

# voluntad HIDRAULICA

ÓRGANO OFICIAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS

Humboldt No. 106 esq. a calle P. Vedado. Municipio Plaza de la Revolución. La Habana, Cuba. CP 10400.

Correo de Contacto: [revistahidraulica@hidro.gob.cu](mailto:revistahidraulica@hidro.gob.cu). Revista Trimestral.

La Habana, Julio-Septiembre, 2016 / No. 117 / ISSN 0505-9461

REMODELACIÓN El Gato



## Cubagua

Habana

2017

Conocimiento  
y tecnología

21-24 DE MARZO  
PALACIO DE CONVENCIONES

...LE ESPERAMOS



**¿Quién convoca al concurso?** El XVIII concurso nacional infantil Trazaguas, organizado por el Grupo "Agua Amiga de las Niñas y los Niños" es convocado por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), en saludo al Día Interamericano del Agua (primer sábado de octubre) y al Día Mundial del Agua (22 de marzo).

**¿Por qué se hace?** Porque aunque sabemos que el agua es importante para la vida y que es necesario protegerla y usarla racionalmente, a veces muchas personas lo olvidamos y no vemos el peligro que la escasez de agua y la sequía constituyen para la vida en la Tierra. Por eso este concurso se realiza cada año y porque creemos que es importante que las niñas, los niños y los adolescentes expresen lo que piensan y colaboren con el conocimiento y la toma de conciencia acerca del cuidado del agua.

**¿Cuál es el tema?** Para el 2017, Trazaguas premiará a aquellos trabajos que muestren mejor las formas para hacer frente a la sequía en nuestras propias comunidades. Por tanto, debes conocer cuál es o era el problema de tu comunidad relacionado con el agua y cómo lo pueden resolver o cómo lo resolvieron. O sea, puedes contar cómo se hace para ahorrar el agua, cómo se hace para captarla, para protegerla o para distribuirla mejor, entre otras cuestiones relacionadas, pero siempre que sean propias de la comunidad en la que vives.

**¿Cuáles son las modalidades?** ¿Cómo se aceptarán los trabajos?

Se puede participar en las siguientes modalidades. Lee aquí una síntesis de las normas para la presentación.

**AUDIOVISUAL:** El audiovisual debe ser un corto documental entre 1 hasta 5 minutos de duración en video o foto animación, realizado con una cámara fotográfica o de video o un medio digital móvil.

Se otorgarán 3 premios en cada manifestación por cada una de los grupos de edad.

**DIBUJO/PINTURA:** En cualquiera de las técnicas, los trabajos deberán presentarse en papel o cartulina y no deben exceder las dimensiones de 50 cm x 50 cm.

**FOTOGRAFÍA:** Se pueden presentar hasta 3 fotografías (independientes la una de la otra) o series de fotografía por autor. Pueden entregarse impresas en papel a un tamaño de 10 x 12 pulgadas, en blanco y negro o en color, o en formato digital impresas en un CD a 300 dpi de resolución.

**HISTORIETA:** Las historietas (serie de dibujos que constituyen un relato y que pueden tener texto o no) se aceptarán dibujadas en blanco y negro o en color, en papel o cartulina a tamaño carta (8 1/2 x 11 pulgadas) y no más de 2 cuartillas.

**JUEGO DIDÁCTICO:** Los juegos pueden ser maquetas o juegos completamente terminados, creados como juegos de mesa o como videojuegos.

Los juegos de mesa pueden ser dibujados a mano o impresos, con una dimensión no mayor de 50 cm x 50 cm y deben estar acompañados de una explicación con el objetivo del juego y las instrucciones para jugar.

Los videojuegos deben presentarse en una versión digital impresa en un CD/DVD/memoria flash, acompañados de un documento con el objetivo del juego, las instrucciones para jugar y los requerimientos mínimos del soporte donde se debe copiar o instalar para que funcione.

**POESÍA, NARRATIVA Y OTROS TEXTOS EN PROSA:** Las obras se aceptarán mecanografiadas o manuscritas, siempre que la letra sea legible. En la narrativa se tendrá en cuenta el cuento, el relato y la fábula; en la poesía, cualquiera de sus formas; en otros textos en prosa se considerarán las composiciones y las reflexiones.

**¿Quiénes pueden participar?** Pueden participar los niños, niñas y adolescentes en todas las manifestaciones divididos en los siguientes grupos de edad: De 9 a 11 años; de 12 a 14 años y de 15 a 18 años. Pero en la manifestación de dibujo/pintura pueden participar también niños y niñas de 5 a 8 años.

**¿A dónde se envían los trabajos?** Los trabajos deben enviarse a las Delegaciones Provinciales de Recursos Hidráulicos o directamente a la siguiente dirección:



# XVIII Concurso Nacional infantil y adolescente Trazaguas 2017



## Concurso TRAZAGUAS

Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos

Humboldt no. 106 (5to. piso) esq. P. Plaza de la Revolución, Habana 4, CP 10400, La Habana. Teléf. 8365571 al 79 (ext. 212 Y 214)

... y deben estar acompañados de los siguientes datos: Título de la obra • Nombre y apellidos del autor • Edad • Grado escolar • Nombre de la escuela y su dirección completa • Dirección particular, teléfono, municipio y provincia.

**¿Algo más?** Sí. Hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Todos los trabajos premiados serán mostrados al público por diferentes medios de comunicación durante los días de la premiación y constituirán ideas para la realización de audiovisuales en la televisión para los niños, niñas y adolescentes del país.
- Los trabajos presentados que no tengan claramente los datos del autor o que no se ajusten al tema del concurso serán rechazados.
- Ningún trabajo será devuelto a los autores, siendo conservados por los organizadores como parte del archivo del concurso.
- El plazo de admisión vence el 6 de febrero de 2017.

¡Esperamos y agradecemos desde ya tu participación!



La Habana, Cuba  
Año 54 de la Revista, Julio-Septiembre, 2016

**ISSN 0505-9461**

La revista **Voluntad HIDRÁULICA** es una publicación periódica de carácter informativo con periodicidad trimestral. Posee el ISSN 0505-9461. Funge como el órgano oficial informativo del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Cuba. La Revista se enfoca en el Manejo Racional de los Recursos Hídricos, la Ingeniería Hidráulica y otras disciplinas afines a este campo de la ciencia.

Está dirigida a investigadores, científicos, doctores en ciencias, ingenieros, másteres, técnicos, especialistas y trabajadores en general del área de los Recursos Hidráulicos y sus disciplinas afines, o a todas las instituciones que estén interesadas en el manejo racional de los Recursos Hídricos en Cuba y en otros países del mundo.

Objetivos de la revista  
**Voluntad HIDRÁULICA:**

1. Divulgar informaciones y resultados de trabajos generados por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
2. Informar acerca de las últimas novedades en diversos tópicos relativos al manejo de los Recursos Hidráulicos.
3. Sensibilizar y desarrollar una cultura, mediante la información publicada en la revista, sobre el uso racional del recurso agua.

## EDITORIAL | 3

## CIENTÍFICO TÉCNICO

- *Un acercamiento a los aliviaderos en Cuba (parte 2) / Dr. Ing. Eduardo Arturo Velazco Davis* | **4**
- *Herramientas para el planeamiento y evaluación del agua por cuencas / Yoany Sánchez Cruz; Odalys Méndez Valdez; Francisco Flores-López y Armando Hernández Valdez* | **19**
- *Aplicación del modelo racional de Muwaffaq-Pescod a un sistema trampa de sólidos – laguna anaerobia para el tratamiento de residuales porcinos / Dr. Rodolfo Sánchez Morales* | **29**

## NOVEDADES

- *Las anfetaminas alteran la base de la vida de los ríos* | **38**

## COMUNICACIÓN INSTITUCIONAL

- *Día del Hidráulico 2016. Festeja Sancti Spíritus actividades centrales* | **40**
- *Celebran trabajadores hidráulicos cumpleaños de Fidel* | **44**
- *Resumen del acto provincial por el día del trabajador hidráulico en Las Tunas* | **46**

## De esos héroes anónimos nuestros...

- *Dionisio Delgado Poza: Pertinencias para el imaginario simbólico* | **47**
- *Evelio Martínez Madrigal: Pertinencias para el imaginario simbólico* | **48**
- *Luis Valdivia Abreu: Pertinencias para el imaginario simbólico* | **49**
- *Luis Danilo Loyola Martínez: Pertinencias para el imaginario simbólico* | **50**
- *Impronta de Fidel entre hidráulicos granmenses* | **51**
- *Los trabajadores de Recursos Hidráulicos en Holguín, saludan con júbilo, el cumpleaños de Fidel con la reforestación de 90 árboles en la franja forestal de protección de la Presa Güirabo...* | **54**
- *Lanzamiento oficial del Evento CUBAGUA 2017* | **56**

## Qué dice la prensa...

- *El mar de Cuba se ha elevado 6,77 centímetros* | **58**

## CURIOSIDADES

- *El calor tiñe de rojo sangre 'Mar muerto' chino* | **59**

## MENSAJES EDUCATIVOS

- *El agua: Un recurso abundante que no está en todas partes (www.iagua.es)* | **60**



## CONSEJO EDITORIAL



**DIRECTOR** | Ing. Abel Salas García



**EDITOR EJECUTIVO** | Lic. Annalie Hernández Navarro



**EDITOR ASOCIADO** | Ing. Ana Lydia Hernández González

## CONSEJO TÉCNICO EVALUADOR



Dr. Juan  
Fagundo Castillo



Dr. Eduardo  
Velasco Davis



Ing. Alfredo  
Álvarez Rodríguez



Dr. Jorge Mario  
García Fernández



Ing. Amneris  
Carreras Rodríguez



Ing. Alberto  
Porto Varona

Israel de Jesus Zaldivar Pedroso | **diseñador gráfico**

### Dirección Institucional de la revista:

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN  
Y LA TECNOLOGÍA

Humboldt No. 106 esq. a calle P. Vedado,  
municipio Plaza de la Revolución.  
La Habana, Cuba. CP 10400

Teléfonos: 7 836 5571 al 79 (pizarra) ext. 178

Correo de contacto: [revistahidraulica@hidro.gob.cu](mailto:revistahidraulica@hidro.gob.cu)





*Celebramos el aniversario 54 de la constitución el 10 de agosto de 1962 del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de la República de Cuba, en el marco de una amplia jornada de actividades en saludos al cumpleaños 90 de nuestro Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz, principal precursor de la Voluntad Hidráulica y de la creación de esta organización; es admirable como el Comandante previó desde los primeros momentos del proceso revolucionario, no solo la incidencia del desarrollo hidráulico en los objetivos económicos y sociales del país, sino también la importancia del agua y su gestión integral con una comprensión y coherencia extraordinaria.*

*La organización posee un plan hidráulico nacional que hoy damos continuidad a la obra hidráulica de la Revolución pasando por los duros años del periodo especial y continuando de acuerdo a las posibilidades económicas del país, con un férreo bloqueo impuesto por los Estados Unidos, pero siempre junto al proyecto de la Revolución cubana. Hoy con nuevas tecnologías y con los jóvenes hidráulicos junto a todo el pueblo.*

*El agua constituye el recurso natural máspreciado, que sin duda pondrá a la humanidad en la más dura encrucijada en la lucha por preservar al planeta. Cuidar el agua hoy, buscando alternativas eficaces y sustentables para el futuro, son objetivos que, bajo la dirección del Partido Comunista de Cuba, trabajamos con el firme propósito de cuidar el medio ambiente que es cuidar la vida, propiciar el desarrollo económico del país y garantizar la existencia del género humano. 💧*

*Felicidades a todos los hidráulicos*

*Felicidades Comandante en Jefe en su 90 cumpleaños*

*La queramos.....*

*M.Sc. Inés María Chapman Waugh  
Presidenta del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.*



### RESUMEN

Se presenta información sistematizada sobre las características fundamentales de los aliviaderos de las presas construidas en Cuba, con acento en aspectos específicos de su diseño o desempeño hidráulico, los que se analizan a partir de la experiencia y las contribuciones del autor y de otros especialistas, recogidas en un total de 205 fuentes bibliográficas de las cuales 110 son debidas al autor y 12 al autor con colaboradores. Al final de cada una de las 3 Partes en que se publica la contribución, se relacionan las fuentes citadas en esa parte, conservando la identificación alfabética y cronológica que les corresponde en el conjunto total.

### 4. ALIVIADEROS DE ABANICO, SEMIABANICO Y TRINCHERA, Y DE ARCO CON SALTO HIDRÁULICO

Los análisis realizados por el autor han confirmado una vez más que los estudios hidrológicos de nuestras primeras obras debieron basarse necesariamente en series hidrológicas cortas e insuficientes, que en muchos casos se hizo necesario completar y extrapolar mediante procedimientos originados en otras latitudes y condiciones, por lo que no podían incluir las peculiaridades climáticas e hidrológicas del territorio cubano. Al mismo tiempo, las extremas presiones y complejidades que ha experimentado el desarrollo económico del país, el carácter deficitario del hormigón y la imperiosa necesidad de racionalizar su empleo para hacer frente al colosal despliegue constructivo que benefició simultáneamente muchas esferas de la economía y que se libró en todas las provincias, condujo a optimizar los diseños de los aliviaderos en el sentido de llevar sus dimensiones hasta el mínimo realmente necesario. Como consecuencia, en muchos casos su diseño hidráulico resultó tan ajustado a las “condiciones de frontera”, que más allá de los límites dictados por los factores de seguridad que fueron adoptados, variaciones relativamente pequeñas de dichas condiciones pueden provocar que el desempeño de estas estructuras empeore apreciablemente y que se generen riesgos, tanto para su propia integridad, como para la seguridad de las presas que ellas están llamadas a proteger.

Cuatro soluciones sobresalientes permiten respaldar la anterior aseveración: los aliviaderos de abanico, de semiabanico, de trinchera y de arco con salto y flujo en régimen subcrítico, que acopiando gran parte de la información existente se han relacionado en las Tablas 4, 5, 6 y 7, donde presumiblemente figuran todas las estructuras de estos tipos presentes en nuestras presas, relacionadas en orden ascendente según el valor del gasto.

<sup>1</sup> Dr. Ing. Eduardo Arturo Velazco Davis, Ingeniero Hidráulico, Doctor en Ciencias Técnicas, Investigador Titular, Profesor Adjunto, Especialista Superior en Proyectos. Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de La Habana EIPHH y Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería GEIPI. 78643811, 78643659, 76485672; karina@ecologia.cu, isabelp@dip.hidro.cu.



El abanico Mosquito de la Figura 13 fue el primero de su tipo construido en el país, en 1963, por lo que contó con un diseño conservador de D. Rudd y hoy se caracteriza por un gasto actualizado de 271 m<sup>3</sup>/s (Velazco 2006d). El Jibacoa de la Figura 14 tiene una transición con pendiente de 6% y el piso liso, mientras que el de la presa La Coronela, en la Figura 15, cuyo diseño experimental se inició por el autor en 1972 y se concluyó por A. Mortillaro (1973), y que fue construido en 1977, tiene una transición cuya pendiente es mucho mayor, igual a 8,5%, y a la que se incorporaron los umbrales transversales que en estas condiciones mejoran la distribución de los tirantes, aplicando la innovación experimental que venían desarrollando E. Alegret y A. Porto (1975) y A. Porto (1975). Esos resultados configuraron una importante medida para mejorar el desempeño hidráulico de muchas de las estructuras de este tipo que se han construido en Cuba, y junto a otras mejoras (Aldecoa y Velazco 1979), y sobre todo a la sistematización lograda en la Tesis de Doctorado de E. Alegret (1984), permite diferenciarlas de las de otros países (Ulloa 1956, Vega 1976, Sánchez 1979).

Los gastos de estos aliviaderos de abanico (y de los semiabanicos derivados de ellos, tratados por Porto y Santos en una contribución de 1977) han variado entre unas pocas decenas de metros cúbicos por segundo en los pequeños abanicos de La Turbera y El Enlace, en Artemisa e Isla de la Juventud, y los 8 100 m<sup>3</sup>/s que evacuan los dos abanicos contiguos de la presa Protesta de Baraguá, ya

mencionados en la Parte 1 de la contribución, para cuyo diseño A. Kavieshnikov y E. Alegret realizaron detalladas investigaciones que incluyeron, en un enfoque sumamente creativo, el empleo del equipo EGDA de analogía electro hidrodinámica para modelar la compleja red del flujo de acceso que como se desprende de la Figura 16, se forma ante ambas estructuras.

En este contexto, resulta pertinente consignar que en 1983 el autor diseñó e investigó en un modelo físico a escala reducida de considerables dimensiones, una alternativa de aliviadero de abanico (Velazco 1983a) cuyos parámetros, ascendentes a  $L = 220$  m,  $H_o = 5,44$  m y  $Q = 8\,740$  m<sup>3</sup>/s, obligaron a modificar sustancialmente las relaciones entre las dimensiones y los elementos de rugosidad que requieren los abanicos habituales (Velazco y Santos 1984, 1985), lo convertían en el mayor del país y lo situaban entre las mayores obras de su tipo a nivel mundial, como los de las presas Adolfo López Mateo, Mocuzari, Manuel Hidalgo y otras, de la República de México. El aliviadero se destinaba a servir a la entonces presa Melones (hoy Mayarí), y debió ser sustituido posteriormente por otra solución al realizarse cambios en la localización del cierre. Posteriores investigaciones teóricas del autor que involucran los conceptos de punto singular y de balance energético (Velazco 1998d), han arrojado resultados totalmente congruentes con los referidos resultados experimentales y abierto el camino para su aplicación al diseño de aliviaderos con transiciones de otros tipos.

Tabla 4. Aliviaderos de abanico construidos en Cuba (34)

| Nº | Presa                               | Provincia           | Año  | L [m] | Q [m <sup>3</sup> /s] | H <sub>o</sub> [m] |
|----|-------------------------------------|---------------------|------|-------|-----------------------|--------------------|
| 1  | La Turbera                          | Artemisa            | 1978 | 60,0  | 30                    | 0,50               |
| 2  | El Enlace                           | Isla de la Juventud | 1973 | 30,0  | 84                    | 1,24               |
| 3  | Niña Bonita ( <i>actualizado</i> )  | La Habana           | 1970 | 82,0  | 104                   | 0,73               |
| 4  | El Punto                            | Pinar del Río       | 1977 | 82,5  | 170                   | 0,99               |
| 5  | Jibacoa ( <i>actualizado</i> )      | Mayabeque           | 1973 | 58,6  | 206                   | 1,61               |
| 6  | El Salto                            | Cienfuegos          | 1980 | 36,2  | 220                   | 2,00               |
| 7  | San Miguel ( <i>actualizado</i> )   | Mayabeque           | 1981 | 81,4  | 222                   | 1,20               |
| 8  | Galindo                             | Cienfuegos          | 1990 | 72,2  | 225                   | 1,25               |
| 9  | Mosquito ( <i>actualizado</i> )     | Artemisa            | 1963 | 82,0  | 271                   | 1,37               |
| 10 | Aguas Claras ( <i>actualizado</i> ) | Mayabeque           | 1976 | 70,0  | 279                   | 1,61               |
| 11 | La Coronela ( <i>actualizado</i> )  | Artemisa            | 1977 | 87,9  | 315                   | 1,47               |
| 12 | Yariguá                             | Las Tunas           | 1977 | 94,5  | 320                   | 1,45               |
| 13 | Joturo                              | Santiago de Cuba    | 1990 | 93,1  | 325                   | 1,42               |
| 14 | San Julián                          | Pinar del Río       | 1988 | 107,6 | 327                   | 1,35               |
| 15 | Cidra                               | Matanzas            | 1975 | 54,0  | 330                   | 2,00               |
| 16 | Maurín ( <i>actualizado</i> )       | Artemisa            | 1973 | 102,7 | 343                   | 1,31               |
| 17 | Arroyo Grande                       | Villa Clara         | 1972 | 69,0  | 345                   | 1,80               |
| 18 | Palma Sola                          | Villa Clara         | 1987 | 61,0  | 480                   | 2,20               |
| 19 | Dignorah                            | Sancti Spíritus     | 1992 | 107,3 | 485                   | 1,68               |



| Nº | Presa                  | Provincia        | Año  | L<br>[m] | Q<br>[m³/s] | H <sub>o</sub><br>[m] |
|----|------------------------|------------------|------|----------|-------------|-----------------------|
| 20 | Limoncito              | Holguín          | 1993 | 60,0     | 523         | 2,43                  |
| 21 | Derivadora Vicana      | Granma           | 1989 | 115,0    | 540         | 1,70                  |
| 22 | Bío                    | Holguín          | 1989 | 116,8    | 540         | 1,80                  |
| 23 | Tacajó                 | Holguín          | 1971 | 74,0     | 610         | 2,70                  |
| 24 | Amistad Cubano Búlgara | Camagüey         | 1986 | 123,0    | 662         | 1,90                  |
| 25 | Santa Clara            | Holguín          | 1990 | 131,9    | 820         | 2,17                  |
| 26 | Mañana de la Santa Ana | Camagüey         | 1965 | 150,0    | 860         | 2,16                  |
| 27 | Jimaguayú              | Camagüey         | 1974 | 140,0    | 1 030       | 2,40                  |
| 28 | Pedregales             | Granma           | 1973 | 143,3    | 1 166       | 2,60                  |
| 29 | Minerva                | Villa Clara      | 1971 | 137,8    | 1 250       | 3,30                  |
| 30 | La Paila               | Pinar del Río    | 1980 | 155,7    | 1 282       | 2,50                  |
| 31 | Bueycito               | Granma           | 1977 | 184,0    | 2 250       | 2,90                  |
| 32 | Paso Malo              | Granma           | 1967 | 214,0    | 2 300       | 3,35                  |
| 33 | La Yaya                | Guantánamo       | 1975 | 245,0    | 3 500       | 3,60                  |
| 34 | Canasta                | Santiago de Cuba | 1990 | 520,6    | 8 100       | 4,00                  |

Tabla 5. Aliviaderos de semiabanico construidos en Cuba (5)

| Nº | Presa                      | Provincia        | Año  | L<br>[m] | Q<br>[m³/s] | H <sub>o</sub><br>[m] |
|----|----------------------------|------------------|------|----------|-------------|-----------------------|
| 1  | San Andrés <sup>[1]</sup>  | Holguín          | 1987 | 60,0     | 576         | 2,70                  |
| 2  | Vicana <sup>[1]</sup>      | Granma           | 1985 | 60,0     | 685         | 3,32                  |
| 3  | Chambas II <sup>[2]</sup>  | Ciego de Ávila   | 1990 | 120,0    | 1 580       | 3,25                  |
| 4  | Jaibo <sup>[3]</sup>       | Guantánamo       | 1979 | 180,2    | 2 100       | 3,20                  |
| 5  | Gota Blanca <sup>[3]</sup> | Santiago de Cuba | 1993 | 181,4    | 2 320       | 3,40                  |

**Notas:**

<sup>[1]</sup> Con la planta oval usual en los semiabanicos, pero con vertedor de perfil oval con vacíos

<sup>[2]</sup> Modificado, con vertedor de planta en arco y en posición oblicua con respecto al eje del aliviadero

<sup>[3]</sup> Con tramo de entrada cercano al de una trinchera, y vertedor de planta elíptica alargada, pero cercana a la planta oval de un semiabanico

Tabla 6. Aliviaderos de trinchera construidos en Cuba (15)

| Nº | Presa                                 | Provincia           | Año   | L<br>[m] | Q<br>[m³/s] | H <sub>o</sub><br>[m] |
|----|---------------------------------------|---------------------|-------|----------|-------------|-----------------------|
| 1  | La Guayaba                            | La Habana           | 76-80 | 47,0     | 38          | 0,64                  |
| 2  | Clotilde                              | Guantánamo          | 1971  | 38,0     | 39          | 0,75                  |
| 3  | Magueyal                              | Holguín             | 1990  | 33,0     | 125         | 1,56                  |
| 4  | Güirabo                               | Holguín             | 1969  | 14,0     | 135         | 2,70                  |
| 5  | Cristal <sup>[5]</sup>                | Isla de la Juventud | 1969  | 64,0     | 145         | 1,20                  |
| 6  | La Fe <sup>[5]</sup>                  | Isla de la Juventud | 1970  | 77,0     | 172         | 2,64                  |
| 7  | Jaruco <sup>[1]</sup> (actualizado)   | Mayabeque           | 1980  | 109,8    | 219         | 1,31                  |
| 8  | Herradura <sup>[4]</sup>              | Pinar del Río       | 1986  | 33,0     | 221         | 2,00                  |
| 9  | Pinillos <sup>[2]</sup> (actualizado) | Artemisa            | 1979  | 117,0    | 237         | 0,99                  |
| 10 | Baracoa <sup>[3]</sup> (actualizado)  | Artemisa            | 1988  | 97,4     | 244         | 1,18                  |
| 11 | Parada <sup>[6]</sup>                 | Santiago de Cuba    | 1985  | 70,0     | 780         | 7,00                  |
| 12 | Batalla de Guisa                      | Granma              | 1981  | 94,3     | 1 170       | 3,00                  |
| 13 | Sabanilla                             | Holguín             | 1974  | 150,0    | 1 250       | 2,50                  |
| 14 | Gilbert (Valdés Roig)                 | Santiago de Cuba    | 1967  | 135,0    | 1 520       | 2,70                  |
| 15 | Alacranes <sup>[4]</sup>              | Villa Clara         | 1972  | 140,0    | 2 400       | 3,68                  |

**Notas:**

<sup>[1]</sup> Trinchera con vertedor de planta recta divergente

<sup>[2]</sup> Trinchera con vertedor aligerado sin vacíos, de planta parabólica

<sup>[3]</sup> Trinchera con vertedor sin vacíos, de planta elíptica

<sup>[4]</sup> Trincheras con alineación oblicua en planta y vertedor con vacíos

<sup>[5]</sup> Trincheras de planta trapecial con vertimiento perimetral

<sup>[6]</sup> Trinchera de planta trapecial con vertimiento perimetral a dos niveles



Tabla 7. Aliviaderos construidos en Cuba con vertedor de arco en planta y flujo de entrada con salto y régimen subcrítico (5)

| Nº | Presa                            | Provincia     | Año   | L [m] | Q [m³/s]                                     | H <sub>o</sub> [m]                           |
|----|----------------------------------|---------------|-------|-------|--|--|
| 1  | Mampostón ( <i>actualizado</i> ) | Mayabeque     | 1978  | 90,0  | 30,4 <sup>[1a]</sup><br>78,3 <sup>[1b]</sup> | 0,34 <sup>[1a]</sup><br>0,61 <sup>[1b]</sup> |
| 2  | La Ruda ( <i>actualizado</i> )   | Mayabeque     | 1978  | 26,0  | 63   | 1,16   |
| 3  | Paso Sequito                     | La Habana     | 76-80 | 130,0 | 158  | 1,60   |
| 4  | Bacunagua                        | Pinar del Río | 1981  | 54,0  | 230  | 1,60   |
| 5  | Ramírez <sup>[2]</sup>           | Pinar del Río | 1969  | 195,7 | 1 763  | 2,65   |

**Notas:**

<sup>[1a]</sup> Sin aportes provenientes de la Derivadora Pedroso

<sup>[1b]</sup> Con un bombeo constante de 25,5 m³/s desde la Derivadora Pedroso

<sup>[2]</sup> Arco sustituido por segmentos rectos



**Figura 13.** Aliviadero de Abanico de la presa Mosquito (Provincia de Artemisa) L = 82,0 m, Q = 271 m³/s, H<sub>o</sub> = 1,37 m.



