESPECIALIDAD EN PSIQUIATRÍA



Objetivos del Programa: Formar médicos especialistas competentes en la especialidad de Psiquiatría, considerando en ésta los diversos campos disciplinarios del saber médico y campos de interrelación, para

formar profesionistas capaces de desarrollar una práctica profesional de las más alta calidad científica, sin perder el sentido humanista y vocación de servicio social y que además desarrollen y asocien a su trabajo de expertos, las actividades de educación e investigación.

## PROGRAMA DE ESPECIALIDAD EN MEDICINA FAMILIAR



Objetivos del Programa: Formar médicos competentes en la especialidad de Medicina Familiar, considerando en ésta los diversos campos disciplinarios del saber médico y campos de interrelación, para formar profesionistas capaces de desarrollar una práctica

profesional de las más alta calidad científica, sin perder el sentido humanista y vocación de servicio social y que además desarrollen y asocien a su trabajo de expertos, las actividades de educación e investigación.

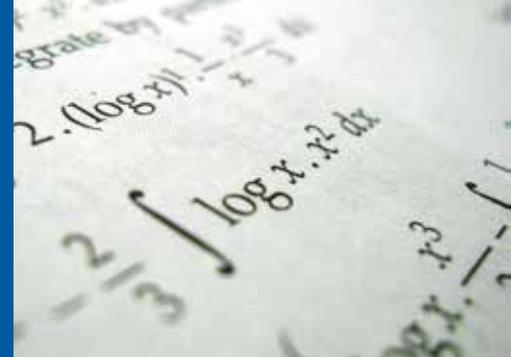
### DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Rosales y Blvd. Luis Encinas, Edificio 10K Hermosillo,  
Sonora, México, C.P. 83000  
Tel. (662) 259-21-62 y 259-22-59





# Universidad de Sonora UNIDAD REGIONAL CENTRO



## DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

<http://www.investigacion.uson.mx/programas-posgrado.htm>

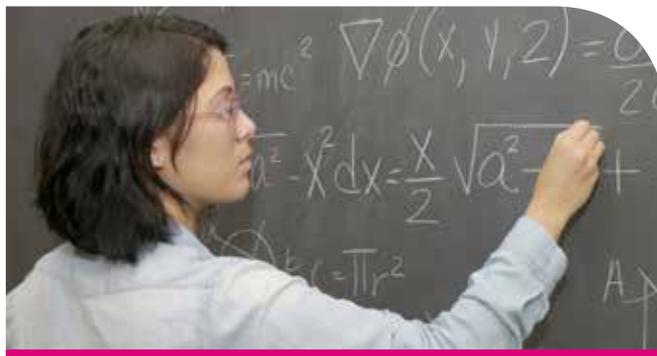


### PROGRAMA DE MAestrÍA EN CIENCIAS (FÍSICA)\*

Objetivo del Programa: Preparar personal para ejercer labores docentes a nivel Licenciatura, Maestría y de Especialidad con una alta capacidad innovadora y de trabajo que le permitan ejercer actividades de investigación, familiarizándolo con su metodología, que participe en solución de problemas relacionados con la planta productiva de la región y del país y capacitar personal para realizar estudios de Doctorado en cualquier rama de la Física.

### PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS (FÍSICA)\*

Objetivo del Programa: Formar recursos humanos de alto nivel académico que propicien el desarrollo y creación del conocimiento científico y tecnológico que contribuya al desarrollo de la región, altamente capacitado para ejercer labores docentes de licenciatura y posgrado y con una alta preparación académica y capacidad innovadora, capaces de generar y transmitir el conocimiento científico; aptos para crear y desarrollar proyectos y programas de investigación. Asimismo, desarrollar programas multidisciplinarios de investigación científica y tecnológica.