**Figura 14.** Aliviadero de Abanico de la presa Jibacoa (Provincia de Mayabeque) L = 58,6 m, Q = 206 m³/s, H<sub>o</sub> = 1,61 m.



**Figura 15.** Aliviadero de abanico de la presa la coronela (Provincia de Artemisa) L = 87,9 m, Q = 315 m³/s, H<sub>o</sub> = 1,47 m.

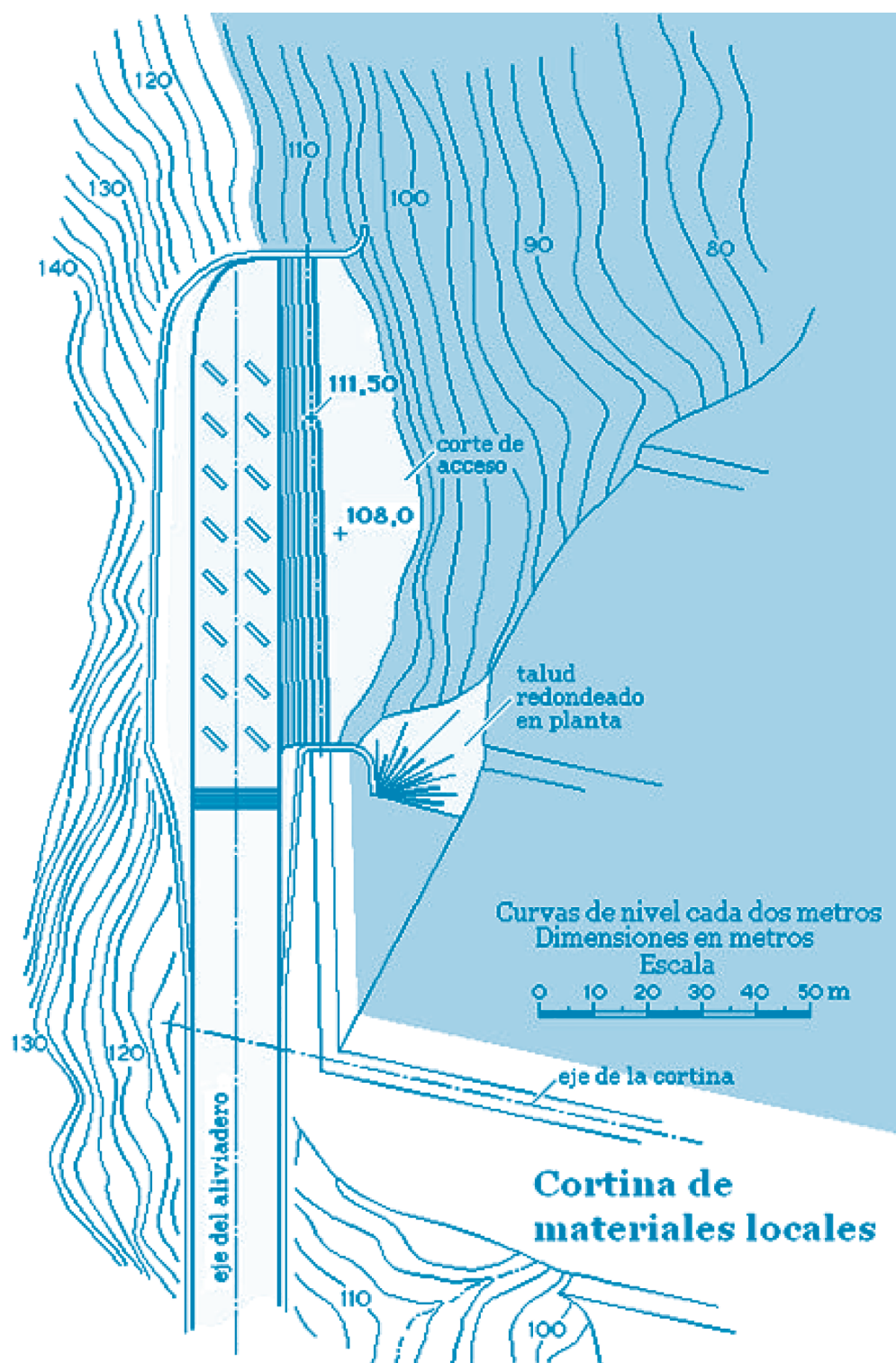






Entre los aliviaderos de trinchera o canal lateral construidos en Cuba, que se relacionan en la Tabla 6 y de los cuales varios alcanzaron a figurar en la temprana Tesis Doctoral del autor de 1977 (Velazco 1974, 1975a, 1975b, 1976a, 1976b, 1976c, 1977a, 1977b, 1978) (ver también el resumen de la Tesis publicado por la revista "Voluntad Hidráulica" del INRH en 1986: Velazco 1986e), se debe destacar el Batalla de Guisa de la Figura 17, que es uno de los mayores y que en 1981 se construyó finalmente, como se indica en la tabla, con una longitud

de cresta de 94,3 m y con una carga y un gasto de diseño de 3,00 m y 1 170 m<sup>3</sup>/s. Por su parte, el aliviadero de la presa La Ruda, que se ilustra en la Figura 18 (Velazco 2007a), constituye un buen ejemplo de los aliviaderos con el vertedor en forma de arco de la Tabla 7, diseñados para que en el tramo de entrada se cree un salto hidráulico que enlace el flujo que ingresa del vertedor, con el flujo en régimen subcrítico que se crea en la transición antes de su incorporación a la rápida.



**Figura 17.** Aliviadero Guisa (Cuba) Diseño de laboratorio:  $Q = 1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ;  $L = 90\text{ m}$ ;  $H_0 = 2,85\text{ m}$ ; NAM 111,50.





**Figura 18.** Aliviadero de Arco con salto hidráulico y régimen subcrítico de la presa La Ruda (Provincia de Artemisa)  $L = 26,0$  m;  $Q = 63$  m<sup>3</sup>/s;  $H_0 = 1,16$  m.

## 5. ALIVIADEROS SUBCRÍTICOS CON SOLUCIONES INTERMEDIAS

Aunque responden a concepciones distintas y claramente diferenciadas, entre los aliviaderos de semiabanico, las trincheras y los arcos con régimen subcrítico de entrada se han originado al mismo tiempo en el país interesantes soluciones intermedias que han enriquecido el universo de los aliviaderos cubanos (Velazco 1979, 1980d). Entre ellas figura la del citado semiabanico con vertedor en arco que fue diseñado por el autor para la presa Las Canoas, en Nicaragua, con 2 000 m<sup>3</sup>/s y 4,00 m (Velazco 1981b), que se muestra en funcionamiento en la Figura 19 y que como ya se hizo constar, aplicó también de inmediato al Chambas II, en Ciego de Ávila (Velazco 1983b), cuya planta se ilustra en la Figura 20 y cuyo gasto se eleva a 1 580 m<sup>3</sup>/s cuando con una carga de vertimiento de 3,25 m evacua las excedencias de las dos presas del Conjunto Hidráulico Liberación de Florencia.



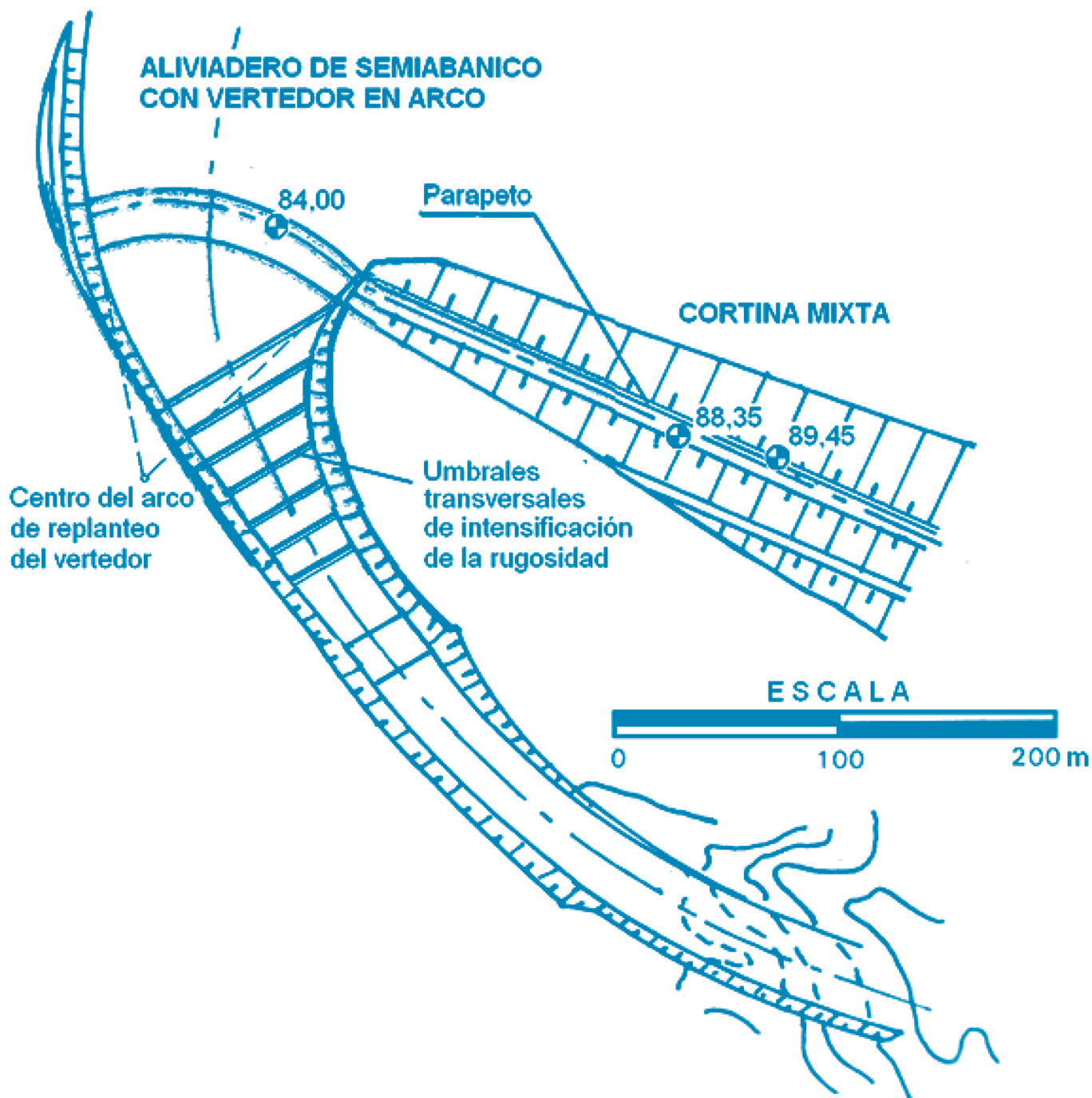
**Figura 19.** Vertimiento por el aliviadero de semiabanico modificado con vertedor en Arco, de la presa Las Canoas sobre el río Malacatoya (Nicaragua).



Otra solución intermedia está representada por los aliviaderos Jaibo, en Guantánamo, y su gemelo Gota Blanca de Santiago de Cuba, en los cuales, como se observa en la Figura 21, el vertedor propio de los semiabánicos se ha alargado mediante un cuarto de elipse para incrementar la longitud de la cresta, lo que conduce a que el tramo colector de entrada deba ser más profundo y adquiera características que acercan su desempeño hidráulico al de los aliviaderos de trinchera.

Para que se comprenda mejor el carácter intermedio del diseño anterior, en las Figuras 22 y 23 se

han ilustrado también otros dos aliviaderos, el Baracoa y el Pinillos, el primero con un vertedor que es también de planta elíptica, pero más alargada aún que la de los dos anteriores, y el segundo con la planta en forma de parábola. Es evidente que ya en estos últimos casos el carácter de las soluciones las convierte en aliviaderos de trinchera (Velazco 1990a, 1990b, 1991b), muy cercanos a los ejemplos clásicos de este tipo (Velazco 1977b), como el Jaruco de la Figura 24, por lo que estas tres estructuras figuran ya por derecho propio en la Tabla 6, que relaciona los aliviaderos de ese tipo construidos en nuestro país.



**Figura 20.** Ubicación de las obras en la presa Chambas II del conjunto hidráulico Liberación de Florencia (Cuba). Cortina:  $L = 2\,404$  m,  $H = 23$  m (en Chambas I:  $L = 1\,300$  m;  $H = 34,35$  m). Aliviadero:  $L = 120$  m;  $H_0 = 3,25$  m;  $Q = 1\,580$  m<sup>3</sup>/s. Obras de toma con compuertas:  $Q = 25,90$  m<sup>3</sup>/s (en Chambas I:  $Q = 22,50$  m<sup>3</sup>/s).



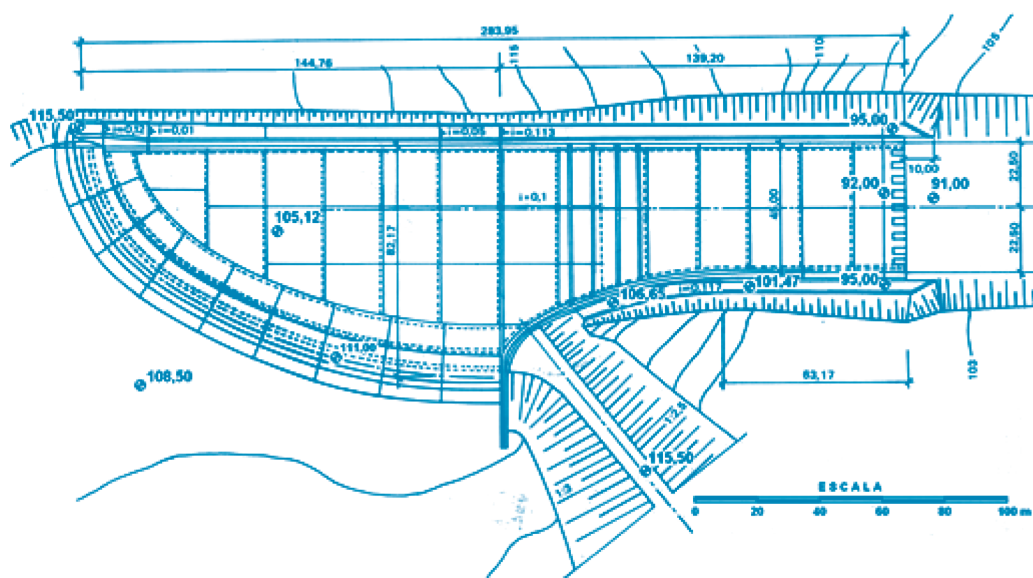


Figura 21. Jaibo: Planta del Aliviadero.

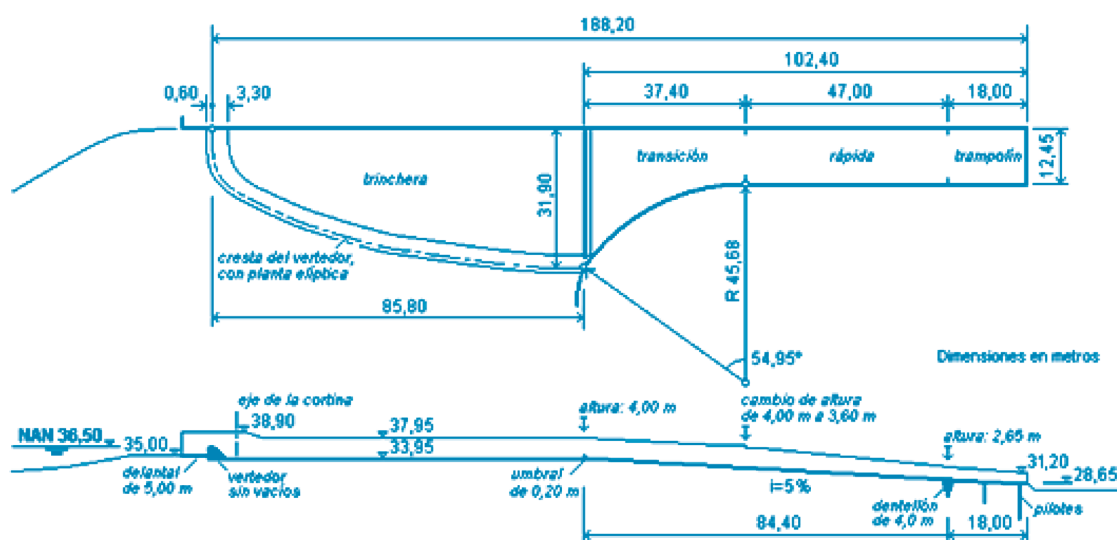
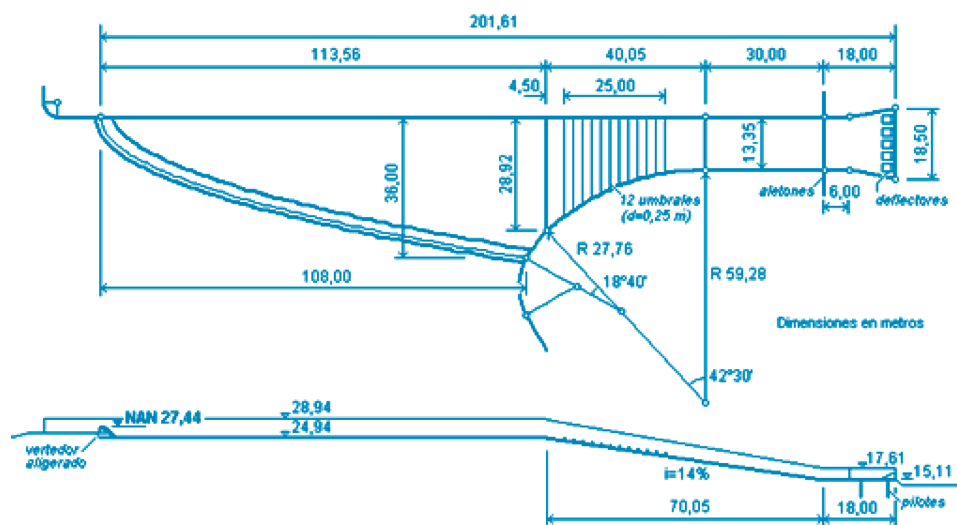


Figura 22. Baracoa: Planta y Perfil del Aliviadero.



Note: En correspondencia con la actualización del NAN a la cota 27,44 msnm, todas las dimensiones altimétricas indicadas en el perfil se han incrementado también en 0,14 m, en comparación con los valores que figuran en el Pasaporte

Figura 23. Pinillos: Planta y Perfil del Aliviadero.







este complejo tema, y que resultaron erróneos o fueron pobremente interpretados (Emtsev 1967, Visotski 1977, Sliski 1979). Esto se evidenció con crudeza con la rotura de tramos de los aliviaderos de compuertas de las presas Gramal y Agabama, en Villa Clara, con inflexiones bruscas al inicio de las rápidas, así como con la destrucción de varias losas en la transición, también de doble curvatura, del aliviadero Viet Nam Heroico, en la Isla de la Juventud, a causa de los desbalances que se provocaron en las solicitaciones estructurales que actuaban sobre ellas. Aunque en el segundo caso el problema fue resuelto operativamente por G. Velichko (1971) incorporando umbrales transversales al piso de la entrada, el funcionamiento hidráulico

de las soluciones de este tipo, que se aprecia claramente en la Figura 25, es sumamente deficiente. El país cuenta con otros aliviaderos de idéntica geometría, como el Briones Montoto insertado en la Figura 26 que acompaña a la anterior, que fue construido también en la Isla de la Juventud, y el de la presa La Coca, en La Habana, que por lo tanto resultan igualmente vulnerables y que enfrentarán riesgos aún mayores con el aumento de los gastos máximos de circulación, salvo que se proceda a tiempo a su apropiada remodelación y a la imprescindible comprobación de laboratorio en un modelo físico, en lo que se ha insistido reiteradamente (Velazco 2006a, 2013c).

Tabla 8. Aliviaderos construidos en Cuba con vertedores rectos o de arco y con entradas no prismáticas, rectas o curvas, sin salto y con flujo en régimen supercrítico (15)<sup>[1]</sup>

| Nº  | Presa                                  | Provincia           | Año  | L [m] | Q [m³/s] | H <sub>o</sub> [m] |
|-----|--|---------------------|------|-------|----------|--------------------|
| 1   | Caunavaco <sup>[4]</sup> (actualizado) | Matanzas            | ---  | 15,0  | 56       | 1,30               |
| 2   | Briones Montoto <sup>[3]</sup>         | Isla de la Juventud | 1968 | 60,0  | 85       | 0,76               |
| 3   | El Jíbaro <sup>[2]</sup>               | Pinar del Río       | 1978 | 40,0  | 213      | 1,80               |
| 4   | Guamá <sup>[4]</sup>                   | Pinar del Río       | 1989 | 19,8  | 278      | 3,19               |
| 5   | Mártires de la Palma <sup>[2]</sup>    | Pinar del Río       | 1975 | 40,0  | 302      | 2,10               |
| 6   | La Coca <sup>[3]</sup> (actualizado)   | La Habana           | 1968 | 100,0 | 302      | 1,55               |
| 7   | Gibara <sup>[4]</sup>                  | Holguín             | 1983 | 40,2  | 309      | 2,40               |
| 8   | La Zarza <sup>[2]</sup> (actualizado)  | La Habana           | 1971 | 70,0  | 323      | 1,72               |
| 9   | Viet Nam Heroico <sup>[3]</sup>        | Isla de la Juventud | 1966 | 143,0 | 329      | 1,10               |
| 10  | Mícara <sup>[4]</sup>                  | Santiago de Cuba    | 1997 | 23,8  | 389      | 3,05               |
| 11  | Ejército Rebelde <sup>[4]</sup>        | La Habana           | 1974 | 125,0 | 1 136    | 2,40               |
| 12  | Hatillo <sup>[4]</sup>                 | Santiago de Cuba    | 1992 | 182,0 | 1 177    | 3,90               |
| 13  | Moa <sup>[2]</sup>                     | Holguín             | 1988 | 45,5  | 1 392    | 6,00               |
| 14  | Carlos M. de Céspedes <sup>[4]</sup>   | Santiago de Cuba    | 1967 | 143,8 | 2 080    | 3,83               |
| 15  | Nipe <sup>[4]</sup>                    | Holguín             | 1977 | 140,0 | 2 100    | 3,50               |
| --- | Derivadora Chambas <sup>[1]</sup>      | Ciego de Ávila      | 1984 | 80,0  | 2 180    | 5,24               |

Notas:

<sup>[1]</sup> La Derivadora Chambas (Liberación de Florencia) no se contempla entre las 15 presas con aliviaderos en régimen supercrítico que forman parte de las 242 presas de la Tabla 1.

<sup>[2]</sup> Vertedor recto y entrada con transición de muros convergentes rectos

<sup>[3]</sup> Vertedor recto y entrada con transición de muros con doble curvatura

<sup>[4]</sup> Vertedor con planta en arco y entrada con transición radial

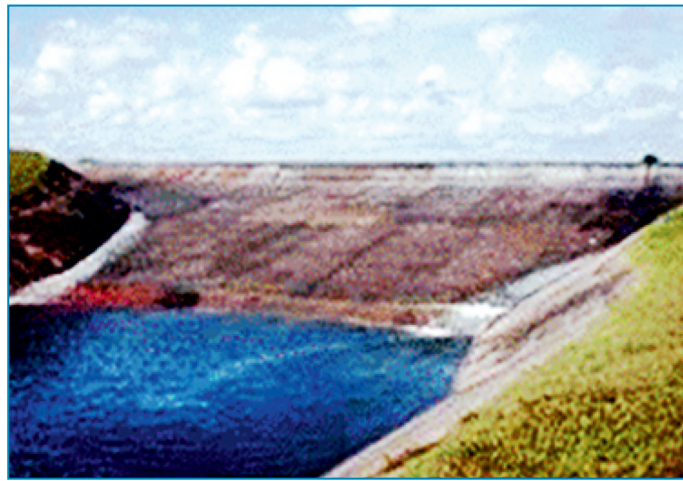
Afortunadamente, las deficiencias anteriores han sido superadas por análisis más efectivos, entre ellos los del autor, que por su sólida fundamentación teórica aseguran el diseño confiable de los aliviaderos con entradas en régimen supercrítico. Al efecto, en la concepción del autor las estructuras de este tipo se construyen con vertedores en arco conjugados con entradas radiales que originan paredes de curvatura variable (Velazco 1985a, 1985b, 1985c, 1986c, 1986d, 1987c, 1992a, 1992b, 1994a, 1994b, 1997, 1999a), una solución que en Cuba tuvo su antecedente más significativo en el aliviadero de la presa Carlos Manuel de Céspedes (El Mate), construido en Santiago de Cuba y que fuera diseñado por vía netamente experimental por V. Liatjer en la antigua URSS en la década de los años sesenta para evacuar un gasto de 2 080 m³/s, y que en fecha más reciente ha sido sometida a modelación matemática en una Tesis de Maestría (Blanco 1996) que contó con la tutoría del autor y en la cual se tomó en consideración la compleja influencia del rozamiento en la formación del flujo en la transición.





**Figura 25.** Aliviaderos de las presas Viet Nam heroico.

A diferencia de los aliviaderos con regímenes subcríticos del apartado anterior, los aliviaderos supercríticos que responden a esta concepción y cuya composición habitual se ilustra en la Figura 27 (ver Velazco 1996b), funcionan sin influencia de la submersión, por lo que poseen apreciables reservas en su capacidad de servicio y pueden por lo tanto comportarse favorablemente en situaciones más críticas que las de diseño. Al mismo tiempo, como ha quedado demostrado (Velazco 1998a, 2006b), la propia esencia de su funcionamiento hace que estas estructuras requieran muy pocas inversiones para su construcción, que serán por lo menos un 30% inferiores a las de otros aliviaderos supercríticos, sobre todo si sus tramos de aproximación se diseñan con arreglo a las particularidades de su funcionamiento (Velazco 1982c); si se equipan a la entrada con vertedores con vacíos como los WES subdiseñados (Chow 1959) o los elípticos (Rozanov 1959, 1985, Kiseliiov 1972), investigados estos últimos por R. Pardo en su Tesis de Doctorado de 1985 con la tutoría del autor (Pardo 1985) para extenderlos a las condiciones de poca altura relativa que predominan en las obras de nuestro país, o preferentemente con los de perfil oval desarrollados por el autor y reseñados en la Parte 1, como se hizo, en consonancia con lo expuesto, en los aliviaderos supercríticos de las presas Paso Viejo y Guamá, ambos de Pinar del Río (de los cuales el primero fue sustituido después por otra alternativa con hormigón compactado con rodillos), Caunavaco en Matanzas, Santa Rita (hoy Hatillo) en Santiago de Cuba, y en muchos otros que figuran en la Tabla 8 (Velazco 1987a, 1987b, 1988, 1989), lo que incluye la actualización del Caunavaco por el autor en el año 2006 y su reproyección en ese mismo año con la colaboración de I. Piñeiro (Velazco 2006c, Velazco y Piñeiro 2006); y por último, si aprovechando la reducida disipación de energía que se logra a lo largo de toda la conducción en estos aliviaderos, su salida se remata coherentemente con trampolines para el lanzamiento del chorro. En la Figura 28 se aprecia claramente la estructura de este

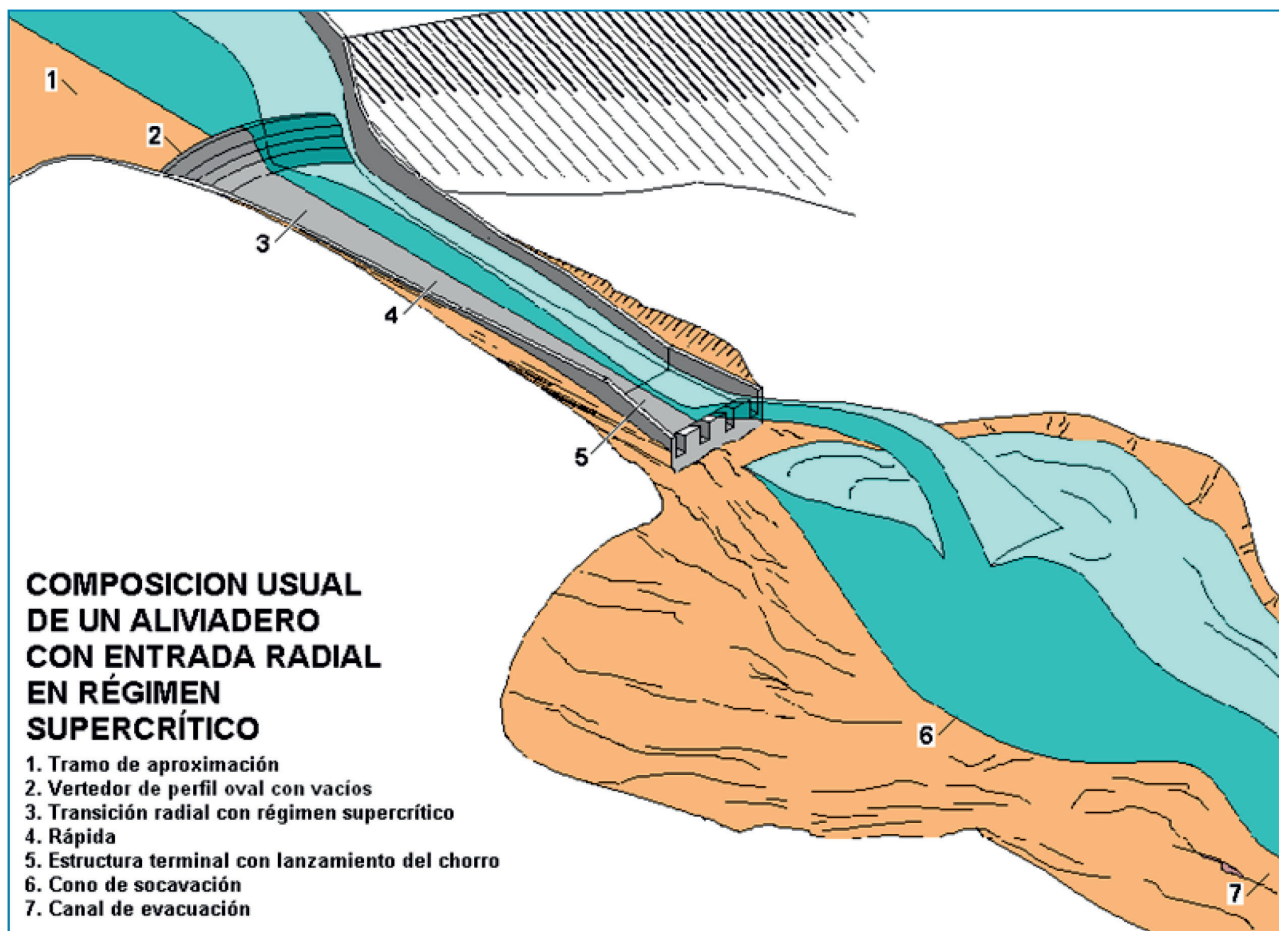


**Figura 26.** Briones Montoto, con entrada supercrítica de doble curvatura (Municipio Especial de Isla de la Juventud).

tipo que fue diseñada por el autor para la Derivadora Chambas (Velazco 1984a), que se ha incluido al final de la Tabla 8 y cuyo vertedor en arco, que evacua  $2\,180\text{ m}^3/\text{s}$  por una cresta de 80 m bajo una carga de 5,24 m, fue trazado con el mayor de los perfiles ovales automáticos construidos hasta el momento, con 9,50 m de altura en su paramento de aguas abajo.

Otra vertiente en el diseño de los aliviaderos no prismáticos y supercríticos ha sido la construcción de vertedores rectos y transiciones convergentes con paredes rectas, como la desarrollada experimentalmente para el aliviadero de cuatro compuertas La Esperanza, en Ecuador (Menéndez 1998) Concebidas por A. Ippen y otros autores (Ippen 1951), ellas se contraponen a las entradas convergentes con régimen subcrítico como las propuestas por A. Shevchenko (1968a, 1968b, Kiseliiov 1972), cuyo diseño ha sido mejorado sustancialmente por el autor (Velazco 2014). Dicha variante aparece representada en Cuba por aliviaderos como los de las presas El Jíbaro y Mártires de la Palma, ambos en Pinar del Río, por el aliviadero de compuertas El Corojo (ver foto en la Figura 7 de la Parte 1 de la contribución), y sobre todo por el de la presa Moa, este último diseñado experimentalmente por R. Santos, que es capaz de evacuar  $1\,392\text{ m}^3/\text{s}$  por un vertedor de tan sólo 45,5 m de longitud, y que en 1989 debió ser sometido a la reproyección de la rápida y el trampolín por el autor y R. Santos (Velazco y Santos 1989). Contando con estos y otros antecedentes, en investigaciones conducidas desde 1996 por L. Rosete con la dirección de E. Alegret (Alegret y Rosete 1996) y que han concluido en años recientes con la Tesis de Doctorado del primero (Rosete 2005), se ha argumentado y caracterizado la ventaja que reporta la colocación de umbrales sobre el piso de las transiciones de estos aliviaderos supercríticos para mejorar su desempeño hidráulico, ya que la geometría de sus fronteras hace que sean especialmente propensas a la formación de saltos oblicuos.





**Figura 27.** Composición usual de un aliviadero con entrada radial en régimen supercrítico. 1. Tramo de aproximación; 2. Vertedor de perfil oval con vacíos; 3. Transición radial con régimen supercrítico; 4. Rápida; 5. Estructura terminal con lanzamiento del chorro; 6. Cono de socavación y 7. Canal de evacuación.



**Figura 28.** Vertimiento por el vertedor oval con vacíos del aliviadero con entrada supercrítica del conjunto hidráulico Liberación de Florencia (Provincia de Ciego de Ávila)  $L = 80$  m;  $H_0 = 5,24$  m;  $Q = 2\,180$  m<sup>3</sup>/s;  $P_1 = 9,50$  m.

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su reconocimiento a todos los que han colaborado de una u otra forma con el acopio de la información que se brinda en la presente contribución, así como con el desarrollo de las investigaciones, estudios, proyectos y otros resultados que se exponen en ella.

## BIBLIOGRAFÍA

- **Aldecoa, A. y E. Velazco (1979)** *La optimización del cabezal en los aliviaderos de abanico*, Foro Científico Técnico, Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana ISCAH, San José de las Lajas.
- **Alegret, E. (1984)** *Generalización de la experiencia de la investigación y la explotación de los aliviaderos superficiales y automáticos del tipo de abanico*, Tesis de Doctorado, Instituto de Mejoramiento Hidráulico de Moscú MGMI, Moscú.
- **Alegret, E. y A. Porto (1975)** *Resultados de las investigaciones sobre los aliviaderos mexicanos*, Revista "Voluntad Hidráulica", INRH, Año XII, no.33, pp.6-12, La Habana.
- **Alegret, E. y L. Rosete (1996)** *Rugosidades artificiales en transiciones lineales*, Memorias del XVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Guayaquil, Ecuador, oct.
- **Blanco, J. (1996)** *Entradas supercríticas de aliviaderos radiales, con influencia de la fricción*, Tesis de Maestría, Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, La Habana.
- **Chow, V. (1959)** *Open-channel hydraulics*, Edición Revolucionaria, La Habana.
- **Design of Small Dams (1987)** Bureau of Reclamation, 3<sup>rd</sup>. edition, Washington D.C.
- **Emtsev, B. (1967)** *Flujos supercríticos bidimensionales en planta*, Editorial Energía, Moscú.
- **Ippen, A. (1951)** *Mechanics of supercritical flow*, High-velocity flow in open channels: A symposium, Transactions, American Society of Civil Engineers, vol.116, pp.268-295.
- **Kiseliov, P. (1972)** *Manual de cálculos hidráulicos*, Editorial Energía, Leningrado.
- **Menéndez, C. (1998)** *Estudio experimental de flujo supercrítico en transiciones de aliviaderos y sus efectos aguas abajo en el canal de descarga de la presa La Esperanza*, Memorias del XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, t.2, pp.559-568, Oaxaca, México, oct.
- **Mortillaro, A. (1973)** *Informe aliviadero La Coronela*, Laboratorio de Modelos Hidráulicos, Archivo DIH, Instituto de Hidroecología, La Habana.
- **Pardo, R. (1985)** *Cimacios elípticos de pequeña altura relativa y vertimiento no regulado: su utilización en la República de Cuba*, Tesis de Doctorado, Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, La Habana.
- **Porto, A. (1975)** *Determinación del gasto transformado para aliviaderos mejicanos*, Revista "Voluntad Hidráulica", INRH, no.36, La Habana.
- **Porto, A. y R. Santos (1977)** *Aliviaderos de semiabanico*, Revista "Voluntad Hidráulica", INRH, no.41, La Habana.
- **Rodríguez, G. (2015)** *Veinticinco Años de una Nueva Etapa en el Desarrollo Hidráulico del País (Parte 2, Principales Proyectos e Investigaciones)*, Revista "Voluntad Hidráulica", INRH, no.112, pp.5-19, mar.
- **Rosete, L. (2005)** *Metodología para el diseño de transiciones supercríticas lineales convergentes utilizando rugosidades artificiales*, Tesis de Doctorado, Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, La Habana.
- **Rozanov, N. (1959)** *Cuestiones del diseño de las estructuras de conducción de agua que funcionan en condiciones de vacío y con altas velocidades del flujo*, Editorial Gosenergoizdat, Moscú y Leningrado.
- **Rozanov, N. (1985)** *Construcciones hidráulicas*, Editorial Agropromizdat, Moscú.
- **Sánchez, J. (1979)** *Behavior of spillways in Mexican dams; contribution to the XIII International Congress on Large Dams, New Delhi 1979*, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM.
- **Shevchenko, A. (1968a)** *Investigación del movimiento del agua en el tramo de entrada con estrechamiento de un aliviadero*, Tesis de Doctorado, Instituto de Viales de Kiev, Ucrania.
- **Shevchenko, A. (1968b)** *Salto hidráulico en un cauce con estrechamiento*, Revista "Hidráulica e Hidrotecnia", no.6, Kiev, Ucrania.
- **Slisski, S. (1979)** *Cálculos hidráulicos de las obras hidrotécnicas de gran carga*, Editorial Energía, Moscú.
- **Ulloa, S. (1956)** *Aliviadero de abanico*, "Construcciones Hidrotécnicas en México", oct. y nov.
- **Vega, M. (1976)** *Evolution of fan spillways in Mexico*, 12do. Congreso del Comité Internacional de Grandes Presas, vol. IV, pp.799-806.
- **Velazco, E. (1974)** *Crítica de los métodos para el diseño hidráulico de los aliviaderos de trinchera*, Conferencia Científica Anual del Instituto de Mejoramiento Hidráulico de Moscú MGMI, Moscú.
- **Velazco, E. (1975a)** *La teoría matemática del punto singular y su aplicación al diseño hidráulico de los aliviaderos de trinchera*, Conferencia Científico Técnica, Instituto de Viales de Moscú.
- **Velazco, E. (1975b)** *Peculiaridades hidráulicas de los aliviaderos en la República de Cuba*, Seminario de Aspirantes "Avances de la Hidrotecnia Mundial", Instituto de Mejoramiento Hidráulico de Moscú MGMI, Moscú.
- **Velazco, E. (1976a)** *Diseño experimental del aliviadero de trinchera Sieverka, región de Moscú*, Instituto de Mejoramiento Hidráulico de Moscú MGMI, Moscú.
- **Velazco, E. (1976b)** *Diseño experimental del aliviadero de trinchera Sharin, República de Uzbekistán*, Instituto de Mejoramiento Hidráulico de Moscú MGMI, Moscú.
- **Velazco, E. (1976c)** *Algunos resultados sobre las investigaciones de los aliviaderos de trinchera*, Conferencia Científica Anual del Instituto de Mejoramiento Hidráulico de Moscú MGMI, Moscú.
- **Velazco, E. (1977a)** *Diseño experimental del aliviadero de trinchera Túnez, República de Túnez*, Instituto de Mejoramiento Hidráulico de Moscú MGMI, Moscú.
- **Velazco, E. (1977b)** *Investigaciones de los aliviaderos de trinchera*, Tesis de Doctorado, Instituto de Mejoramiento Hidráulico de Moscú MGMI, Moscú.
- **Velazco, E. (1978)** *Diseño hidráulico de los aliviaderos de trinchera*, en "Construcciones Hidrotécnicas", por N. Slisski, Editorial Energía, Moscú.
- **Velazco, E. (1979)** *Peculiaridades del aliviadero Chambas*, 2da. Conferencia Científica del Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, La Habana.
- **Velazco, E. (1980d)** *Diseño de aliviaderos de planta curva*, Foro Científico Técnico del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Habana ISCAH, San José de las Lajas.
- **Velazco, E. (1981b)** *Diseño hidráulico e investigación experimental del aliviadero de semiabanico modificado Las Canoas, en la República de Nicaragua*, Laboratorio de Modelos Hidráulicos, Instituto de Hidroecología, La Habana.
- **Velazco, E. (1982c)** *Tamos de aproximación*, Empresa de Hidroecología Habana, Instituto de Hidroecología, La Habana.
- **Velazco, E. (1983a)** *Los aliviaderos del Conjunto Hidráulico Melones: diseño y experimentación*, Serie "Reportes de Investigación", N°2, Dirección de Ciencia y Técnica, Instituto de Hidroecología, La Habana.
- **Velazco, E. (1983b)** *Diseño hidráulico del aliviadero de abanico Chambas II*, Laboratorio de Modelos Hidráulicos, Instituto de Hidroecología, La Habana.
- **Velazco, E. (1984a)** *Diseño e investigación experimental del aliviadero de arco con transición supercrítica para la Derivadora Chambas*, Laboratorio de Modelos Hidráulicos, Instituto de Hidroecología, La Habana.
- **Velazco, E. (1985a)** *Una solución analítica estricta del modelo teórico de Emtsev para el diseño de transiciones*, Primer Evento de Proyectos de Obras Hidráulicas, Instituto de Hidroecología, La Habana.
- **Velazco, E. (1985b)** *Consideraciones sobre el diseño de aliviaderos con régimen supercrítico de circulación*, Primer Evento de Proyectos de Camagüey, Instituto de Hidroecología, Camagüey.
- **Velazco, E. (1985c)** *Solución analítica estricta del modelo teórico de Emtsev para el diseño de transiciones hidráulicas con régimen supercrítico*, Revista "Voluntad Hidráulica", INRH, no.68, La Habana.
- **Velazco, E. (1986c)** *Contribución al diseño teórico de las transiciones supercríticas*, Memorias del XII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, São Paulo.