### PROGRAMA DE MAestrÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS (MATEMÁTICAS)\*

Objetivo del Programa: Formar personal con alto nivel académico y conocimientos amplios y suficientes en los contenidos, teorías y métodos de las principales ramas de la matemática, con habilidades para el estudio autónomo y comprensión de los resultados y avances de la investigación matemática moderna, capaces de realizar labores de asesoría y apoyo matemático en proyectos de investigación y desarrollo en las distintas disciplinas de carácter científico y tecnológico, capacitado para realizar investigación original e independiente en el campo de las matemáticas y sus aplicaciones. Asimismo, preparar recursos humanos aptos para realizar labores de docencia en los niveles universitario y de posgrado, contribuir en el mejoramiento de los niveles de educación matemática en el noroeste de México e impulsar y fortalecer la investigación en matemáticas en el noroeste de México.

### PROGRAMA DE MAestrÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MATEMÁTICA EDUCATIVA\*

Objetivos del Programa: Formar personal altamente capacitado para elaborar, conducir y evaluar proyectos profesionales en Matemática Educativa, que pueda identificar la problemática del campo generada por la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas: en el mundo, en nuestro país, en nuestra Universidad y en las institucio-

\*Posgrados incluidos en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de CONACYT

nes de la región en las que tiene influencia, diseñar propuestas de intervención didáctica, con base en un marco teórico determinado, aplicar propuestas de intervención didáctica, tomando en cuenta los elementos teóricos y metodológicos de la Matemática Educativa, analizar los resultados de una intervención didáctica, desde una perspectiva teórica evaluar la pertinencia de un proyecto de intervención didáctica, así como comunicar por escrito los resultados de sus trabajos.



#### **PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA\***

Objetivos del Programa: Formar recursos humanos especializados en las diferentes áreas de la electrónica, capaces de utilizar sus conocimientos y habilidades para la solución de problemas científicos y tecnológicos del país, a través del planteamiento, diseño y desarrollo de proyectos de investigación en el campo de la Electrónica.

#### **PROGRAMA DE MAESTRÍA\* Y DOCTORADO EN ELECTRÓNICA**

Objetivos del Programa: Formar recursos humanos especializados en las diferentes áreas de la electrónica, capaces de utilizar sus conocimientos y habilidades para la solución de problemas científicos y tecnológicos del país, a través del planteamiento, diseño y desarrollo de proyectos de investigación en el campo de la Electrónica.



#### **PROGRAMA DE MAESTRÍA EN NANOTECNOLOGÍA\***

Objetivos del Programa: Formar personal de alto nivel académico caracterizado por desarrollar una formación de excelencia multidisciplinaria en el vasto campo de la Nan-

otecnología y de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, que comprenda los estudios básicos de la materia, su estructura íntima, su configuración atómica, propiedades físicas, químicas, biológicas, mecánicas, magnéticas o electrónicas; generar en los estudiantes un profundo nivel de competencia en el dominio de las diversas metodologías analíticas, experimentales y computacionales, para el procesamiento, síntesis y caracterización de los materiales nanoestructurados; desarrollar y enriquecer una formación de competencias docentes a nivel de educación superior y de posgrado; vincular la formación de sus egresados a las necesidades de desarrollo del sector productivo; y desarrollar investigadores de excelencia y ética, con un alto nivel de originalidad, independencia y metodología científica.



#### **PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS GEOLOGÍA\***

Objetivos del Programa: El objetivo general del programa es el de formar maestros en ciencias de alto nivel de calidad y excelencia, capaces de participar en el análisis y solución de problemas geológicos tradicionales y de frontera, utilizando el método científico, y respondiendo con oportunidad a las necesidades del desarrollo científico y tecnológico del país. Ofreciendo un espacio de formación de alto nivel académico en torno a la problemática derivada de tres grandes áreas de aplicación de las ciencias de la tierra como son: los yacimientos minerales, la geología regional y la hidrogeología y geología ambiental. Contribuyendo con ello al fortalecimiento de la capacidad profesional y/o investigativa de los profesionales que desempeñan en éstas área de conocimiento.

### **DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

Rosales y Blvd. Luis Encinas, Edificio 3K-1

Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000

Tel. (662) 259-21-53 y 259-21-54



# Universidad de Sonora UNIDAD REGIONAL CENTRO

## DIVISIÓN DE INGENIERÍA

<http://www.investigacion.uson.mx/programas-posgrado.htm>



### PROGRAMA DE MAestrÍA EN CIENCIA DE MATERIALES\*

Objetivo del Programa: Formar docentes, investigadores y cuadros profesionales con un alto nivel académico en el área de la Ciencia de Materiales.

### PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIA DE MATERIALES\*

Objetivo del Programa: Formar personal de alto nivel académico y con autonomía para llevar a cabo en forma eficiente las actividades de generación, aplicación y difusión de conocimiento de frontera en el área de Ciencia de Materiales.



### PROGRAMA DE ESPECIALIDAD EN DESARROLLO SUSTENTABLE\*

Objetivo del Programa: Formar profesionales con una perspectiva integral de las áreas técnica, administrativa, económica, social, ambiental y ética de acuerdo a los modelos modernos del desarrollo sostenible.

### PROGRAMA DE MAestrÍA EN SUSTENTABILIDAD\*

Objetivo del Programa: Coadyuvar con la sociedad en la transición hacia estilos de vida más sustentables, mediante la formación de profesionistas con una perspectiva holística y ética; con los conocimientos y habilidades para planear, implantar y evaluar intervenciones que conlleven a prevenir, eliminar y/o reducir los riesgos e impactos ambientales y ocupacionales en el área de su profesión y/o desarrollo en beneficio de su comunidad.



### PROGRAMA DE MAestrÍA EN INGENIERÍA: INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TECNOLOGÍA\*

Objetivo del Programa: Formar recurso humano orientado a entender, analizar y resolver problemas complejos dentro de organizaciones dedicadas a la producción de bienes o servicios.



### PROGRAMA DE MAestrÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA: INGENIERÍA QUÍMICA\*

Objetivo del Programa: Formar académicos y profesionales del más alto nivel en ingeniería y sus campos afines, útiles a la sociedad. Promover la práctica profesional de calidad en ingeniería y campos afines. Contribuir a la solución de problemas nacionales. Realizar investigación para generar nuevos conocimientos, métodos y criterios en ingeniería y sus campos afines. Desarrollar tecnología.



### PROGRAMA DE MAestrÍA EN INGENIERÍA CIVIL

Objetivo del Programa: El objetivo general del programa es formar personal del más alto nivel académico y profesional en el campo de la Construcción y la Valuación, capaz de realizar investigación para generar nuevos conocimientos o desarrollos que contribuyan a la solución de problemas de interés regional y nacional.

## DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Rosales y Blvd. Luis Encinas, Edificio 5M  
Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000  
Tel. (662) 259-21-57

\*Posgrados incluidos en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de CONACYT

La Universidad de Sonora, a través de las Divisiones de Ingeniería, de Ciencias Exactas y Naturales, así como de Ciencias Biológicas y de la Salud emite la presente invitación para participar en la

## Convocatoria para recepción de manuscritos

### No. 23

La revista *Epistemus* (ISSN: 2007-8196) publica artículos originales e inéditos de proyectos de investigación, reseñas, ensayos, y comunicaciones breves sobre ciencia y tecnología y salud, dirigida a investigadores, profesores, estudiantes y profesionales en diversas áreas.

**Áreas de Conocimiento** (no limitadas a los siguientes campos):

- ▶ Ingenierías: materiales, metalurgia, civil, minas, industrial, ambiental, hidráulica, sistemas de información, mecatrónica, alimentos, energía, agua, entre otras.
- ▶ Ciencias exactas y naturales: geología, física, matemáticas, electrónica y ciencias de la computación.
- ▶ Ciencias biológicas y de la salud: investigación en alimentos, desarrollo regional, acuicultura, salud, biología, agricultura, entre otras.

**Fechas Importantes:** Recepción permanente de manuscritos

- ▶ Límite de envío de manuscritos para el No. 23: Septiembre 15 de 2017.
- ▶ Notificación a autores de dictamen: Octubre 06, 2017.
- ▶ Límite de envío de versión final del artículo: Octubre 30, 2017.
- ▶ Publicación electrónica: Diciembre 15, 2017.

**Envío de manuscritos:** [revista.epistemus@correom.uson.mx](mailto:revista.epistemus@correom.uson.mx)

**Mayores informes:** <http://www.epistemus.uson.mx/>

Rosales y Blvd. Luis Encinas Johnson, Hermosillo, Sonora, 83000, México