- **Velazco, E. (1986d)** *Diseño hidráulico de aliviaderos con entrada radial supercrítica*, Memorias del XII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, São Paulo.
- **Velazco, E. (1986e)** *Investigaciones de los aliviaderos de trinchera (Resumen de Tesis de Doctorado)*, Revista "Voluntad Hidráulica", INRH, La Habana.
- **Velazco, E. (1987a)** *Diseño hidráulico del aliviadero Paso Viejo, con entrada radial supercrítica*, Instituto de Hidroeconomía, La Habana.
- **Velazco, E. (1987b)** *Diseño hidráulico del aliviadero radial supercrítico Guamá*, Instituto de Hidroeconomía, La Habana.
- **Velazco, E. (1987c)** *Diseño hidráulico analítico de aliviaderos radiales supercríticos*, Revista "Voluntad Hidráulica", no.74, La Habana.
- **Velazco, E. (1988b)** *Diseño de aliviadero con entrada supercrítica para la presa Caunavaco*, Dirección de Proyectos, Instituto de Hidroeconomía, La Habana.
- **Velazco, E. (1989)** *Diseño hidráulico del aliviadero con transición radial en régimen supercrítico Santa Rita*, Dirección de Proyectos, Instituto de Hidroeconomía, La Habana.
- **Velazco, E. (1990a)** *Aliviaderos de trinchera con sección triangular*, Memorias del XIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Bogotá, Colombia.
- **Velazco, E. (1990b)** *Aliviaderos de trinchera con planta parabólica*, Memorias del XIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Bogotá, Colombia.
- **Velazco, E. (1991b)** *Dos casos particulares de la corriente en los aliviaderos de trinchera*, Revista "Ingeniería Hidráulica en Méjico", México D.F.
- **Velazco, E. (1992a)** *Contribución al cálculo numérico de las corrientes supercríticas radiales con fricción*, 7ma. Conferencia Científica de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, La Habana.
- **Velazco, E. (1992b)** *Peculiaridades de las corrientes supercríticas radiales en pisos con fricción*, Salón Internacional de Arquitectura e Ingeniería SIARIN'92, La Habana.
- **Velazco, E. (1994a)** *Corrientes supercríticas radiales sobre un piso horizontal con fricción*, Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Santiago de Chile.
- **Velazco, E. (1994b)** *Cálculo numérico de corrientes radiales: peculiaridades*, Simposio Iberoamericano "La Computación Aplicada a la Ingeniería Hidráulica y Ambiental", La Habana.
- **Velazco, E. (1996b)** *El SADHI: un sistema que sabe adónde va*, Revista "Voluntad Hidráulica", INRH, no.86, pp.17-22, La Habana.
- **Velazco, E. (1997)** *Una solución económica para el diseño de los aliviaderos*, Conferencia Magistral, III Congreso Internacional sobre Ingeniería Hidráulica, Unión de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción, Holguín.
- **Velazco, E. (1998a)** *Aliviadero de máxima eficiencia y mínimo costo*, Ponencia Destacada de la Comisión de Construcción y Transporte, Forum Nacional de Ciencia y Técnica, La Habana.
- **Velazco, E. (1998d)** *Transiciones hidráulicas con cambios de régimen: (I) Sección singular y criterios energéticos; (II) Transiciones rectas y transiciones-K; (III) Transiciones parabólicas y transiciones de los aliviaderos de abanico*, pp.569-578,579-588,589-598, Memorias del XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Oaxaca, México.
- **Velazco, E. (1999a)** *El diseño teórico de los aliviaderos con entradas radiales en régimen supercrítico de circulación*, Reunión de Especialistas en Hidráulica e Hidrología convocada por el Fondo "Andrés Bello", Cuenca, Ecuador.
- **Velazco, E. (2001)** *Cuantificación preliminar de modificaciones estructurales en los aliviaderos, para su adecuación a los efectos del cambio climático*, V Congreso Internacional de Hidráulica, Unión de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción, Pinar del Río.
- **Velazco, E. (2002)** *Una comparación cuantitativa preliminar de las medidas estructurales de adaptación de los aliviaderos contra los efectos del cambio climático*, Revista "Albear", No.1, Sociedad Cubana de Ingenieros Hidráulicos, La Habana.
- **Velazco, E. (2006a)** *Actualización aliviadero presa La Coca*, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana, La Habana, jul.
- **Velazco, E. (2006b)** *Aliviaderos radiales supercríticos con paredes curvas*, Propuesta de Norma Ramal, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana, La Habana.
- **Velazco, E. (2006c)** *Actualización aliviadero presa Caunavaco*, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana, La Habana, nov.
- **Velazco, E. (2006d)** *Actualización aliviadero presa Mosquito*, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana, La Habana, dic.
- **Velazco, E. (2007a)** *Actualización aliviadero presa La Ruda*, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana, La Habana, ene.
- **Velazco, E. (2008b)** *Actualización aliviadero presa Mampostón*, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana, La Habana, dic.
- **Velazco, E. (2008c)** *Informe-resumen de las Actualizaciones de los Aliviaderos de las provincias Ciudad de la Habana y Habana*, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana, La Habana, dic.
- **Velazco, E. (2010a)** *Resultados del Programa de Protección de Presas contra las crecidas extremas y los huracanes tropicales en el nuevo escenario del cambio climático*, Forum de Ciencia y Técnica, La Habana.
- **Velazco, E. (2011d)** *Pronóstico Endógeno de Avenidas en Embalses: un Procedimiento Inédito para la Mitigación de Riesgos*, V Taller Uso y Cuidado del Agua, Sociedad Económica de Amigos del País y Sociedad Cubana de Ingenieros Hidráulicos, La Habana.
- **Velazco, E. (2013c)** *Vulnerabilidad de las presas La Zarza y La Coca*, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana, La Habana, dic.
- **Velazco, E. (2013d)** *Vulnerabilidad y Mitigación en la Protección de las Presas Cubanas contra los Impactos del Cambio Climático*, Conferencia, Curso de Postgrado de la Sociedad Económica de Amigos del País, La Habana.
- **Velazco, E. (2014)** *Control del salto mediante estrechamientos con paredes rectas*, Capítulo 21 de la monografía en preparación "El Diseño Hidráulico de los Aliviaderos de las Presas", Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería GEIPI, La Habana, ago.
- **Velazco, E. (2015f)** *Acciones para la Protección de Nuestras Presas contra el Cambio Climático: Retos, Soluciones, Generalizaciones y Perspectivas*, Forum de Ciencia y Técnica, jun.
- **Velazco, E. y R. Santos (1982)** *El diseño teórico y experimental de aliviaderos de planta desarrollada curvilínea. Su optimización en las condiciones de la República de Cuba*, Primer Concurso Científico Técnico de la Construcción, Ministerio de la Construcción, La Habana.
- **Velazco, E. y R. Santos (1984)** *Relaciones generalizadas de los aliviaderos de abanico y de semiabanico en la República de Cuba*, Memorias del XI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Buenos Aires, Argentina.
- **Velazco, E. y R. Santos (1985)** *Relaciones y volúmenes generalizados de los aliviaderos de abanico y semiabanico en la República de Cuba*, Revista "Ingeniería Hidráulica", INRH, vol. VI, no.1, La Habana, ene.
- **Velazco, E. y R. Santos (1989)** *Diseño experimental de la remodelación de la rápida y el trampolín del aliviadero Moa, con trampolín escalonado en esviaje*, Laboratorio de Modelos Hidráulicos, Instituto de Hidroeconomía, La Habana.
- **Velazco, E. y C. Buján (2000)** *Sistemas de alerta y prevención y medidas estructurales para la protección de la infraestructura hidráulica en la República de Cuba*, Seminario Internacional "Los Aludes Torrenciales de Diciembre de 1999 en Venezuela", Caracas, Venezuela.
- **Velazco, E. e I. Piñeiro (2006)** *Reproyección aliviadero Caunavaco, Partes Hidráulica y Estructural*, Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana, La Habana, sept.
- **Velischko, G. (1971)** *Investigaciones hidráulicas del aliviadero Viet Nam Heroico*, Laboratorio de Modelos Hidráulicos, INRH, La Habana.
- **Visotski, L. (1977)** *El control de los flujos supercríticos en los aliviaderos*, Editorial Energía, Moscú.

La Habana, enero de 2016 

### RESUMEN

La visión en torno al suministro del recurso agua fundamentada en la Política Nacional del Agua establece que *“en Cuba se gestiona el agua de forma integrada a escala de la sociedad, la economía y el medio ambiente, proporcionando desarrollo sostenible y seguridad a la nación”* (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), 2012). La gestión integral del recurso, deberá pasar por una correcta administración y planificación desde la cuenca. En este sentido, la elaboración de los Planes de Ordenamiento Territorial de las cuencas, es aún insuficiente para hacer prevalecer el concepto y la práctica de que éstos constituyen el instrumento fundamental de su gestión sostenible. En este resultado influye la inexistencia del planeamiento hidráulico, actividad vital para el propósito (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), 2012). El presente artículo enumera diferentes herramientas para el planeamiento y evaluación del agua por cuencas proponiendo para Cuba el modelo de gestión integral de los recursos hídricos WEAP (*Water Evaluation And Planning system*) teniendo como base la investigación en curso sobre la aplicación de este Modelo de gestión en la Cuenca Vento.

### PALABRAS CLAVES

Modelos de Gestión, WEAP, Cuenca Vento.

### 1. INTRODUCCIÓN

La gestión integrada del recurso agua, a través de programas de Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, ha venido a dar una visión holística de la problemática del agua en el mundo por los conceptos eco-sistémicos que ha venido tratando. Con ello se aportan soluciones a través de estrategias que ven en la unicidad de los procesos de la naturaleza y la intervención del hombre; que dan como resultado final un desarrollo sostenible en el tema de los recursos hídricos.

El contar con herramientas de gestión que contengan procedimientos de análisis hidrológicos, registro de mediciones, reglas de asignación de recursos hídricos, etc. facilita la gestión desde una perspectiva integral de los recursos hídricos y además permite mantener informada a la población respecto al uso del recurso hídrico proporcionando

<sup>1</sup> Yoany Sánchez Cruz\*; Odalys Méndez Valdez\*; Francisco Flores-López\*\* y Armando Hernández Valdez\*\*\*. \*Empresa Aguas de La Habana, INRH-Agbar, La Habana, Cuba. Teléfono 7-643 49 50 yoany@ahabana.co.cu, omendez@ahabana.co.cu; \*\*Stockholm Environment Institute, U.S. Center, Davis, CA, US. Teléfono +1 50 753 3035. Francisco.Flores@sei-us.org; \*\*\*Centro de Investigaciones Hidráulicas, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de La Habana (ISPJAE). La Habana, Cuba. ahernandez@cih.cujae.edu.cu



transparencia. Los modelos de gestión integral son una herramienta analítica adecuada para representar la realidad de manera simplificada (Figueroa, Herrera, & Vallejos, 2013). Los modelos y las herramientas para la toma de decisiones se basan en los conjuntos de datos de los sistemas de gestión de información de cuenca (Figueroa, Herrera, & Vallejos, 2013)

Dentro de los 11 subprogramas para el Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas llevados a cabo por el Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (CNCH), se define la planeación y gestión del uso del agua a nivel de cuenca. La cobertura de agua potable para la población en las cuencas de interés nacional es de alrededor de un 84,8% con conexión domiciliaria o de fácil acceso (García Fernández, Herrera, López González, Aballí, Castro Enjamino, & Bients Perdomo, 2010)

Se ha identificado que la elaboración de los Planes de Ordenamiento Territorial de las cuencas, es aún insuficiente para hacer prevalecer el concepto y la práctica de que estos planes constituyen el instrumento fundamental de su gestión sostenible. En este resultado influye la inexistencia del planeamiento hidráulico, actividad vital para el propósito (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), 2012).

La planificación y gestión son procesos que buscan soluciones a problemas y necesidades fomentando acciones para satisfacer metas y objetivos. En la planificación de cuencas hidrográficas el objetivo es proporcionar alternativas para la toma de decisiones, así como para el uso y gestión de los recursos de agua y tierra manteniendo el equilibrio holístico de la integralidad y sustentabilidad

Constituye prioridad para el gobierno Cubano gestionar el agua como recurso indispensable y motor impulsor para el desarrollo sostenible de la nación. Esto después de cubrir las demandas de la sociedad a partir de su relevancia para la vida de las personas y de los otros seres vivos (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), 2012).

A través de este artículo se sientan las bases bibliográficas sobre diferentes herramientas para el planeamiento y evaluación del agua por cuencas proponiendo como herramienta fundamental para Cuba el uso del modelo WEAP (Water Evaluation And Planning system), teniendo como base una investigación que está en curso sobre la aplicación del WEAP a la Cuenca Almendares-Vento.

## 2. Los Modelos de Simulación como alternativa de planificación y evaluación de recursos hídricos

La creciente complejidad en el manejo de los recursos hídricos ha motivado el desarrollo de herramientas de modelación que facilitan el análisis de su comportamiento y su gestión integral. Estos modelos, que se han definido como Sistemas de Soporte de Decisión (SSD), se han venido desarrollando en las últimas décadas (Universidad de Cantabria-Consejería Medio Ambiente, 2002).

Es importante destacar el desarrollo que ha venido teniendo esta tendencia para la planeación y gestión del agua con un enfoque eco-sistémico, a través de cuencas hidrográficas. Las tendencias actuales están orientadas hacia la integración de modelos de simulación para predecir escenarios futuros a través de la implementación de SSD.

Un SSD es un sistema computacional integrado e interactivo, constituido por herramientas de análisis y de gestión de información, construido para apoyar la toma de decisiones en la solución de problemas no estructurados de grandes dimensiones (Ribeiro, 2009)

Resultaría importante comenzar a ver y comprender la gestión de Cuencas a través de Sistemas Inteligentes (Figura 1) que vayan homogenizando conceptos de geo-hidro-informática, a través de la hidráulica geo-espacial, los conceptos de la Gestión Integral de Cuencas y la interacción con los diferentes Usuarios para lograr SSD más efectivos que respondan a necesidades objetivas del desarrollo económico-social de un país.

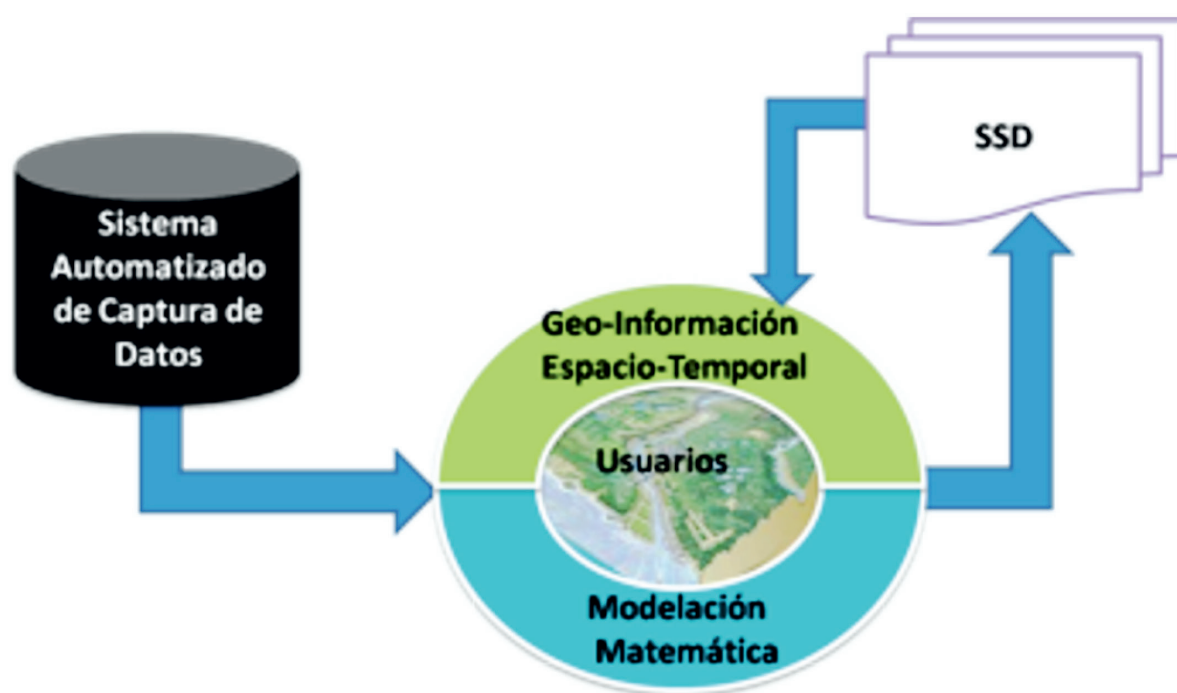
Los modelos de simulación son parte importante de estos sistemas para lograr establecer escenarios futuros que contribuyan a establecer horizontes en la gestión y contribuyan a construir sistemas resilientes.

Un modelo de simulación debe permitir la representación del fenómeno en el sistema real a un plano abstracto. Su clasificación puede realizarse según su información de entrada, el tipo de representación, su aleatoriedad o según su aplicación.

## 3. Modelos más usados para la administración y evaluación de los Recursos Hídricos.

El Proyecto de Asistencia Técnica: “*Estudio de Balance Hídrico de Cuenca Alta del río Apurímac hasta la confluencia con el río Salado (EBHICA)*” del

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (UNOPS) realizó una comparación entre importantes softwares de administración y evaluación de los Recursos Hídricos (UNOPS-PNUMA, 2013).



**Figura 1.** Sistemas Inteligentes para la Gestión de Cuencas Hidrográficas.

Los modelos comparados en el estudio fueron: Aquatool, HEC HMS, HEC-ResSim, MIKE SHE, River Ware, WEAP, WMS

### 3.1. AQUATOOL

AQUATOOL es un modelo desarrollado íntegramente en España por la Universidad Politécnica de Valencia. Es un interface o entorno de trabajo para el desarrollo y análisis de sistemas de ayuda a la decisión en planificación y gestión de cuencas. Como entorno de trabajo proporciona acceso directo a otros programas que realizan funciones específicas relacionadas con el análisis de la gestión de una cuenca. Todos estos programas son integrados y coordinados con este interface haciendo que el usuario pueda manejarlos todos sin notar que está cambiando de programa (Solera A., Paredes J., Andreu J., 2015).

Los principales programas gestionados desde AQUATOOL+ son los siguientes:

- Módulo SIMGES simula la gestión de cuencas incluyendo utilización conjunta.
- Módulo OPTIGES optimiza la gestión de cuencas.
- Módulo GESCAL simula la calidad de aguas a escala de cuencas Módulo SIMRISK es utilizado en la simulación múltiple de la gestión de sistemas y cálculo de riesgos en la gestión.

### 3.2. HEC HMS

HEC HMS es un modelo desarrollado por el US Army Corps of Engineers, USA. HMS es un programa que calcula el hidrograma de la cuenca a partir de los datos de la misma y la lluvia.

Permite establecer varias subcuencas. El Programa realiza los cálculos en cuatro fases (Sánchez F.J., 2015):

- Separación de la lluvia neta (¿qué parte de la precipitación caída va a generar escorrentía?)
- Escorrentía directa producida por la precipitación neta.
- Suma de la escorrentía directa y básica. Calcula la evolución de la escorrentía básica a lo largo del tiempo.
- Calcula cómo evoluciona el hidrograma a medida que discurre a lo largo de un cauce o a través de un depósito o embalse a lo cual se denomina “tránsito de hidrogramas”

### 3.3. ResSim

El desarrollo del modelo Reservoir System Simulation (ResSim) ha estado a cargo del Hydrologic Engineering Center's Next Generation (NexGen) Software Development Project. La aplicación y la documentación pueden descargarse libremente



desde la página web del Hydrologic Engineering Center ([www.hec.usace.army.mil/](http://www.hec.usace.army.mil/)).

HEC-ResSim facilita la simulación del control de avenidas y de la gestión de un sistema complejo de embalses. Esta aplicación sustituye la versión HEC5 y forma parte de la familia de modelos desarrollados por el HEC-USACE para la modelación y análisis de cuestiones hidrológicas e hidráulicas relacionadas con la gestión integral de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos (HEC-HMS, HEC-RAS, HEC-FDA, entre otros) (Bianucci S.P., 2013).

### 3.4. MIKE SHE

MIKE SHE ha sido desarrollado originalmente por tres organizaciones europeas: Danish Hydraulic Institute, British Institute of Hydrology y la Compañía consultora francesa SOGREAH en el año 1977. El centro de altos estudios DHI ha tomado el desarrollo y la investigación de este software llevándolo a niveles superiores (Frana A. S., 2012).

MIKE SHE es una de las pocas herramientas de modelización integrada de aguas Superficiales/ acuíferos. El modelo incluye modelos de procesos para flujo superficial, flujo en zona no saturada, evapotranspiración basada en la vegetación, flujos subterráneos, y flujo en canal totalmente dinámico.

Es un marco de modelización modular que incluye tanto procesos simples como los procesos más avanzados. Esto permite resolver los problemas dentro de un amplio espectro hidrológico, desde estudios detallados de humedales a estudios de gestión de los recursos hídricos a escala de cuenca (Frana A. S., 2012).

### 3.5. RiverWare

RiverWare fue desarrollado por el Centro de Apoyo Avanzado para las decisiones sobre los sistemas medioambientales e hidrológicos de la Universidad de Colorado. Es un modelo de optimización y simulación de cuencas y depósitos utilizados para evaluar la política operativa, la optimización del sistema, la contabilidad del agua, la administración de los derechos sobre el agua y la planificación de recursos a largo plazo (<http://cadswes.colorado.edu/riverware/>).

RiverWare incorpora un gran conjunto de herramientas para la definición de las reglas de funcionamiento del sistema, obtención de resultados, etc. RiverWare, a diferencia de MODSIM, permite definir multitud de elementos diferentes constitutivos

del sistema hidráulico (tuberías, canales, trasvases bidireccionales, embalses, aprovechamientos hidroeléctricos, etc.).

### 3.6. WEAP

El Modelo WEAP fue creado en 1988, con el objetivo de ser una herramienta de planeación flexible integral y transparente para evaluar la sustentabilidad de los patrones actuales de demanda y suministro de agua, y explorar escenarios alternativos de largo alcance.

WEAP fue creado y hasta la fecha es mantenido por el Stockholm Environment Institute US Center (SEI US), recibiendo apoyo financiero del US Army Corps of Engineers, además de aportes de un sin número de instituciones como la EPA de los Estados Unidos, el Water Research Foundation y el Global Infrastructure Fund of Japan. WEAP se ha aplicado en cuencas hidrográficas de 180 países alrededor del mundo contando con casi 22,000 usuarios registrados en el foro de WEAP (<http://www.weap21.org/index.asp?action=116>).

WEAP utiliza un enfoque integrado para la evaluación y planificación de recursos hídricos a través de una estructura transparente que facilita la participación de los actores involucrados en un proceso abierto. Una base de datos mantiene la información de demanda y suministro para manejar el modelo de balance de masa en una arquitectura de nodo-enlace (Yates et al., 2005<sup>a</sup>; Yates et al., 2005b).

### 3.7. WMS

Watershed Modeling System (WMS) (Ilustración 8) fue creado bajo el auspicio de AQUAVEO, USA. WMS proporciona una solución eficaz y exacta a los problemas hidrológicos presentes en una cuenca ([www.aquaveo.com](http://www.aquaveo.com)).

Posee conexiones con herramientas GIS, adquisición de Datos vía Web, herramientas para la importación y edición de datos de uso de suelos, delineación automática de líneas de flujo y procesos hidrológicos, Modelado paso a paso de procesos en la cuenca, mapeo y modelado de flujo, modelado de tormentas, integración con software de cálculo y exportación a Google<sup>TM</sup> Earth (<https://www.fhwa.dot.gov>).

## 4. Comparación de Modelos

En la comparación realizada por (UNOPS-PNUMA, 2013) los criterios de evaluación fueron:

- 1) Características operativas adecuadas para el estudio;
- 2) Fortaleza del Modelo
- 3) Capacidad de representación de procesos físicos;
- 4) Vinculación con modelos de gestión y optimización de recursos hídricos;
- 5) Interface amigable y vinculación con otros modelos;

- 6) Soporte técnico al usuario
- 7) Experiencia internacional en cuencas similares
- 8) Costo de la licencia del modelo

Se realizó una tabla comparativa entre modelos y los resultados reportados se presentan en la Figura 2. UNOPS concluyó que el modelo más adecuado en base a los diferentes criterios de evaluación es WEAP.

| Modelo         | Características operativas     | Procesos físicos  | Interfaz gráfica | Vinculación con otros modelos | Soporte |
|----------------|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|---------|
| AQUATOOL (7)   | Modelo agregado                | Completo          | Buena            | Limitada                      | Mediano |
| HEC-HMS (5)    | Modelo de eventos, distribuido | Bastante completo | Buena (externa)  | Limitada                      | Mediano |
| HEC-ResSIM (6) | Modelo agregado                | Bastante completo | Buena            | Limitada                      | Mediano |
| MIKE SHE (7)   | Modelo distribuido             | Completo          | Excelente        | Buena                         | Bajo    |
| RiverWare (7)  | Modelo agregado                | Completo          | Buena            | Buena                         | Bajo    |
| WEAP (9)       | Modelo agregado                | Completo          | Muy buena        | MOD-FLOW                      | Alto    |
| WMS (8)        | Modelo de eventos              | Completo          | Excelente        | Buena                         | Bajo    |

Figura 2. Tabla comparativa entre modelos. Fuente: (UNOPS-PNUMA, 2013)

Cada uno de los modelos analizados tiene sus ventajas y desventajas desde el punto de vista de la aplicación y la generalización. Lograr que un modelo refleje lo más posible la realidad a través de una interpretación física de los fenómenos que suceden en una Cuenca Hidrográfica, así como que sea capaz de devolver la interpretación mediante una interfaz amigable, lo convierten en una opción elegible. La interoperabilidad entre modelos de diferentes salidas es sumamente importante para lograr una integración lo más cercana posible a los procesos naturales. De igual manera, la disponibilidad en cuanto a licencias operativas, es muy importante para países subdesarrollados o en vías de desarrollo.

Para las condiciones de Cuba, atendiendo a las prestaciones de cada uno de los modelos analizados bibliográficamente, así como su disponibilidad en cuanto a comerciales, libres o con licencias parciales para investigación, las posibles aplicaciones en función de las características hidrogeológicas de las Cuencas en Cuba con posibles integraciones a MODFLOW, además de las iniciativas para desarrollar el tema a partir de proyectos Nacionales ( (PNUD-Cuba, 2008), (CITMA-IGT, 2014), (CUBAENERGIA, 2012)) se concluye que el más idóneo para desarrollar el tema de la modelación matemática en el campo de la administración y el planeamiento del agua por cuencas en Cuba, es el WEAP.

## 5. Entendiendo a WEAP

WEAP es una herramienta para el manejo integral de los recursos hídricos (Figura 3). A través de sus procedimientos se realizan modelos de predicción de la demanda contribuyendo a prácticas sustentables de



Las capacidades de WEAP son también utilizadas en análisis de políticas del sector energético en el contexto del Nexo Agua-Energía, así como en sus proyecciones y análisis a futuro (Flores-López F., Yates D., 2013); (Yates, D., Averyt, K., Flores-López, F., Meldrun, J., Sattler, S. Sieber, J, Young, C., 2013). Los modelos hidrológicos implícitos en sus procedimientos son utilizados para modelar cambios en este sentido, así como en los usos de suelo que puedan producir cambios en las demandas de los usuarios.

Las descargas de aguas residuales, industriales y domésticos generan un gran impacto en el ciclo natural del agua en una cuenca, WEAP contribuye a evaluar estos impactos y brinda posibles soluciones de manera integral, de la misma manera se incluyen modelos de ciclo de vida y base de datos de ecosistemas así como planeamiento de nuevas infraestructuras, transporte de contaminantes y

Su marco analítico se basa en la definición de la problemática y la evaluación de opciones (Purkey, 2013). Los factores inciertos (incertidumbres) que salen del control de los tomadores de decisiones, administradores del recurso hídrico y de los usuarios del agua, en conjunto con opciones y estrategias para la gestión del recurso hídrico que incluyen planes de gestión actual y estrategias de gestión potenciales (*Estrategias de Gestión y Paquetes de Respuesta*) son canalizados a través del desarrollo de escenarios para estimar las medidas de desempeño o indicadores de funcionamiento. Todo esto en función de las estrategias y bajo escenarios específicos, obteniendo, de esta manera, los resultados de interés y criterios de evaluación para valorar los beneficios de los usuarios del agua (*Medidas de Desempeño*).

WEAP puede operaren diferentes pasos de tiempo (diario, semanal, mensual, anual o cualquier otra combinación). En cada paso de tiempo toda el agua que entra al sistema, por ejemplo en un mes (caudales de cabecera, recarga del acuífero o escurriente), es almacenada en un acuífero o en un embalse, o simplemente deja el sistema al fin de

cada periodo mensual (por ejemplo el caudal de salida de un río, demandas consuntivas, evaporación de embalses o ríos). Dado que la escala de tiempo puede ser relativamente extensa (por ejemplo mensual), se asume que todos los flujos ocurren de manera instantánea (CGC-Univ. Católica de Chile-SEI, 2009)

La plataforma de modelación, como herramienta para la planificación de recursos hídricos, incluye un modelo de balance hídrico para representar los procesos hidrológicos dentro de un sistema de cuencas (Flores-López, F., Galaitsi, S. E., Escobar, M. And Prkey, D., 2016) (Yates, D; Purkey, D; Sieber, J; Huber-Lee, A; Galbrith, H, 2005a) (Yates, D; Purkey, D; Sieber, J; Huber-Lee, A; Galbrith, H, 2005b).

Este algoritmo permite representar el comportamiento del balance hídrico desde las precipitaciones en la cuenca aguas arriba con características fisiográficas de montaña, con pendientes escarpadas a muy escarpadas y valles en forma de V, con su contribución al flujo subterráneo, demostrando de esta manera su interacción y relación con pérdidas por infiltración. Se trata de un modelo cuasi-físico unidimensional que puede utilizarse a diferentes pasos de tiempo como recientemente se aplicó en un paso de tiempo diario para la modelación del comportamiento de los páramos bajo condiciones de cambio climático en Perú (Flores-López, F., Galaitsi, S. E., Escobar, M. And Prkey, D., 2016)

La interface gráfica, tiene en cuenta diferentes elementos como los ríos, elementos construidos y otros componentes de interés a lo largo del río, entre ellos, los sitios de demanda (*DemandSites*) que representan los sitios de demanda a los que se les ha otorgado concesiones de agua como centros poblados o sistemas de riego, por ejemplo; así mismo, se encuentran las sub-cuencas (*Catchments*) que representan las áreas de captación a lo largo de las corrientes, a los que se les suministra la información climatológica y de usos de suelo correspondiente para la simulación.

El procedimiento de aplicación WEAP comienza con la definición del área de estudio y la búsqueda de información necesario para desarrollar el modelo a través del establecimiento de los horizontes en el tiempo, los límites espaciales, los componentes del sistema y la configuración de problema. La calibración es un proceso importante para establecer una línea base que forme parte de los escenarios de modelación y brinden resultados lo más cercano posible a la realidad, para ello se elabora un panorama de la demanda de aguay suministros reales para el sistema.

El análisis de escenarios es primordial en WEAP. Se utilizan para explorar en el modelo con una enorme gama de preguntas tipo “¿qué pasaría si...?”, como por ejemplo (Water Evaluation and Planning (WEAP), 2015):

- ¿Qué pasaría si los patrones de crecimiento poblacional y desarrollo económico cambiaran?
- ¿Qué pasaría si se alteraran las reglas de operación de los embalses?
- ¿Qué pasaría si se aumentara la explotación de las fuentes de agua subterránea?
- ¿Qué pasaría si la conservación del agua fuera introducida?
- ¿Qué pasaría si los requerimientos de los ecosistemas fueran más estrictos?
- ¿Qué pasaría si se estableciera un programa de uso conjuntivo para almacenar exceso de agua superficial en acuíferos subterráneos?
- ¿Qué pasaría si se implementara un programa de reciclaje de agua?
- ¿Qué pasaría si se implementaran técnicas más eficientes de riego?
- ¿Qué pasaría si el patrón de cultivos agrícolas cambiara?
- ¿Qué pasaría si el cambio climático alterara la demanda y suministro de agua?
- ¿Cómo la contaminación aguas arriba afecta la calidad aguas abajo?
- ¿Cómo los cambios en el uso del suelo afectarán la escorrentía?

Basado en estas interrogantes WEAP opera para dar respuesta a estas preguntas que consideran el uso del balance hídrico, la generación de escenarios y de análisis de política en el sector. El modelo WEAP efectúa un balance de masa tanto para el agua como para los elementos de contaminación, para cada nodo uniéndolo al resto del sistema en cada paso de tiempo.

## 6. Referencias de WEAP en estudios de gestión y administración de recursos hídricos

El modelo se ha aplicado a complejos sistemas de cuencas en España, Italia, Alemania, Líbano, Israel, Egipto, Etiopía, Benin, África del Sur, China, India, Estados Unidos, México, Guatemala, Perú y Chile, entre muchos otros (Escobar, Lima, Purkey, Yates, & Forni, 2013)



El sitio web <http://www.weap21.org> muestra una historia bibliográfica (2016-1992) de publicaciones científicas de alrededor de 270 contribuciones (61% de los últimos 5 años) de la utilización del modelo WEAP para resolver problemas de gestión racional del agua, escenarios de cambios climáticos y cambios de demandas, así como aspectos de gestión económica en escenarios de cuencas con diferentes características hidrogeológicas y de explotación.

Merece reconocer que dichas publicaciones son referenciadas por prestigiosas revistas como son el caso, entre otras, *Journal of Water Resources Planning and Management*, *Journal of Water and Climate Change International Journal of Modern Engineering Research*, *Environmental Research Letters*, *Water*, *Environmental Sustainability*, etc.

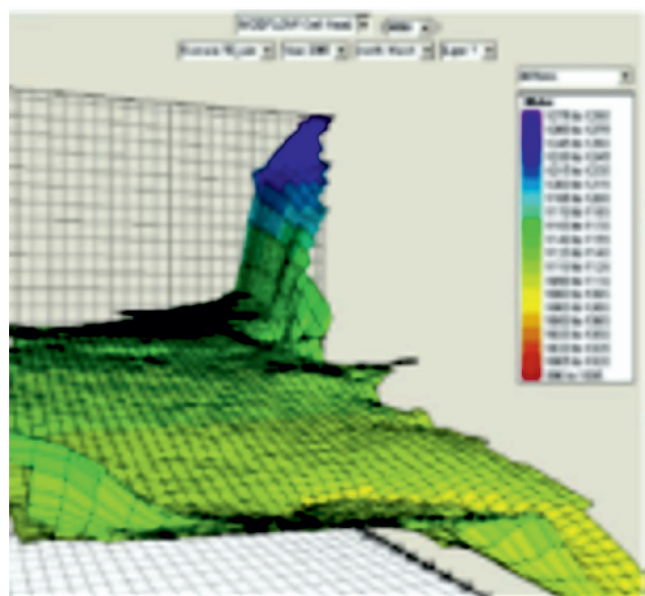
Una de las más importantes referencias consultadas lo constituye "WEAP-MODFLOW as a Decision Support System (DSS) for integrated water resources management: Design of the coupled model and results from a pilot study in Syria" (Maßmann, y otros, 2010). A través del SSD se modela el manejo y operación de la cuenca Zabadani en Syria donde la fuente más importante de abasto lo constituye reservas de agua subterránea que corren riesgos de sobreexplotación y salinización. La recarga subterránea y la razón de las extracciones son modelados por WEAP, estos datos son las condiciones

de frontera para MODFLOW que calcula los puntos de extracción, los volúmenes y el flujo en el sistema subterráneo, regresando como valores de entrada a WAEP.

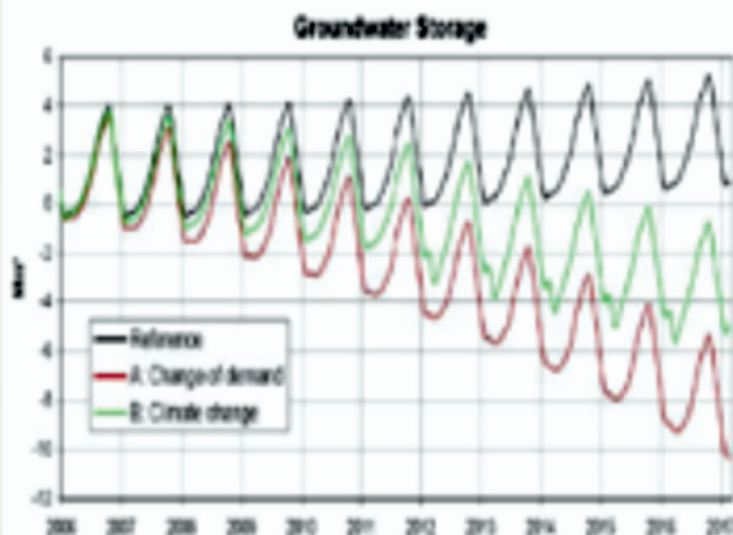
WEAP fue utilizado para construir el modelo de planeamiento y evaluación para cuando estuviera completado conectarlo con MODFLOW.

Los resultados estuvieron basados en modelaciones para condiciones de explotación de la cuenca mediante extracciones subterráneas, a partir de escenarios de extracciones en la fuente y posibles variaciones considerando la actividad humana (crecimiento poblacional, urbanización, demanda doméstica), agricultura (uso de suelos, tipo de cultivo, prácticas de riego), impacto del clima (modelos de cambio climático, ciclos regionales del clima), características de la red (pérdidas y límites de la red de distribución, características de los campos de pozos y profundidades de los niveles) y recursos alternativos (recargas artificiales y re-uso de agua regenerada).

El proyecto realizado a través de un DSS con la vinculación WEAP-MODFLOW dio como resultado gráficos (Figura 4), mapas y tablas (niveles hidráulicos, balances de agua, etc.), así como un soporte para la toma de decisiones a altos niveles de dirección a partir de la generación de escenarios.



a)



b)

Figura 4. Resultado del DSS WEAP-MODFLOW, a). Niveles hidráulicos de la cuenca Zabadani, Syria; b). Comparación de escenarios. Fuente: (Maßmann, y otros, 2010) Esquema

En este caso, gracias al acople WEAP-MODFLOW, las reacciones en la dinámica del agua subterránea son sincretizadas en tiempo y espacio pudiendo ser predecidas y evaluadas para la cuenca de estudio. Los resultados se utilizaron en zonas como Morocco, Tunisia, Palestina, Syria y Jordania.

## 7. WEAP en Cuba

Aún cuando WEAP no se ha referenciado en Cuba, sí es conocido por varios especialistas de diferentes instituciones científicas del país que tiene la intención de utilizar sus potencialidades para balances de agua (A. Fernández, comunicación personal. 3 febrero 2015), proyectos de medio ambiente, planeamiento territorial y uso sostenible de los recursos naturales y adaptabilidad al cambio climático (E. Meneses, comunicación personal. 20 de enero del 2015, E. Plano, comunicación personal. 21 de enero 2015), y para la sostenibilidad alimentaria local (López T., comunicación personal. 25 de enero 2015).

Algunos proyectos nacionales si prevén su uso, por ejemplo, el proyecto para reforzar la capacidad técnica e institucional de Cuba para la implementación de sus compromisos bajo la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CM-NUCC) cuyo objetivo fundamental es la contribución a integrar y sintetizar los conocimientos y la información relativa al Cambio Climático y su vínculo con las prioridades del desarrollo sectorial y territorial (PNUD-Cuba, 2008)

Por otra parte, está en marcha el proyecto BASAL (CITMA-IGT, 2014) que tiene como principal objetivo apoyar la adaptación al cambio climático, contribuyendo al desarrollo socio-económico continuado y sostenible en Cuba reduciendo las vulnerabilidades relacionadas con el cambio climático en el sector agrícola a nivel local y nacional.

Dicho proyecto plantea el apoyo mediante WEAP para lograr sus objetivos y recomienda sensibilizar a gestores del INRH sobre la utilidad del modelo WEAP como herramienta en la toma de decisiones y para la gestión del agua en Cuba.

Como parte del desarrollo de la Tesis en opción al Grado Científico de Máster en Manejo Integral del Agua en su 5ta Edición del Centro de Investigaciones Hidráulicas de la Cujae, se encuentra en progreso la Investigación “*Planeamiento y evaluación de la cuenca Almendares-Vento mediante el Modelo de Simulación Water Evaluation And Planning system (WEAP)*” que se traza como objetivo fundamental realizar el modelo conceptual de evaluación y planificación del agua (WEAP), para fortalecer el análisis integrado de gestión a través de la simulación de escenarios futuros que influyan en el abasto de agua a La Habana desde la cuenca Almendares-Vento.

Se cuenta con una Licencia para Investigación proporcionada por el SEI US para apoyar el mencionado proyecto y la tutoría del Dr. Francisco Flores-Lopez del Stockholm Environment Institute,

U.S. Center. Es de importancia indicar que el modelo WEAP así como su licencia de uso es gratis para instituciones de gobierno, educación, investigación y sin fines de lucro en países subdesarrollados incluyendo Cuba.

## 8. Conclusiones

Se hace necesario, para las condiciones de Cuba, la utilización de planes integrales de evaluación y planeamiento del agua por cuencas. La modelación matemática y la generación de escenarios futuros contribuyen a evaluar el recurso y preparar planes de contingencia ante el reconocimiento de riesgos potenciales para los diferentes usos del agua. Planificar, antes de enfrentar, ayuda a economizar recursos financieros y humanos, haciendo de la gestión del agua una actividad sostenible y sustentable.

Aun cuando la generación de escenarios como alternativa para la evaluación y planificación del agua es conocida en Cuba, no se cuenta con experiencias publicadas aunque si es reconocida como una importante herramienta por parte de especialistas en la materia.


WEAP ha sido estudiado por instituciones en Cuba como principal software para resolver los problemas de administración del agua para sus diferentes usos. Su capacidad para generar escenarios y sus características híbridas para conectarse con otros importantes modelos, lo hacen ideal para ser explotado. De la misma manera, su accesibilidad en cuanto a Licencias para centros de investigación y entidades públicas, lo convierten en una opción económicamente viable.

Es importante aclarar que constituye un papel trascendental para las cuestiones de modelación, evaluación y planeamiento, la calidad, cantidad y accesibilidad de los datos, aspectos en los cuales se hace necesario trabajar para las condiciones cubanas.

## Bibliografía

- Bianucci S.P. (2013). *Gestión óptima de Embalses en Avenidas incorporando el concepto de incertidumbre. Aplicación a Embalses con central hidroeléctrica*. Madrid: Departamento de Ingeniería Civil: Hidráulica y Energética. E.T.S. I. Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.
- Blanco, I. (2010). “*Economic-hydrologic analysis of water management strategies for balancing water for nature and water for food. Implications for the Gudian River Basin, in Spain*”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Economía y



- Ciencias Sociales Agrarias. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- CGC-Univ. Católica de Chile-SEI. (2009). *Guía Metodológica-Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WAEP*. Cuenca, Ecuador: Proyecto de Adaptación al Cambio Climático-Ministerio del Medio Ambiente de Ecuador-Programa para manejo de Agua y suelo de la Universidad de Cuenca.
- CITMA-IGT2014 *Sistema de Modelación para la gestión del agua. Componente Agua para el desarrollo (WATER4DV)* La Habana, Cuba Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), Instituto de Geografía Tropical (IGT) (Inédito)
- CUBAENERGIA. (2012). *Pronóstico de calidad del aire local y clima regional. Impactos en sistemas energéticos, agua y uso de suelos*. La Habana, Cuba: CUBAENERGIA.
- Figuerola, T., Herrera, R., & Vallejos, J. (2013). Modelo de operación Hídrica para la cuenca Baja del río Luta. *Water Week Latinoamérica*, (págs. 1-11). Viña del Mar, Chile.
- Flores-López F., Yates D. (2013). *A water System Model for Exploring Electric Energy Alternatives in Southeastern US Basins*. . Environment Research Letters 8: 035041. doi: 10.1088/1748-9326/8/3/035041.
- Flores-López, F., Galaitis, S. E., Escobar, M. And Prkey, D.; (2016). *Modelling of Andean Páramo Ecosystems Hydrological Response to Environmental Change*. *Water*. Water 8 (3), 94. doi: 10.3390/w8030094.
- Frana A. S. (2012). *Applicability of MIKE SHE to simulate hydrology in heavily tile drained agricultural land and effects of drainage characteristics on hydrology*. Iowa: A thesis submitted to the graduate faculty in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. Iowa State University.
- García Fernández, J. M., Herrera, R., López Gonzáles, A., Aballí, U., Castro Enjamino, V., & Bients Perdomo, A. E. (2010). *Organizaciones de Cuencas en Cuba y experiencias alcanzadas con los Consejos Nacionales, Territoriales y Específicos de Cuencas Hidrográficas*. La Habana, Cuba: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH).
- Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). (2012). *Política Nacional del Agua*. La Habana, Cuba: INRH.
- Maßmann, J., Wolfer, J., Huber, M., Shelkes, K., Hennings, V., Droubi, A., y otros. (2010). WEAP-MODFLOW, as a Decision Support System (DSS) for integrated water resources management: Design of the coupled model and results from a pilot study in Syria. En A. Zuber, J. Kania, & E. Kmiecik (Ed.), *XXXVIII International Association of Hydrogeologists (IAH) Congress*. 2, pág. 9. Krakow: AGH University of Science and Technology.
- Modelación Hidrológica y escenarios de Cambio Climático en Cuencas de suministro de agua de las ciudades La Paz y el Alto, Bolivia 2013 *Aqua-LAC* 5223-34
- PNUD-Cuba 2008 *Actividades de apoyo para preparar la Segunda Comunicación Nacional de la República de Cuba con arreglo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* PNUD-MINVEC-CITMA La Habana, Cuba PNUD-Cuba
- Purkey, D. e. (2013). *Una presentación de WEAP: Una herramienta para ayudar la gestión integrada de los recursos hídricos en frente del Cambio Climático*. USA: Grupo Agua, Stockholm Environment Institute.
- Ribeiro, L. (2009). Importancia del Sistema de Soporte a las Decisiones en el Proyecto CAMINAR. (A. Jo-Noles, J. A. Villanueva, & Y. Pacheco, Edits.) 3 (3), 2-5.
- Sánchez F.J. . (2015). *HEC-HMS. Manual elemental*. España: Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. <http://hidrologia.usal.es>.
- Solera A., Paredes J., Andreu J. (2015). *AQUATOOL + Entorno de desarrollo de sistemas de ayuda a la decisión en materia de planificación de la gestión de cuencas hidrográficas incluyendo utilización conjunta y criterios de calidad de aguas. Manual de Usuario*. <http://www.upv.es/aquatool/files/manuales/ManualAquaToolPlus.pdf>.
- Universidad de Cantabria-Consejería Medio Ambiente. (2002). <http://dma.medioambientecantabria.es>. Recuperado el 18 de Diciembre de 2014, de [http://dma.medioambientecantabria.es/planes/abastecimiento/Memoria\\_Plan\\_Director\\_Abastecimiento.pdf](http://dma.medioambientecantabria.es/planes/abastecimiento/Memoria_Plan_Director_Abastecimiento.pdf)
- UNOPS-PNUMA. (2013). *Estudio de Balance Hídrico de la Cuenca Alta del río Apurímac "EBHICA"*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2016, de <http://www.balancehidrico.org>
- Vanloon, A., Lasge, R., Mathijssen, H., & Droogers, P. (2007). *Water Management Support Methodologies: State of the Art (No. 01)*. Wageningen: FutureWater.
- Vidal Legaz, B. (2014). *Requerimientos de datos y formatos de entrada en WEAP*. Italia: Joint Research Centre (JRC) (Inédito).
- Water Evaluation and Planning (WEAP). (2015). *Water Evaluation and Planning*. (Stockholm Environment Institute (SEI), Editor) Recuperado el 20 de Enero de 2015, de <http://www.weap21.org>
- Yates, D., Averyt, K., Flores-López, F., Meldrun, J., Sattler, S. Sieber, J, Young, C. (2013). *A water resources model to explore the implications of energy alternatives in the southwestern US*. Environmental Research Letters 8: 045004. doi 10.1088/1748-9326/8/4/045004.
- Yates, D; Purkey, D; Sieber, J; Huber-Lee, A; Galbrith, H2005a WEAP 21-A Demand, -Priority, -and Preference-Diven Water Planning Model: Part 1, Model Characteristics *Water International* 304487-500
- Yates, D; Purkey, D; Sieber, J; Huber-Lee, A; Galbrith, H2005b WEAP 21-A Demand, -Priority, -and Preference-Diven Water Planning Model: Part 2, Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation *Water International* 304501-512 

## APLICACIÓN DEL MODELO RACIONAL DE MUWAFFAQ-PESCOD A UN SISTEMA TRAMPA DE SÓLIDOS – LAGUNA ANAEROBIA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUALES PORCINOS<sup>1</sup>

### RESUMEN

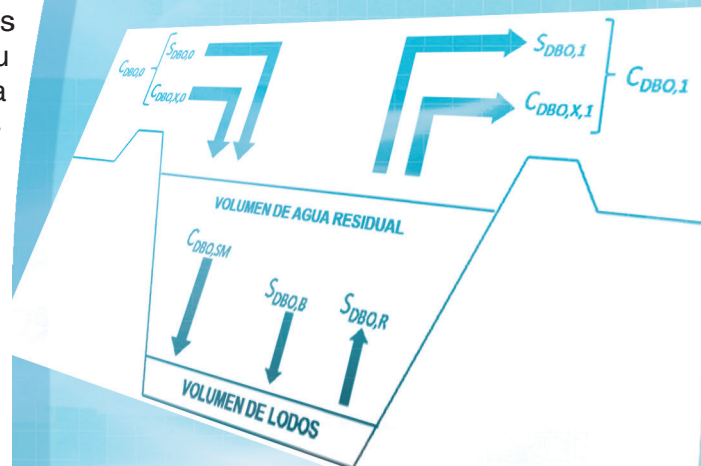
Este trabajo está dirigido a la aplicación del modelo racional propuesto por Muwaffaq and Pescod, para lagunas anaerobias con residuales urbanos, a un sistema de tratamiento trampa de sólidos - laguna anaerobia con residuales porcinos. El estudio se desarrolla en una granja porcina del sector no especializado, en la provincia de Villa Clara en Cuba, durante todo el tiempo de ceba de 150 cerdos. Valores para las tasas de sedimentabilidad ( $R_{SM}$ ) y neta de remoción - retroalimentación de la DBO soluble ( $R_{SB}$ ), que caracterizan el agua residual porcina, su dependencia del tiempo de retención hidráulico y la comprensión del peso relativo que la sedimentación de sólidos y la remoción - retroalimentación de la fracción soluble de  $DBO_5$  ejercen sobre la eficiencia de remoción de la  $DBO_5$  total, en cada unidad de tratamiento considerada, son importantes resultados del trabajo. Se concluye la validez del modelo para describir el tratamiento de aguas residuales porcinas a través de trampas de sólidos y lagunas anaerobias, recomendándose el empleo de este modelo en el diseño de estas unidades de tratamiento para residual porcino y la continuidad de estudios buscando un conocimiento más profundo de la dependencia de las tasas  $R_{SM}$  y  $R_{SB}$  de las condiciones climáticas y de la producción porcina en Cuba, aspectos no considerados hasta el momento en estas instalaciones.

### INTRODUCCIÓN

Dada la alta carga de sólidos suspendidos y materia orgánica típica de los residuales porcinos, el empleo de trampas de sólidos y procesos anaerobios es muy frecuente en su tratamiento, estando ambas presentes en la gran mayoría de los sistemas de tratamientos construidos en Cuba, tanto en las grandes y mega granjas del sector especializado como en las pequeñas y medianas granjas del sector no especializado.<sup>1,2</sup>

El uso de modelos matemáticos para la simulación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, está poco extendido en comparación con la utilización de métodos

<sup>1</sup> Dr. Rodolfo Sánchez Morales. Centro de Estudio en Química Aplicada. Universidad Central de Las Villas. Carretera de Camajuaní km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. | M.Sc. Maritza T. Moreno Mata. Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos. Avenida Libertadores No 201, e/Jesús Menéndez y Danielito.





equivalentes en otras ramas de la ingeniería. Las razones para ello son fundamentalmente de dos tipos:

- La complejidad de los procesos físico-químicos y biológicos que se producen y, por tanto, la dificultad de representarlos mediante un modelo matemático.
- La escasa disponibilidad de valores o expresiones de los parámetros de los modelos utilizados.

La modelación del tratamiento mediante lodos activados ha recibido amplia atención de los investigadores; sin embargo, unidades básicas de tratamiento, como las trampas de sólidos y las lagunas anaerobias, no han tenido la misma suerte, a pesar de ser ampliamente utilizadas, en países tropicales y subtropicales.

El modelo racional más conocido y más utilizado para diseñar lagunas anaerobias es el de Vincent.<sup>4</sup> Este modelo es una simplificación utilizada para diseñar las lagunas anaerobias, considerando un régimen estacionario, la laguna como un reactor de mezcla completa y la concentración total de  $\text{DBO}_5$  como parámetro de caracterización.

Según Muwaffaq and Pescod,<sup>5</sup> un enfoque racional que describa el comportamiento de una laguna anaerobia primaria debe tener en consideración la variabilidad del agua residual cruda. Estos autores, proponen un modelo para lagunas anaerobias con residuales urbanos basado en el balance de la demanda bioquímica de oxígeno, que incluye su fraccionamiento en las formas soluble y particular.

En este trabajo, se aplica el modelo racional, inicialmente propuesto por Muwaffaq and Pescod para lagunas anaerobias con residuales urbanos en el Jordán,<sup>5</sup> a un sistema trampa de sólidos - laguna anaerobia en serie que tratan residuales porcinos, sistema muy difundido en el sector no especializado de producción porcina en Cuba. Para ello, se monitorea desde su inicio hasta su culminación el proceso de ceba, en una granja del sector no especializado en la provincia de Villa Clara, Cuba; determinándose los valores de los principales parámetros utilizados en este modelo, bajo nuestras condiciones y para este tipo de agua residual.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los sitios de muestreos establecidos fueron a las salidas de la nave de ceba, de la trampa de sólidos y de la laguna anaerobia; con capacidades de trabajo de 3,52 m<sup>3</sup> y 18,0 m<sup>3</sup>, respectivamente. Se

emplea el subíndice 1 para la separación de sólidos y el 2 para el tratamiento anaerobio en este trabajo. En cada corrida o muestreo se realizaron las siguientes mediciones “*in situ*”:

- (1) Aforos volumétricos de agua a la salida de la manguera empleada para la limpieza. Este se realizó por triplicado, antes y después de cada limpieza.
- (2) Aforos volumétricos de caudal, cada 10 minutos, a salida de la nave de ceba y de cada unidad de tratamiento, desde 10 minutos antes y hasta 20 minutos después de la limpieza.
- (3) Medición de la duración del tiempo de limpieza y del tiempo de vertimiento de cada unidad de tratamiento.

Las muestras fueron tomadas en volúmenes constantes con la misma frecuencia con que se realizaron los aforos, para conformar muestras compuestas. A todas las muestras se les determinó el contenido total de  $\text{DBO}_5$  ( $C_{\text{DBO},0}$ ). El contenido soluble de  $\text{DBO}_5$  ( $S_{\text{DBO}}$ ) se determinó a las muestras centrifugadas a 7 000 rpm, por 10 minutos, y posteriormente filtradas a través de filtros de acetato de celulosa, con tamaño de promedio de 0,45  $\mu\text{m}$ .

Para la determinación de la  $\text{DBO}_5$  en la muestra completa y en la fracción líquida, se emplearon los procedimientos analíticos establecidos.<sup>6</sup>

El procesamiento estadístico de los datos se realizó en el programa STATGRAPHICS PLUS 4.1. Los modelos fueron programados en EXCEL, Microsoft Office 2007.

## Modelo propuesto por Muwaffaq and Pescod

Este modelo se basa en el balance de la demanda bioquímica de oxígeno (Fig. 1) y toma en consideración la variabilidad del agua residual cruda de diferentes fuentes, en términos de la razón o tasa de sedimentabilidad para el agua residual cruda ( $R_{\text{SM}}$ ) y de la razón o tasa de  $\text{DBO}_5$  neta, removida o añadida por la laguna anaerobia ( $R_{\text{SB}}$ ), planteando las siguientes ecuaciones generales para la concentración total de  $\text{DBO}_5$  en el efluente de una laguna primaria ( $C_{\text{DBO},1}$ ):

$$C_{\text{DBO},1}/C_{\text{DBO},0} = (1 - R_{\text{SM}}) - R_{\text{SB}} (S_{\text{DBO},0}/C_{\text{DBO},0}) \quad (\text{ec. 1a}) \quad \text{ó}$$

$$C_{\text{DBO},1} = (1 - R_{\text{SM}}) \cdot C_{\text{DBO},0} - R_{\text{SB}} \cdot S_{\text{DBO},0} \quad (\text{ec. 1b})$$

donde:

$R_{\text{SM}}$  = razón o tasa de sedimentabilidad para el agua residual afluente a la laguna,

$R_{SB}$  = razón o tasa de  $DBO_5$  neta removida o añadida por la laguna anaerobia,

$S_{DBO,0}$  = la concentración de  $DBO_5$  soluble en el agua residual afluyente a la laguna anaerobia,

$C_{DBO,0}$  = la concentración total de  $DBO_5$  en el agua residual afluyente a la laguna anaerobia.

Para aplicar esta ecuación se requiere del conocimiento de los valores de cuatro parámetros. Dos de ellos,  $S_{DBO,0}$  y  $C_{DBO,0}$  indican las características del agua residual afluyente; mientras que los otros dos,  $R_{SM}$  y  $R_{SB}$ , además, contienen información global sobre los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en la laguna.

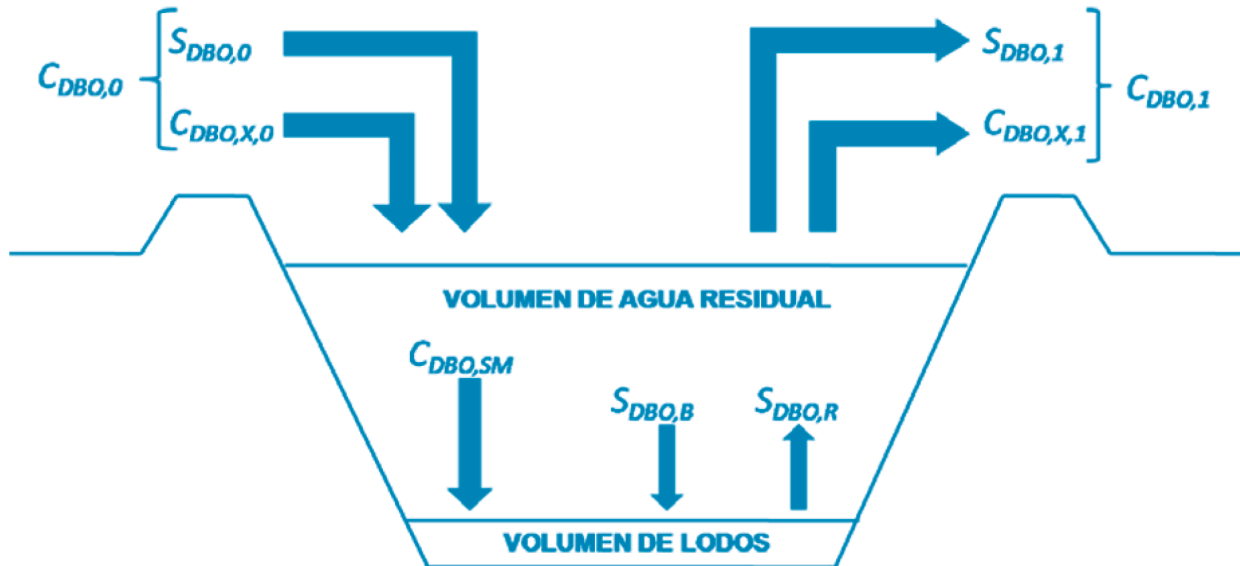


Fig. 1. Balance de materia orgánica, considerando la  $DBO_5$  total y sus formas particular y soluble.<sup>5</sup>

A partir del balance de masas, (Fig. 1), se llega a la siguiente expresión para la concentración de  $DBO_5$  de la materia sedimentada ( $C_{DBO,MS}$ ):

$$C_{DBO,MS} = C_{DBO,X,0} - C_{DBO,X,1} = C_{DBO,0} - S_{DBO,0} - C_{DBO,1} - S_{DBO,1} \quad (\text{ec. 2})$$

que, representada como una fracción del valor de  $C_{DBO,0}$  permite definir la denominada tasa de sedimentación del agua residual,  $R_{SM}$ , así:

$$R_{SM} = (C_{DBO,MS}/C_{DBO,0}) \quad (\text{ec. 3})$$

Por otro lado,  $R_{SB}$  surge del balance de masas para los componentes solubles de la  $DBO_5$  y representa la cantidad neta de  $S_{DBO}$  resultante ( $S_{DBO,R}$ ) de los procesos de sedimentación del material sólido ( $S_{DBO,MS}$ ), de la muerte de bacterias heterótrofas ( $S_{DBO,B}$ ) y de la redisolución o retroalimentación de  $S_{DBO}$  desde los lodos hacia la masa de agua de la laguna anaerobia ( $S_{DBO,F}$ ), lo cual se representa:

$$S_{DBO,R} = S_{DBO,B} - S_{DBO,F} \quad (\text{ec. 4})$$

$S_{DBO,R}$  puede ser representada como una fracción del valor de  $S_{DBO,0}$  definiéndose la tasa neta de remoción-retroalimentación  $R_{SB}$  mediante la siguiente expresión:

$$R_{SB} = S_{DBO,R}/S_{DBO,0} \quad (\text{ec. 5})$$

A mayor valor de  $R_{SB}$  la laguna tendrá una mayor eficiencia en la remoción de la  $DBO_5$  total afluyente ( $C_{DBO,0}$ ). Altos valores de  $R_{SB}$  son favorecidos por una alta sedimentación y una baja redisolución o retroalimentación de la  $S_{DBO}$  desde los lodos sedimentados hacia la masa de agua de la laguna.

Teóricamente, las magnitudes de  $R_{SB}$  y  $R_{SM}$  dependen de la naturaleza del residual crudo, del tiempo de retención hidráulico y de la temperatura del agua.

## PARTE EXPERIMENTAL

Se realizaron un total de 10 muestreos a lo largo del tiempo de ceba, aproximadamente uno cada 10-15 días. Los datos fueron divididos en dos grupos para su empleo, un primer grupo de datos se empleó en la calibración y el segundo grupo de datos se empleó en la verificación de los modelos bajo estudio.

Los datos utilizados fueron obtenidos mediante las determinaciones analíticas realizadas las muestras correspondientes y mediante mediciones directas realizadas al agua residual porcina.



## RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN

### Calibración del modelo para ambas unidades de tratamiento

Para la calibración del modelo fue tomado un primer conjunto de datos distribuidos a lo largo del proceso de ceba. Los resultados medidos experimentalmente para los principales parámetros o componentes de la  $DBO_5$  y los valores calculados de la tasa de sedimentabilidad  $R_{SM}$ , característica propia de cada tipo de agua residual, y de la tasa de  $DBO_5$  soluble removida desde la masa de agua residual o aportada a la misma desde los lodos del fondo,  $R_{SB}$ , aparecen tabulados, (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Resultados para la Trampa de Sólidos

| Parámetro     | U.M. | Peso Promedio Masa Porcina |         |         |         |         |
|---------------|------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|
|               |      | 25 kg                      | 38 kg   | 53 kg   | 74 kg   | 88 kg   |
| Tr            | días | 1,9                        | 1,2     | 0,9     | 0,6     | 0,5     |
| $C_{DBO,0}$   | mg/L | 5 333,3                    | 5 302,0 | 5 123,0 | 4 970,0 | 4 996,0 |
| $S_{DBO,0}$   | mg/L | 1 697,0                    | 1 720,0 | 1 688,0 | 1 534,0 | 1 688,0 |
| $C_{DBO,X,0}$ | mg/L | 3 636,4                    | 3 582,0 | 3 435,0 | 3 436,0 | 3 308,0 |
| $C_{DBO,1}$   | mg/L | 2 720,0                    | 2 886,0 | 3 058,1 | 3 153,8 | 3 329,8 |
| $S_{DBO,1}$   | mg/L | 1 440,7                    | 1 530,8 | 1 569,8 | 1 457,3 | 1 620,5 |
| $C_{DBO,X,1}$ | mg/L | 1 279,3                    | 1 355,2 | 1 488,3 | 1 696,5 | 1 709,3 |
| $R_{SM,1}$    | –    | 0,44                       | 0,42    | 0,38    | 0,35    | 0,32    |
| $R_{SB,1}$    | –    | 0,15                       | 0,11    | 0,07    | 0,05    | 0,04    |

Tabla 2. Resultados para la Laguna Anaerobia

| Parámetro     | U.M. | Peso Promedio Masa Porcina |         |         |         |         |
|---------------|------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|
|               |      | 25 kg                      | 38 kg   | 53 kg   | 74 kg   | 88 kg   |
| Tr            | días | 9,6                        | 6,3     | 4,5     | 3,2     | 2,7     |
| $C_{DBO,1}$   | mg/L | 2 720,0                    | 2 886,0 | 3 058,1 | 3 153,8 | 3 329,8 |
| $S_{DBO,1}$   | mg/L | 1 440,7                    | 1 530,8 | 1 569,8 | 1 457,3 | 1 620,5 |
| $C_{DBO,X,1}$ | mg/L | 1 279,3                    | 1 355,2 | 1 488,3 | 1 696,5 | 1 709,3 |
| $C_{DBO,2}$   | mg/L | 333,3                      | 562,9   | 856,7   | 1 226,5 | 1 437,8 |
| $S_{DBO,2}$   | mg/L | 60,6                       | 275,5   | 408,2   | 539,2   | 794,0   |
| $C_{DBO,X,2}$ | mg/L | 272,7                      | 287,4   | 448,5   | 687,3   | 643,8   |
| $R_{SM,2}$    | –    | 0,37                       | 0,37    | 0,34    | 0,32    | 0,32    |
| $R_{SB,2}$    | –    | 0,96                       | 0,82    | 0,74    | 0,63    | 0,51    |

Con el crecimiento de la masa porcina se aprecia una lógica disminución del tiempo de retención hidráulico en ambas unidades de tratamiento debido al incremento del volumen de agua residual producida.

Los datos obtenidos indican una mayor remoción de sólidos en la trampa de sólidos que en la laguna anaerobia, a pesar de la diferencia en el tiempo de retención hidráulico de ambas unidades de tratamiento.

Resalta la diferencia de valores de  $R_{SB}$  entre las dos unidades de tratamiento bajo estudio. El valor obtenido para  $R_{SB,2}$  entre 0,51 y 0,96 (en la laguna anaerobia), resulta muy superior al reportado en la literatura para aguas residuales urbanas, que oscila de +0,21 a -0,08.<sup>5</sup> Esto puede interpretarse como un desbalance entre la fracción soluble de

la  $DBO_5$  removida hacia el fondo de la laguna y la fracción soluble retroalimentada desde el fondo hacia la masa de agua de la laguna, con marcado predominio del primer proceso sobre el segundo, lo cual está estrechamente relacionado con el crecimiento bacteriano heterótrofo en el seno de la laguna anaerobia y la sedimentación de bacterias bien por coagulación y floculación o en forma de células muertas. Este resultado muestra que, para el caso de la trampa de sólidos, el proceso de remoción de la  $DBO_5$  está regido por el fenómeno de la sedimentación de especies particulares o en partículas sólidas; mientras que en el caso de la laguna anaerobia, la sedimentación de formas solubles, vinculada a procesos microbiológicos, debe también ser tomada en consideración.

En general, se aprecia que la remoción total de  $\text{DBO}_5$ , en ambas unidades, tiende a bajar al aumentar la masa porcina. (Tabla 3).

Tabla 3. Eficiencias de remoción de componentes de la DBO en la trampa de sólidos y la laguna anaerobia

| Parámetro            | Peso Promedio Masa Porcina |       |       |       |       |
|----------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                      | 25 kg                      | 38 kg | 53 kg | 74 kg | 88 kg |
| $E_{\text{CDBO},1}$  | 49,0                       | 45,6  | 40,3  | 36,5  | 33,4  |
| $E_{\text{SDBO},1}$  | 15,1                       | 11,0  | 7,0   | 5,0   | 4,0   |
| $E_{\text{DBO},X,1}$ | 64,8                       | 62,2  | 56,7  | 50,6  | 48,3  |
| $E_{\text{CDBO},2}$  | 87,7                       | 80,5  | 72,0  | 61,1  | 56,8  |
| $E_{\text{SDBO},2}$  | 95,8                       | 82,0  | 74,0  | 63,0  | 51,0  |
| $E_{\text{DBO},X,2}$ | 78,7                       | 78,8  | 69,9  | 59,5  | 62,3  |

Si tenemos en cuenta que, según estimaciones realizadas por el autor a partir de datos en la literatura especializada, más del 85 % del volumen total de agua residual se genera durante la limpieza, las dimensiones de la trampa de sólidos debe estar en correspondencia con el tiempo de limpieza y el comportamiento dinámico del volumen de agua residual generado durante la misma, de forma tal que se garantice un mínimo de tiempo de retención en esta unidad de tratamiento, bajo estas condiciones de caudal punta. En casos críticos, la intensidad de la limpieza debe regularse para garantizar el tiempo mínimo de retención deseado en la trampa de sólidos, de 1,5 horas o más.<sup>7</sup>

Las relaciones obtenidas entre los valores de ambas tasas,  $R_{\text{SM}}$  y  $R_{\text{SB}}$ , y el tiempo de retención hidráulico para la trampa de sólidos y la laguna anaerobia, ambas en serie, muestran dependencias lineales con pendientes positivas (Tabla 4).

Tabla 4. Dependencia de  $R_{\text{SM}}$  y  $R_{\text{SB}}$  del tiempo de retención hidráulico ( $T_r$ ) para trampas de sólidos y lagunas anaerobias

| Unidad de Tratamiento | $R_{\text{SM}}$                            | $R_{\text{SB}}$                                | Rango de Aplicación |
|-----------------------|--|--|---------------------|
| Trampa de sólidos (1) | $0,085 \cdot T_r + 0,294$<br>$R^2 = 0.886$ | $0,083 \cdot T_r + 0,001$<br>$R^2 = 0.986$     | $0,5 < T_r < 1,9$   |
| Laguna anaerobia (2)  | $0,008 \cdot T_r + 0,301$<br>$R^2 = 0.921$ | $0,05599 \cdot T_r + 0,41188$<br>$R^2 = 0.817$ | $2,7 < T_r < 9,6$   |

$E_{\text{CDBO},1}$ ,  $E_{\text{SDBO},1}$ ,  $E_{\text{DBO},X,1}$  son las eficiencias de remoción de la  $\text{DBO}_5$  total, soluble y particular en la trampa de sólidos; mientras que  $E_{\text{CDBO},2}$ ,  $E_{\text{SDBO},2}$ ,  $E_{\text{DBO},X,2}$  se corresponden con estos parámetros en la laguna anaerobia.

El modelo empleado para estimar  $C_{\text{DBO},1}$  y  $C_{\text{DBO},2}$  responde a la ecuación 1b. Los valores de  $R_{\text{SM}}$  y  $R_{\text{SB}}$  se estiman a partir de las relaciones mostradas en la Tabla 4. Los valores de  $S_{\text{DBO},1}$  y  $S_{\text{DBO},2}$  son calculados a partir de la ecuación 5, previa determinación del correspondiente valor de  $R_{\text{SB},1}$  y  $R_{\text{SB},2}$ .

## Verificación del modelo para ambas unidades de tratamiento

Un segundo conjunto de datos, similarmente distribuidos a lo largo del proceso de ceba, fue tomado para la verificación del modelo. Los valores de  $C_{\text{DBO},0}$  y  $S_{\text{DBO},0}$  medidos constituyen los datos de entrada al modelo. Los valores de  $R_{\text{SM},1}$  y  $R_{\text{SB},1}$  para la trampa de sólidos y de  $R_{\text{SM},2}$  y  $R_{\text{SB},2}$  para la

laguna anaerobia fueron obtenidos aplicando las expresiones en la Tabla 4. El resto de los parámetros,  $C_{\text{DBO},1}$ ,  $C_{\text{DBO},2}$ ,  $S_{\text{DBO},1}$ ,  $S_{\text{DBO},2}$  fueron estimados mediante los modelos correspondientes a cada unidad de tratamiento y, además, medidos experimentalmente, con el objetivo de la verificación del modelo, (Tabla 5).

La aplicación de la prueba estadística  $t$  para evaluar la posibilidad de diferencia significativas entre muestras pareadas, no permitió rechazar la hipótesis nula entre los valores medidos y estimados de  $C_{\text{DBO},1}$ ,  $S_{\text{DBO},1}$ ,  $C_{\text{DBO},2}$ ,  $S_{\text{DBO},2}$  para un nivel de confianza del 95 %, (Tabla 6).

El análisis de regresión entre los valores estimados y medidos de  $C_{\text{DBO},1}$  resulta el menos preciso, (Fig. 2), con la mayor dispersión en los resultados, lo cual puede ser atribuible al ruido que el relativamente elevado flujo de agua residual tiene sobre el funcionamiento de la trampa de sólidos, provocando efluentes de calidad más variables que los encontrados para la laguna anaerobia.











Los resultados obtenidos remarcan la factibilidad del empleo de este modelo tanto en trampas de sólidos como en lagunas anaerobias. Para elevar la fiabilidad del modelo, es necesario ampliar la serie de datos para mejorar la calidad de la estimación de las tasas  $R_{SM}$  y  $R_{SB}$  y profundizar en su dependencia de la temperatura del agua, el tiempo de retención hidráulico y de la composición del residual porcino; conociendo que esta última depende de la alimentación, el consumo de agua en la limpieza, el estado fisiológico de los animales y su raza, entre otros factores.<sup>8</sup>

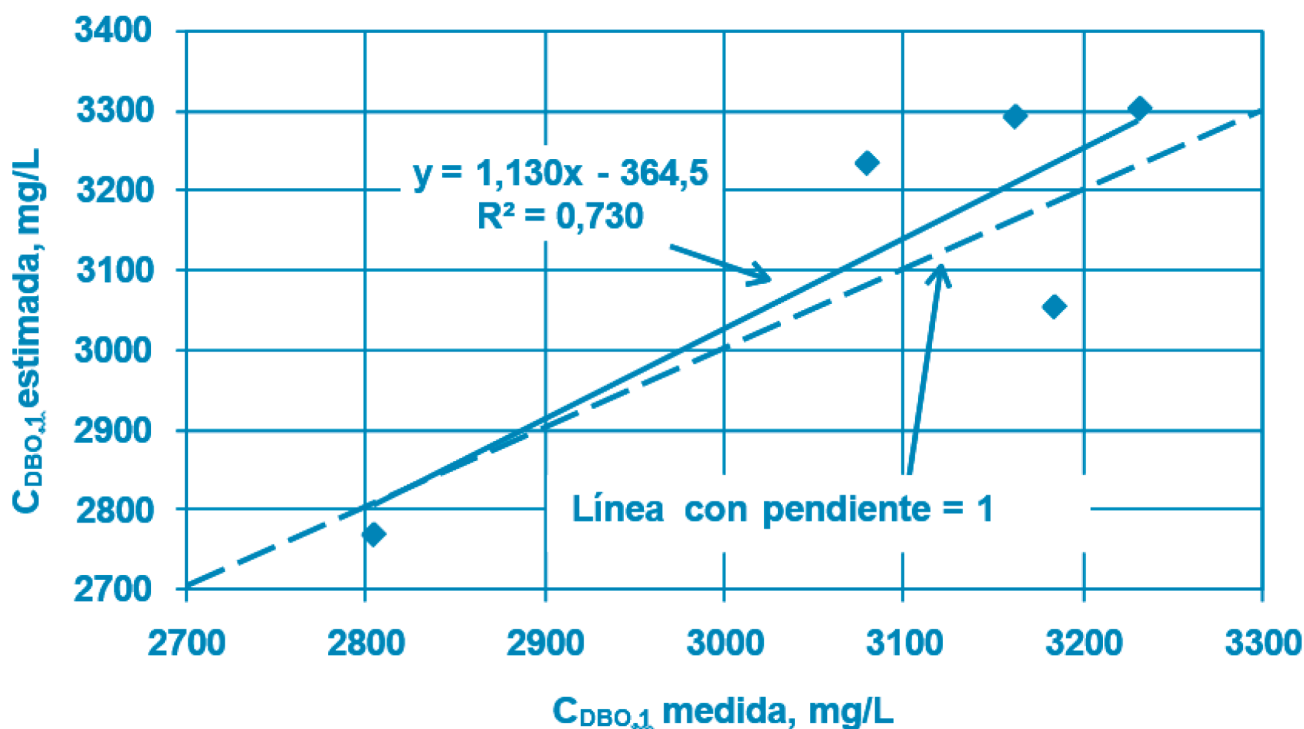


Fig. 2. Curva de regresión ajustada para los valores de  $C_{DBO,1}$  estimado contra el medido experimentalmente.

Tabla 5. Resultados del modelo para 5 momentos diferentes del proceso de ceba bajo estudio

| Parámetro     | U.M.  | Masa Promedio Animales |          |          |          |          |
|---------------|-------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
|               |       | 31 kg                  | 45 kg    | 60 kg    | 82 kg    | 85 kg    |
| $T_{r,1}$     | días  | 1,51                   | 1,04     | 0,78     | 0,57     | 0,55     |
| $C_{DBO,0}$   | mg/L  | 5 230,00               | 5 400,00 | 5 145,00 | 5 028,00 | 4 917,00 |
| $S_{DBO,0}$   | mg/L  | 1 697,00               | 1 720,00 | 1 688,00 | 1 534,00 | 1 688,00 |
| $C_{DBO,X,0}$ | mg/L  | 3 533,00               | 3 680,00 | 3 457,00 | 3 494,00 | 3 229,00 |
| $R_{SM,1}$    | mg/mg | 0,42                   | 0,38     | 0,36     | 0,34     | 0,34     |
| $R_{SB,1}$    | mg/mg | 0,13                   | 0,09     | 0,07     | 0,05     | 0,05     |
| $C_{DBO,1}$   | mg/L  | 2 805,0                | 3 183,5  | 3 179,3  | 3 230,9  | 3 161,8  |
| $S_{DBO,1}$   | mg/L  | 1 482,2                | 1 569,5  | 1 576,8  | 1 459,6  | 1 609,0  |
| $C_{DBO,X,1}$ | mg/L  | 1 322,77               | 1 613,99 | 1 602,50 | 1 771,31 | 1 552,78 |
| $T_{r,2}$     | días  | 7,74                   | 5,33     | 4,00     | 2,92     | 2,82     |
| $R_{SM,2}$    | mg/mg | 0,36                   | 0,34     | 0,33     | 0,32     | 0,32     |
| $R_{SB,2}$    | mg/mg | 0,87                   | 0,73     | 0,65     | 0,59     | 0,58     |
| $C_{DBO,2}$   | mg/L  | 490,9                  | 939,9    | 1 089,7  | 1 320,8  | 1 198,3  |
| $S_{DBO,2}$   | mg/L  | 186,0                  | 419,9    | 545,8    | 597,6    | 668,6    |
| $C_{DBO,X,2}$ | mg/L  | 304,9                  | 520,0    | 543,9    | 723,2    | 529,7    |

Los resultados obtenidos muestran la factibilidad del empleo de este modelo, tanto en trampas de sólidos como en lagunas anaerobias. Para elevar la fiabilidad del modelo, es necesario ampliar la serie de datos para mejorar la calidad de la estimación de las tasas  $R_{SM}$  y  $R_{SB}$  y profundizar en su relación con la temperatura del agua, el tiempo de retención hidráulico y la composición del residual porcino; conociendo que esta última depende de varios otros factores.<sup>8</sup>

Tabla 6. Resultado del análisis estadístico de muestras pareadas (parámetros estimados por el modelo contra los medidos experimentalmente)

| Parámetro Comparado | Rango de Diferencias | Estadístico t Computado | Valor de P |
|---------------------|----------------------|-------------------------|------------|
| $C_{DBO,1}$         | -153,7 a 129,5       | -0,7117                 | 0,5159a    |
| $S_{DBO,1}$         | -23,2 a 68,5         | 1,8022                  | 0,1459a    |
| $C_{DBO,2}$         | -105,3 a 57,9        | -0,4608                 | 0,6689a    |
| $S_{DBO,2}$         | -48,2 a 64,9         | 1,5243                  | 0,2021a    |

a Valor de  $P \geq 0,05$ , no se rechaza la hipótesis nula para un nivel de confianza del 95 %.


## CONCLUSIONES

1. Se demostró la aplicabilidad del modelo de Muwaffaq and Pescod para el caso de trampas de sólidos y lagunas anaerobias con residual porcino.
2. Se determinó que el funcionamiento de la trampa de sólidos está regido por la sedimentación mientras que en la laguna anaerobia este proceso y la remoción de  $DBO_5$  soluble, ambos, influyen en la eficiencia de remoción total de la  $DBO_5$ .
3. En el dimensionamiento de las trampas de sólidos debe tenerse en cuenta que el mayor volumen del agua residual correspondiente a un día se genera durante el tiempo de limpieza; por lo que la intensidad de la misma debe garantizar un tiempo mínimo de retención razonable, de 1,5 horas o más, bajo las condiciones de caudal punta que ocurre durante la limpieza de las naves de ceba.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la aplicación de este modelo en el diseño de trampas de sólidos y lagunas anaerobias con residuales porcinos.
2. Se debe continuar desarrollando estudios encaminados a la determinación de la razón o tasa de sedimentabilidad,  $R_{SM}$ , y la razón o tasa de  $DBO_5$  neta removida o añadida por la laguna anaerobia,  $R_{SB}$ , y su dependencia de la temperatura, el tiempo de retención hidráulico y de las características del residual crudo.
3. Se deben continuar los estudios relacionados con las trampas de sólidos y lagunas anaerobias con residuales porcinos, por ser de amplia aplicación en todo el país y adecuadas a las condiciones del residual y del clima en Cuba.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Pérez Ríos J. y Montalvo S. Evaluación, tratamiento y disposición final de residuales porcinos en Cuba. **Rev. Ing. Civ.**, **1**, 10-42, 1987.
2. Heredia J., López M. y Ly J. Una reseña corta sobre 45 años (1959-2004) en el desarrollo de la porcicultura cubana. **Revista Computadorizada de Producción Porcina**, **11**, 1, 5-22, 2004.
3. Campos A. E. Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria. Tesis para optar al grado de Doctor Ingeniero Agrónomo por la Universitat de Lleida. Lleida, Julio de 2001. Disponible en: [http://www.tdr.cesca.es/TESIS\\_UdL/AVAILABLE/TDX-0909105-125302//Tecn1de1.pdf](http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UdL/AVAILABLE/TDX-0909105-125302//Tecn1de1.pdf). Consultado en Noviembre 11 de 2008.
4. Vincent J. L. Algle W.E. Marais G.V. **A system of sanitation for low cost high density housing. In: Proceedings of a Symposium on Hygiene and Sanitation in relation to housing. Commission for Technical Cooperation. South of Sahara. Publication**, **84**, 135-172, 1973.
5. Muwaffaq N. y Saqqar, Pescod N. B. Modeling the performance of anaerobic wastewater stabilization ponds. Proceedings of 2nd International Specialist Conference on Waste Stabilization Ponds and Reuse of Pond Effluents, Oakland, California, USA, 30th November to 3rd December of 1993.
6. APHA-AWWA-WEF. Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Ed. 2005.
7. Metcalf & Eddy, Inc. Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Capítulo 8. Proyecto de Instalaciones para el Tratamiento Físico y Químico del Agua Residual, Tercera Edición, Grupo Editor Quinto Centenario, Colombia, 342-428,1994.
8. Mariscal G. Tratamiento Excretas de Cerdo. Capítulo 7. Tecnologías disponibles para reducir el potencial contaminante de las excretas de granjas porcinas. FAO. 2007. Disponible en: [www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s08.htm](http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s08.htm). Consultado en Noviembre 18 de 2008. 



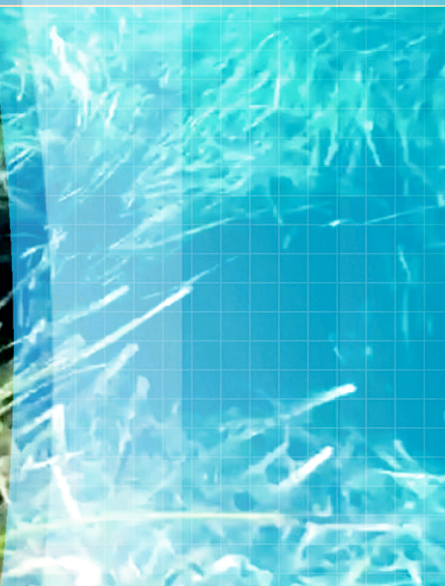
# LAS ANFETAMINAS ALTERAN LA BASE DE LA VIDA DE LOS RÍOS<sup>1</sup>

 voluntad  
HIDRAULICA

**NOVEDADES**

## Las aguas residuales llevan narcóticos que afectan a las algas, bacterias e insectos fluviales

Un alto porcentaje de las drogas que usan los humanos llega a las aguas residuales y de ahí a los ríos. Sin embargo, apenas se conocen sus efectos sobre los ecosistemas fluviales. Ahora, un experimento con torrentes artificiales muestra que una baja concentración de anfetaminas basta para alterar el microcosmos de algas y bacterias que son la base de los ecosistemas fluviales.



Un conjunto de algas

Desde hace al menos una década, los científicos y las autoridades de salud pública usan los análisis de las aguas residuales para saber cuánta droga se consume en una ciudad. Como una parte (más o menos fija) de la sustancia que entra en el cuerpo acaba siendo excretada, solo hace falta saber cuánta población vierte sus aguas para estimar el consumo global y per cápita de drogas, si unas se estancan o aparecen nuevas o las zonas de mayor incidencia. La Unión Europea, por ejemplo, mantiene un seguimiento de las aguas residuales de 67 ciudades para su programa de control de estupefacientes.

Las modernas depuradoras, con sus tratamientos primarios (sistemas de filtrado mecánico) y secundario (basados en microorganismos), filtran buena parte de los fármacos y drogas que entran en sus tanques, pero su eficacia no es completa y un porcentaje de los principios activos de estas sustancias termina por llegar a los ríos. Lo ha vuelto a confirmar un grupo de investigadores de EE.UU. que tomaron muestras durante un año de seis corrientes de agua que discurrían por o cerca de la ciudad de Baltimore. En todos los ríos analizados encontraron restos de paracetamol, antihistamínicos o diversas drogas.

En los seis ríos o arroyos, todos dentro de la cuenca del Gwynns Falls, encontraron componentes de medicamentos y sustancias ilegales. El paracetamol y la cafeína eran los más destacados. La morfina, como metabolito de la heroína, solo la detectaron en la porción del río Gwynns Run que pasa por un parque urbano. En cuanto a la anfetamina, hallaron concentraciones significativas en cinco de las seis corrientes analizadas.

Los investigadores se centraron en las anfetaminas por varios motivos. Por un lado, es la droga psicoactiva más consumida, según

<sup>1</sup> Tomado de: [http://elpais.com/elpais/2016/08/25/ciencia/1472136593\\_521265.html?rel=cx\\_articulo#cxrecs\\_s](http://elpais.com/elpais/2016/08/25/ciencia/1472136593_521265.html?rel=cx_articulo#cxrecs_s)



los informes de la ONU. Además, llega a los ríos tanto la legal, los fármacos anfetamínicos, como la ilegal, el speed, el éxtasis, la meta, el MDA y otras anfet. Por último, según aseguran, no hay estudios sobre el impacto ecológico de este compuesto sobre la vida de los ríos.

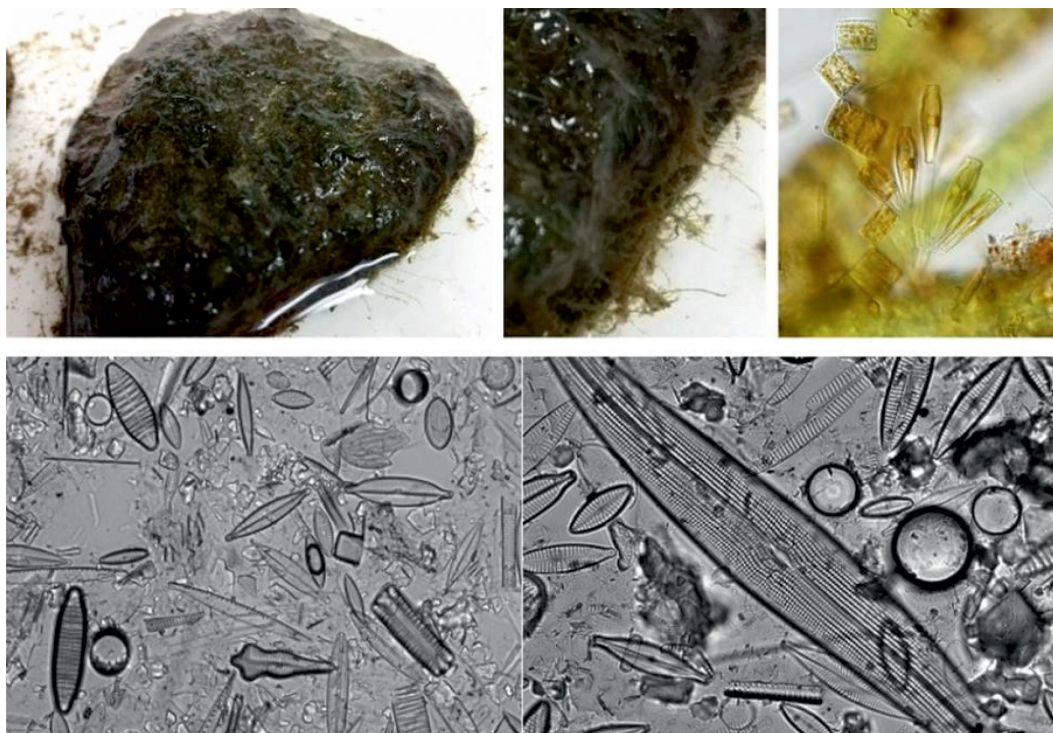
En una segunda parte de su investigación, publicada en la revista *Environmental Science & Technology*, los científicos recrearon las condiciones del río en el laboratorio. Montaron ocho cauces de agua incluyendo las piedras, limo, diatomeas (algas microscópicas), bacterias, larvas de insectos y biopelículas, unos conglomerados celulares que se adhieren al lecho rocoso y que son completos microcosmos de vida.

En cuatro de los arroyos vertieron anfetaminas en concentraciones de 1 microgramo (la millonésima parte de un gramo, cuyo símbolo es  $\mu\text{g}$ ) por litro de agua al inicio del experimento. Después de tres semanas, tras comprobar que la concentración de la droga había bajado hasta los 0,11  $\mu\text{g/L}$ , vieron que la vida de los torrentes contaminados era muy diferente de los no contaminados.

Rosi-Marshall y sus colegas también comprobaron otro efecto perturbador de las anfetaminas, esta vez sobre las bacterias acuáticas. En ambos grupos de corrientes encontraron un número similar de especies, pero en los torrentes con la droga, las especies eran diferentes. Los investigadores aún investigan por qué. En cuanto a las diatomeas, el efecto es aparentemente positivo: los ríos con la sustancia activa mostraron mayor abundancia y diversidad de estas algas.

Por último, en cuanto a los insectos, estudiaron dípteros (moscas, mosquitos, tábanos...) “La exposición a las anfetaminas parece que estimular la aparición de los insectos acuáticos en las corrientes artificiales”, comenta la investigadora estadounidense. Pero, como en el caso de las diatomeas, no saben qué hace que los insectos aceleren su ciclo biológico, aunque podría estar relacionado con la alteración del resto del ecosistema.

## Las anfetaminas estimulan la aparición de los insectos acuáticos




La biopelícula (arriba) es la base de los ecosistemas acuáticos, compuestas de algas, hongos y bacterias (abajo). Sylvia Lee

“Las biopelículas están formadas de una compleja comunidad de microorganismos que desempeñan un papel esencial suministrando energía y materia orgánica a la cadena alimentaria acuática”, explica la investigadora del Instituto Cary para el Estudio de los Ecosistemas y coautora de la investigación, la doctora Emma Rosi-Marshall. “Al exponerlas a las anfetaminas, vimos que la producción de las algas se detenía. Las productoras primarias de la biopelícula hacía peor la fotosíntesis, por lo que crecían menos, lo que es una mala noticia para los organismos que dependen de las biopelículas para alimentarse”, añade.

Emma Rosi-Marshall, del Instituto Cary para el Estudio de los Ecosistemas

El estudio tampoco despeja una duda esencial. Si liberaron 1  $\mu\text{g/L}$  y la concentración final bajó hasta los 0,11  $\mu\text{g/L}$ , ¿dónde fue a parar el resto de la anfetamina? Para los investigadores debió ir apalancándose en los diversos procesos biológicos que han observado. Otro problema es que el estudio se basa en mediciones en ríos artificiales de laboratorio. “Lo ideal habría sido hacerlas en un entorno real”, comenta el catedrático de la Universi-

dad de Almería y experto en química analítica, Amadeo Rodríguez.

En 2011, Rodríguez y un grupo de colegas analizaron las aguas del río Henares, cercano a Madrid y afluente indirecto del Tajo. Allí encontraron anfetaminas, además de otra decena más de drogas. Aunque es algo normal en todo río cercano a una gran ciudad, la concentración que hallaron, 0,309  $\mu\text{g/L}$ , es la más alta documentada hasta ahora en la literatura científica. Y como dice Rodríguez: “el del agua es un ciclo global y no podemos olvidar que siempre habrá algo aguas abajo”. 



## DÍA DEL HIDRÁULICO 2016. FESTEJA SANCTI SPÍRITUS ACTIVIDADES CENTRALES<sup>1</sup>

 **voluntad  
HIDRAULICA**

**COMUNICACIÓN INSTITUCIONAL**

La provincia de Sancti Spíritus tuvo el honor de acoger las actividades centrales nacionales por el Día del Trabajador Hidráulico, efeméride que se conmemora el 10 de agosto, en ocasión de evocarse un nuevo aniversario de la creación del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), en 1962. Felizmente, este año la apelación de la fecha se insertó con particular énfasis en las jornadas de homenajes dedicadas al Comandante en Jefe, Fidel Castro Ruz, en ocasión de la celebración de su 90 cumpleaños, el 13 de agosto.



Oro, "transparente e incoloro" significa para el municipio de Fomento una estación de bombeo capaz de entregar cinco litros de agua por segundo.

Durante el último lustro, los hidráulicos de la tierra del Yayabo venían cosechando disímiles éxitos que lo ubicaban en el pelotón del borde delantero en la fraternal emulación sostenida con el resto de sus homólogos en el país, hasta que en este 2016 se alzaron con el botín dorado, al presentar los indicadores más sobresalientes en el período evaluado, los que sustentaron la acreditación de la provincia como sede de las actividades centrales nacionales por el Día del Trabajador Hidráulico.

Los territorios de Ciego de Ávila, Granma y Guantánamo conquistaron la condición de Destacada, mientras Santiago de Cuba y La Habana merecieron un Reconocimiento Especial, atendiendo básicamente a las acciones desplegadas en el enfrentamiento a la sequía.



<sup>1</sup> Por: Lic. Fidel Sagó Arrastre. | fidel@hidro.cu | Fotos: Del autor.





La presa La Felicidad se va recuperando integralmente, y pronto se espera desterrar la fase de previsión hidrológica que limita actualmente su capacidad de embalse.

## Nutrientes de una sede

Aún con los incentivos frescos por la celebración del acto central por el Día de la Rebeldía Nacional, el 26 de Julio, los espirituanos animaron con gran entusiasmo y colorido los festejos por el Día del Hidráulico.

Sobradas razones tenían para ello. Según precisiones del Ingeniero Alberto Eirín González, delegado del INRH en la provincia, durante los años de Revolución transcurridos, Sancti Spiritus consolidó su infraestructura hidráulica con la construcción de nueve embalses, dos derivadoras, y varias micropresas que posibilitaron elevar la capacidad de almacenamiento de agua a más de 1 292 millones de metros cúbicos del líquido. Además se ejecutaron más de 50 kilómetros de canales magistrales, diversas obras de protección y sistemas de redes de monitoreo para el control de la calidad del agua.

Más recientemente, en el 2015, subrayó Eirín González, se rehabilitaron 6,1 kilómetros de conductoras, se suprimieron 15 672 salideros, de ellos más de 50 en grandes conductoras de Cabaiguán, Camaján, Península de Ancón y San Juan de Letrán, se instalaron o repusieron unas 1 730 acometidas, se sustituyeron 24,6 kilómetros de redes de abasto de agua, se repararon 23 tanques eleva-

dos, y se instalaron 10 464 hidrómetros, en los sectores residencial y estatal.

Entretanto, dinámico y productivo resultó el primer semestre del corriente año para los hidráulicos espirituanos. La rectificación del cauce del río Jatibónico a la salida de la presa La Felicidad, y el avance en las labores de rehabilitación de ese propio embalse que permitirán la eliminación de la prevención hidrológica en que se encuentra desde 1995, así como la puesta en explotación de la laguna de estabilización del reparto calle K, en el municipio de Jatibónico, despuntan entre las obras acometidas en el período.

También se destacan el cumplimiento del programa de metraje con la instalación de 2 762 hidrómetros en sector residencial, la rehabilitación de las conductoras y redes de distribución de las comunidades Media Legua y Casilda, en el municipio de Trinidad, la reparación de los primeros 7,8 kilómetros del canal magistral Zaza, a un costo de 8,5 millones de pesos en moneda nacional y en divisa, el acondicionamiento de una conductora de 1,7 kilómetros, desde la estación de bombeo hasta el nudo once en Cabaiguán, y la construcción de una estación de bombeo en el poblado de Fomento, la que aportará unos 5 litros de agua por segundo, todo un tesoro en una de



las demarcaciones más golpeada en la provincia con la escasez del líquido.

El Delegado del INRH en Sancti Spíritus reconoció el apoyo y la solidaridad recibida por trabajadores de otros territorios en la concreción de las tareas señaladas. En este sentido destacó los aportes dados por las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico de Pinar del Río, Camagüey y Cienfuegos, las Empresas de Investigaciones y Proyectos Hidráulico de Pinar del Río y de Villa Clara, la Dirección Integrada de Proyectos Centro-Este, y otras entidades del Ministerio de la Construcción.

## Operaciones “in situ”

A pie de obra pudimos constatar las operaciones desplegadas en la rehabilitación y mantenimiento del embalse La Felicidad. El técnico Omar González Valdés, jefe de la brigada de esta instalación, quien lleva diez años en esa función, confirmó que la presa se va recuperando en todos los aspectos, y dentro de unos meses esperan estar en condiciones de almacenar los cerca de 69 millones de metros cúbicos de agua que tiene de diseño la presa, y sobrepasar así los 42 millones establecidos hoy como prevención hidrológica. Añadió que ese anhelo es compartido por los 14 trabajadores de su colectivo, compuesto por operadores de mecánica, personal de mantenimiento, técnicos de la obra, y un operador de tractor.

En el reparto Trillo, en el municipio Jatibónico, apreciamos los trabajos que se acometen allí como parte de la fase tres del proyecto de colaboración que posibilita la rehabilitación integral de las redes de ese poblado, a cargo de la brigada constructora de la Unidad Empresarial de Base Centro, de la Empresa de Mantenimiento de Redes y Obras Hidráulicas (EMRO), radicada en la provincia de Matanzas.

Filiberto Obregón Fardales, director del proyecto de colaboración de Jatibonico, preciso que el mismo se inició en octubre del 2013, y los términos de referencia pactados conciben también la rehabilitación de la planta potabilizadora, algo que debe concluir para el 2018. Hasta inicios de agosto, dijo, tenían valor de uso unos 27 kilómetros de redes rehabilitadas, para el beneficio de cerca ocho mil habitantes.

Una aplicación práctica del valor de la relatividad en el campo social la corroboramos en el poblado cabecera del municipio de Fomento. Quizás para otra comunidad una estación de bombeo capaz de entregar cinco litros de agua por segundo carezca de una trascendencia mayúscula. Pero para los habitantes de allí esa cantidad del vital líquido representa oro, “transparente e incoloro”, pues sus fuentes están muy deprimidas, casi agotadas. David Casa Ricardo, director municipal de Acueducto y Alcantarillado, recalca que de las 33 000 personas que tienen que abastecer de agua, el 60 por ciento la recibe en pipas, con el cargadero a unos 30 kilómetros de distancia, en ciclo de ida y vuelta. Sobran acotaciones.



Ingentes han sido las faenas en la rectificación del cauce del río Jatibónico, a la salida de la presa La Felicidad.





En el orden individual un grupo de mujeres y hombres recibió la Medalla Armando Mestre, por más de 20 y 25 años de labor en el sector, respectivamente.



El vicepresidente del INRH, Antonio Rodríguez (a la izquierda) entregó al delegado del organismo en Sancti Spíritus, Alberto Eirín González, el certificado que acredita a la provincia como la ganadora en la fraternal emulación por el Día del Trabajador Hidráulico en el 2016.

## Estímulos colectivos e individuales

El teatro principal de la ciudad de Sancti Spíritus acogió la celebración del acto central nacional por el Día del Trabajador Hidráulico. En representación de la presidenta del INRH, Inés María Chapman Waugh, estuvo presente en el acto el vicepresidente Antonio Rodríguez Rodríguez. También asistieron a la actividad Roberto Pérez Jiménez, integrante del Buró Provincial del Partido en Sancti Spíritus, Carlos de Dios Oquendo, secretario general del Sindicato Nacional de los Trabajadores de la Construcción (SNTC), y Eduardo Suárez Cañizares, vicepresidente del Gobierno en la provincia, entre otros dirigentes e invitados.

Al pronunciar las palabras centrales del acto, el vicepresidente del INRH, Antonio Rodríguez Rodríguez felicitó a todos los hidráulicos espirituanos por los éxitos asentados, y de forma especial a los que recibieron estímulos individuales o colectivos, al tiempo que los exhortó a cada día continuar redoblando sus esfuerzos para alcanzar los objetivos deseados frente a los grandes retos planteados por delante para proseguir consolidando el desarrollo hidráulico de la provincia y el país.

La ocasión fue propicia para entregar estímulos colectivos e individuales. Como entidades destacadas a nivel nacional fueron reconocidas la Dirección Integrada de Proyectos (DIP) Trasvase Centro-Oeste, la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Cienfuegos, la Empresa de Construcción de Ciego Ávila, y la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Sancti Spíritus.

A nivel provincial fueron seleccionadas como instituciones destacadas la Empresa de Acueducto y Alcantarillado, con un aporte sobresaliente en el aseguramiento del acto nacional por el 26 de Julio en Sancti Spíritus, así como la Empresa de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos, la Subdelegación de Inversiones, las Unida-


des Empresariales de Base (UEB) de Proyectos Hidráulicos, la de Servicios Generales, y la de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST).

Igualmente alcanzaron la anterior condición la Brigada de Perforación y Construcción, la Unidad Comercial y de Logística Hidráulica, la presa Zaza, la planta potabilizadora Majaguabo, la UEB de Mantenimiento de Acueducto, y el taller PANELEC, líder en la fabricación nacional de paneles eléctricos para bombas horizontales, verticales y sumergibles.

En el orden individual un grupo de mujeres y hombres recibió la Medalla Armando Mestre otorgada por el SNTC, por mantener más de 20 y 25 años de labor en el sector, respectivamente, mientras Leydi Modesto Pérez Torres, Ángel Enrique Hernández Borrego, Yusliadys Lorenzo Coca, y Luisa Esmeralda Ruiz Naranjo, fueron distinguidos como cuadros del sector hidráulico con más de cinco años en funciones de dirección.

## Patrimonio insoslayable

Una de las acciones centrales de la jornada fue la entrega del sello conmemorativo Faustino Pérez Hernández a cuatro compañeros con varias décadas de permanencia en la rama hidráulica. Ellos son: Luis Danilo Loyola Martínez, Evelio Martínez Madrigal, Luis Valdivia Abreu, y Dionisio Delgado Poza.

Cada una de esas personalidades atesora vivencias que han contribuido a nutrir ese imaginario simbólico de la denominada “familia hidráulica cubana”, que hoy se continúa construyendo, signado por las urgencias contextuales. Como tributo de evocación y respeto, seguidamente nos aproximamos a ese patrimonio insoslayable. 



# CELEBRAN TRABAJADORES HIDRÁULICOS CUMPLEAÑOS DE FIDEL<sup>1</sup>

**voluntad  
HIDRAULICA**

**COMUNICACIÓN INSTITUCIONAL**



Los trabajadores del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) celebraron el cumpleaños 90 del líder histórico de la Revolución Cubana Fidel Castro en ocasión del aniversario 54 de creada esa entidad.

Este homenaje al comandante en jefe se realizó en el tanque principal del Gato, del municipio Cotorro al este de La Habana donde se clora el preciado líquido procedente del sistema hidráulico para abastecimiento público.

El centro se inauguró por Fidel el 24 de diciembre de 1987 con dos espacios de concreto que receptionan 60 mil metros cúbicos de agua potable destinada al suministro de la población además de otras funciones de esa instalación.

Los asistentes al encuentro apreciaron la presentación filmica sobre Fidel durante visitas a instalaciones hidráulicas del país y escucharon sus diálogos con trabajadores y funcionarios de esa esfera laboral.

El ingeniero Alfredo Álvarez asesor de la presidencia del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), director provincial de acueducto en ciudad de La Habana por aquella

<sup>1</sup> Por Lorenzo Oquendo | Periodista Radio Habana Cuba.





época, narró experiencias de vínculo con el comandante en jefe para la ejecución de obras hidráulicas.

Inés María Chapman presidente del Instituto de Recursos Hidráulicos presentó el libro dedicado a Fidel titulado 90 años de sueños, con reflexiones del líder histórico de la Revolución Cubana acerca de orientaciones relacionadas con las obras para abastecimiento de agua a la población.

Fundamentó la vigencia de las acciones de Fidel para los tiempos actuales donde las variaciones atmosféricas precisan de trabajo sistemático del colectivo laboral hidráulico como ejemplo para las nuevas generaciones del país.

Este 10 de agosto el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) conmemoró 54 años de consti-

tuido con obras de este sector realizadas y otras en ejecución, especialmente la Voluntad Hidráulica que comenzó Fidel nacionalmente extendida a la Política del Agua en el país a pesar del bloqueo que impone el gobierno de Estados Unidos de Norteamérica a Cuba.

Durante el encuentro conmemorativo se reconocieron las tareas realizadas por trabajadores del sector entre 10 y más de 40 años de efectivas funciones y labores.

Al día del trabajador hidráulico este 10 de agosto asistió Mercedes López Acea primera secretaria del Partido Comunista de Cuba en La Habana, junto con representantes del gobierno y organizaciones sociales del país. 💧



# RESUMEN DEL ACTO PROVINCIAL POR EL DÍA DEL TRABAJADOR HIDRÁULICO EN LAS TUNAS<sup>1</sup>

**voluntad  
HIDRAULICA**

**COMUNICACIÓN INSTITUCIONAL**

En la provincia se realizó el acto en conmemoración al día del trabajador hidráulico en la Delegación Provincial, donde se estimularon a los mejores cuadros, trabajadores y mejores entidades del sistema por sus resultados alcanzados, también como parte de la estimulación se le entregó la medalla Armando Mestres a los trabajadores que llevan 20 y 25 años de trabajo ininterrumpido en el sistema de Recursos Hidráulicos. 💧



<sup>1</sup> Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos, Las Tunas.



## DIONISIO DELGADO POZA: PERTINENCIAS PARA EL IMAGINARIO SIMBÓLICO<sup>1</sup>

**voluntad  
HIDRAULICA**

*de esos héroes  
anónimos nuestros...*

Desde siempre se sintió fascinado por el estudio de los ríos. Quizás eso de haber visto la luz por primera vez en la demarcación de Zaza del Medio, cerca de las corrientes del río Zaza marcó para toda la vida a Dionisio Delgado Poza, quien desde hace más de 46 años labora vinculado al vaivén de los Recursos Hidráulicos.

Delgado Poza confiesa que desde pequeño ir a ver los cauces crecidos en tiempos de temporales o abundantes lluvias constituía para él un gran divertimento.


Recuerda que tenía 14 años cuando el ciclón Flora azotó la zona oriental de nuestro país, en 1963, ocasión en la cual en apenas cuatro días se precipitaron las lluvias de casi 12 meses, y los ríos desbordaron sus márgenes hasta límites insospechados. Por ejemplo, el Cauto superó los 70 kilómetros, convirtiéndose en un gran Amazonas.

Igualmente Dionisio trae a colocación que a raíz de aquellos acontecimientos se derivaron las orientaciones del Comandante en Jefe, Fidel Castro Ruz, acerca de la necesidad de profundizar en el estudio de los escurrimientos de los ríos, como elemento indispensable para el desarrollo de la Hidrología en Cuba, e insertada en el ambicioso plan de construcciones hidráulicas emprendidas en la década de 1960.

Es así que a partir de 1970, con poco más de 20 años de edad comienza la relación profesional de Dionisio Delgado Poza con los trajines de la hidrometría, nexos que ha extendido su dinamismo hasta la fecha, al punto que a esta altura de la vida puede declarar: “prácticamente no sé trabajar otra cosa”.

Actualmente, Delgado Poza se mantiene en la dirección técnica de la Empresa de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos de la provincia de Sancti Spíritus, al frente de las labores de hidrometría, función que desempeña desde que se creó esta entidad, en el 2001.

Si bien Dionisio nunca ha ocultado la fuerza de atracción que lo une al conocimiento de los ríos, con similar energía admite no conservar buena memoria. De todas formas confirma que participó en la Campaña de Alfabetización, con cerca de 12 años de edad, algo que tiene avalado con su medalla acreditativa, resulta tradicional su buena actitud ante el trabajo, y siente orgullo de contar con el acompañamiento de su hija Yoandra Delgado Nápoles, así como de sus dos nietos, y una bisnieta.

A todas luces, ejecutoria al estilo de la atesorada por hombres como Dionisio Delgado Poza, construida en el tesón diario, en el amor infinito a la faena de siempre, sin conocer las amarguras de divorcio alguno a lo largo de más de 45 años de arduo bregar, devienen paradigmas y contribuyen a nutrir el imaginario simbólico de eso que se acuñó como “la familia hidráulica cubana”. 



Dionisio ha construido su ejecutoria laboral a lo largo de más de 45 años, con amor infinito a la faena de siempre, sin conocer la amargura de divorcio alguno. Delgado Poza no concibe su vida alejada del estudio de los escurrimientos de los ríos.

<sup>1</sup> Por: Lic. Fidel Sagó Arrastre | fidel@hidro.cu | Fotos: Del autor.



# EVELIO MARTÍNEZ MADRIGAL: PERTINENCIAS PARA EL IMAGINARIO SIMBÓLICO<sup>1</sup>

 **voluntad  
HIDRAULICA**

*de esos héroes  
anónimos nuestros...*

Tras los primeros minutos de conversación con Evelio Martínez Madrigal una certidumbre fue ganando dimensión hasta convertirse en una verdad compartida luego por varias personas de su entorno cotidiano, y que subraya el imperativo de sostener un diálogo mucho más extenso con este hombre en otra oportunidad, pues su diligencia desborda los objetivos planteados en estas líneas. Por consiguiente, el presente texto recoge una breve síntesis de aproximación a esta personalidad, y su ampliación adquiere categoría de deuda pública.

Para intentar comprender semejante trascendencia, imagínense que de una forma u otra su relación con la rama hidráulica acumula cerca de 60 años, según advierte el propio Evelio, pues remarca que ese nexo comenzó a mediados de la década del 50 del pasado siglo siendo estudiante de bachillerato en el Instituto de Segunda Enseñanza, aunque desde joven era pescador submarino, motivado por el atractivo que le inspiraba el agua.

Tras escenificar diversos capítulos que de cierta forma resumen su actividad revolucionaria, ligada a Anecio Pérez Hernández (hermano del Comandante Faustino, el primer presidente y fundador del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (<INRH>), en el año 1965, y hasta 1970, Evelio se incorpora a estudiar Ingeniería Civil, en la Facultad de Tecnología del naciente Instituto Superior Tecnológico José Antonio Echeverría (CUJAE). Precisa que en esos inicios la carrera de Ingeniería Civil incluía de forma conjunta, hasta cuarto año, las especialidades de Estructura, Vial, e Hidráulica, la cual asume en el momento de la definición.

De esa época en la CUJAE guarda recuerdos de entrañables compañeros, particularmente del Dr. Diosdado Pérez Franco, artífice de la Hidráulica en Cuba. Prueba de su evocación constante del legado del finado profesor es el tejido perteneciente a Pérez Franco que trajo para la Casa-Museo La Guayabera, de Sancti Spiritus, con la colaboración de Nilda, su viuda.

Fiel a su condición de instructor no graduado desde la etapa de estudiante, al concluir la carrera de Ingeniería, en 1970, Martínez Madrigal permaneció como Profesor en la CUJAE durante diez años, con una escala muy importante fijada en 1978, fecha en la cual obtiene el título de Máster en Ciencias.

A principios de 1980 retorna a Sancti Spiritus. Durante siete años labora en el sector de Comunales en el área de inversiones atendiendo obras de viales, edificaciones de viviendas, así como las redes de acueductos y alcantarillados. Entre 1987 y 1990 dirige la Empresa de Proyectos Número Nueve (EMPROY 9) del Ministerio de la Construcción de la provincia, y posteriormente ingresa en los trajes relacionados con el abasto de agua potable a la población, y las soluciones de drenajes y alcantarillados, ámbito en el que permanece trabajando en estos momentos.

Los diversos trabajos de investigación y desarrollo realizados, los cursos de post grado impartidos, las publicaciones docentes dadas a conocer, las actividades socio-políticas en que ha prestado su concurso, además de los disímiles reconocimientos recibidos, conforman una extensa trayectoria cimentada por el MSc. Ing. Evelio Martínez Madrigal, oriundo de la tierra del Yayabo, quien vio la luz el 11 de junio del año 1941, devenido hoy, sin lugar a dudas, un portento insoslayable de la “familia hidráulica cubana”, cima aderezada con sus 75 años, y un entusiasmo secular. 💧



Las diligencias de Evelio desbordan los objetivos planteados en estas líneas, y exigen un diálogo más reposado. La evocación del legado del Dr. Diosdado Pérez Franco, un artífice de la Hidráulica en Cuba, lo llevó a la Casa-Museo de La Guayabera en Sancti Spiritus.

<sup>1</sup> Por: Lic. Fidel Sagó Arrastre| fidel@hidro.cu | Fotos: Del autor.

## LUIS VALDIVIA ABREU: PERTINENCIAS PARA EL IMAGINARIO SIMBÓLICO<sup>1</sup>

Luis Valdivia Abreu lleva sobre sus hombros un cometido que constituye fuente de satisfacción personal y profesional, algo que cala profundo en su universo espiritual, como hacen en la tierra las raíces de los árboles frondosos para asegurar sus frutos: desde hace 38 años es uno de los primeros ingenieros hidráulicos de la provincia de Sancti Spíritus, y por añadidura se mantiene en su terruño, activo e integrado a una rama sustantiva que nutren su especialidad.

Valdivia Abreu nació en la ciudad de Sancti Spíritus, el 25 de junio de 1952. Descendiente Clara Abreu Palmero, su madre, y Luis Valdivia Bernal, su padre, el joven se encontraba estudiando Ingeniería Civil, en Santa Clara, cuando en 1973 hicieron un llamado para cursar la Ingeniería Hidráulica, que se iniciaba como una nueva carrera en el Instituto Superior José Antonio Echeverría (CUJAE), ubicado en la capital cubana. Sin titubear se enroló en esa contienda.

Luis recuerda perfectamente el día que comenzó a trabajar: eso fue el 21 de agosto de 1978, tras graduarse de Ingeniero Hidráulico en la (CUJAE). Actualmente se desempeña como especialista en mantenimiento de obras hidráulicas en la Empresa de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos de la provincia de Sancti Spíritus. Tradicionalmente Valdivia ha estado relacionado con la actividad de los recursos hidráulicos, en funciones concernientes a la vigilancia técnica de los embalses, las labores de hidrometría de explotación, las inversiones para ampliar infraestructuras, así como el planeamiento hidráulico, importante frente que está en la génesis de nuestro sistema que desapareció a finales de la década del 80 y principios de la del 90 del siglo pasado, y que afortunadamente resurgió hace unos años.

Luis Valdivia asume la presidencia de la Sección de Base de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC) en la Empresa de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos de la provincia de Sancti Spíritus, organización en la cual ha sido distinguido con el Premio Nacional Vida y Obra de Ingeniería Hidráulica, conferido por la Sociedad de Ingeniería Hidráulica, en reconocimiento a la destacada trayectoria laboral, profesional y humana acumulada. También es poseedor de la Medalla Armando Mestre, otorgada por el Sindicato Nacional de los Trabajadores de la Construcción de Cuba (SNTC), por mantenerse durante más de 25 años laborando ininterrumpidamente en el sector.

A lo largo de más de cinco lustros ha mantenido una feliz relación matrimonial con la compañera Mirtha Pérez Farfán, una garantía segura en su retaguardia familiar que funge como sostén de sus éxitos, al igual que el acompañamiento de su hijo de 25 años de edad que trabaja en el sector cuentapropista.

Valdivia Abreu nunca ha perdido su afán de superación para perfeccionar sus habilidades profesionales, y en tal dirección ha cursado diversos estudios de post grado y otros cursos de superación auspiciados por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH).

Esa capacitación y su sentido de solidaridad le han permitido transmitir oportunamente sus conocimientos y experiencias a las nuevas generaciones, destacándose su rol como tutor de varias tesis de grado en opción al título académico de Ingeniero Hidráulico. 💧

**voluntad  
HIDRAULICA**

*de esos héroes  
anónimos nuestros...*



Valdivia ha sido distinguido con el Premio Nacional Vida y Obra de la Ingeniería Hidráulica, conferido por la UNAICC. Luis lleva sobre sus hombros un cometido que cala profundo en su universo espiritual, como las raíces de los árboles frondosos en la tierra.

<sup>1</sup> Por: Lic. Fidel Sagó Arrastre | fidel@hidro.cu | Fotos: Del autor.



# LUIS DANILO LOYOLA MARTÍNEZ: PERTINENCIAS PARA EL IMAGINARIO SIMBÓLICO<sup>1</sup>

 **voluntad  
HIDRAULICA**

*de esos héroes  
anónimos nuestros...*

Luis Danilo Loyola Martínez es una enciclopedia viviente en lo relativo a la dinámica de los recursos hidráulicos en la provincia de Sancti Spíritus, sobre todo en los últimos 55 años, período que justamente reúne como trabajador del sector. Al crearse el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), el 10 de agosto de 1962, ya hacía un año que este hombre trabajaba en el departamento de Recursos Hidráulicos perteneciente a la sazón al Ministerio de Obras Públicas en Santa Clara.


Antes, del año 1958 hasta 1961 integró las filas del Ejército Rebelde. Loyola Martínez había visto la luz por primera vez el 13 de agosto de 1936, “confluye en fecha de nacimiento con el Comandante en Jefe, Fidel Castro” en el poblado de Iguará, demarcación correspondiente al municipio de Yaguajay, en la provincia de Sancti Spíritus. Inicialmente, Luis profundizó sus conocimientos hidráulicos, de forma práctica y teórica, con la asesoría de especialistas búlgaros y rusos. También, subraya, tuvo la oportunidad de trabajar personalmente con el Comandante Faustino Pérez Hernández, cuando el primer presidente del INRH estuvo constituyendo el organismo en la zona central del archipiélago cubano.

Las huellas de este fundador del INRH han quedado marcadas en los quehaceres afines a la topografía, la hidrogeología y el planeamiento hidráulico, entre otras aristas, en toda la geografía de Sancti Spíritus, y de la otrora provincia de Las Villas, que abarcaba los territorios de las actuales Villa Clara, y Cienfuegos. Coincidentemente, el mismo año que comenzó a prestar servicios en la rama hidráulica, en 1961, Luis Danilo se casó con su compañera de la vida, la Dra. en Pedagogía y Psicología, Celia Esperanza Vega Escarrá, egresada de la Universidad de La Habana, quien se mantuvo laborando hasta su jubilación.

Loyola Martínez invariablemente aspiraba a estudiar Ingeniería Mecánica, carrera que se cursaba en la ciudad de Santiago de Cuba, en el extremo oriental del país, pero por diversas razones su sueño nunca se materializó, pese a la voluntad personal, y a la de los progenitores Hilaria Martínez Rodríguez, madre, y Francisco Loyola Carabeo, padre. De todas formas, en la década del 80 del pasado siglo, estudió y se graduó de técnico medio en Agronomía.

Con sano orgullo, destaca, que posee una montaña de diplomas como innovador y racionalizador, frutos de su habitual participación en los Fórum de Ciencia y Técnica que se realizan tradicionalmente en el país. Además por varios años mereció la condición de Vanguardia Nacional del Sindicato de los Trabajadores de la Construcción (SNTC).

Hoy con problemas en la piel, con una hernia y otras afectaciones de la salud personal, Luis Danilo ya piensa en quedarse en casa descansando, aunque expresa que siempre estará dispuesto a brindar su colaboración y experiencia cuando se necesite realizarle alguna consulta.

Y solicitudes de consejos seguramente no faltarán, pues Loyola Martínez conoce como pocos la génesis de la ejecución de los primeros embalses de Sancti Spíritus, como Siguaney y Zaza, los móviles de algunos errores cometidos en aquellos tiempos, así como los primeros esquemas hidrogeológicos del territorio, por mencionar tres coordenadas. He aquí, en suma, un repertorio de cultura hidráulica y sapiencias insoslayables. 



Luis Danilo Loyola Martínez acumula un repertorio de cultura hidráulica y sapiencias insoslayables. Las huellas de este fundador del INRH han quedado marcadas en los quehaceres afines a la topografía, la hidrogeología y el planeamiento hidráulico, en toda la geografía de Sancti Spíritus.

<sup>1</sup> Por: Lic. Fidel Sagó Arrastre | fidel@hidro.cu | Fotos: Del autor.



# IMPRONTA DE FIDEL ENTRE HIDRÁULICOS GRANMENSES<sup>1</sup>

voluntad  
HIDRAULICA

COMUNICACIÓN INSTITUCIONAL



Providencial resonancia, más allá de las fronteras territoriales, ha adquirido una exposición montada en el vestíbulo de la sede de la Delegación del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) en la provincia de Granma, dedicada a homenajear al Comandante en Jefe, Fidel Castro Ruz, a propósito de la celebración del cumpleaños 90 del máximo líder de la Revolución Cubana.

En síntesis, dicha muestra recoge una aproximación a la impronta dejada por el Comandante en Jefe durante sus visitas a esa provincia de la zona oriental del país, y particularmente, el sostenido desvelo de Fidel por el desarrollo de la infraestructura hidráulica en la "Cuna de la Nacionalidad Cubana".

A través de fotografías, ilustraciones, y recortes de periódicos, armonizados con un atractivo diseño, acentuado además con imágenes audiovisuales, se patentiza la persistente presencia y preocupación del Comandante en Jefe por los trabajadores hidráulicos, y en específico, por los hombres y mujeres responsabilizados con las obras encaminadas a garantizar la óptima utilización del agua en el territorio granmense.

En tierras de la provincia de Granma se encuentra gran parte de la senda del río Cauto y sus tributarios, y resulta proverbial el interés de Fidel por el máximo aprovechamiento de las aguas de esos cauces para el beneficio de la economía, la sociedad y el medio ambiente, desde que comenzó el ingente programa de construcción conocido como la "Voluntad Hidráulica", a partir de las terribles secuelas dejadas por el ciclón Flora, en octubre de 1963.

<sup>1</sup> Por: Lic. Fidel Sagó Arrastre | fidel@hidro.cu | Fotos: Del autor y cortesía del INRH en Granma.





Desde el punto de vista hidráulico, la Corojo constituye toda una joya surtidora.



Reina Pompa Fajardo es la única mujer del colectivo de trabajadores de la presa Corojo, y ya excede los 21 años de labor en ese embalse.

Todo un equipo de producción corrió a cargo de la realización y montaje de la exposición, entre los cuales se destacan Rafael Chid, diseñador contratado a través de la Asociación Cubana de Comunicadores Sociales (ACCS), la especialista en seguridad informática, Yanisleydis Oduardo Jorge, joven egresada de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), Marbelis Ocampo, subdelegada adjunta, y Yacel Vázquez Áreas, subdelegado de inspección estatal, entre otros compañeros.

## Sucesión de la impronta de Fidel

Se recuerda en la exposición que el 30 de mayo de 1968, el Comandante en Jefe recorrió riveras del caudaloso río y participó en un acto de inauguración de obras hidráulicas del Cauto.

Asimismo, se trae a colación las visitas realizadas por Fidel, en noviembre de 1988, a las presas Corojo y Cauto del Paso durante la construcción de esos embalses, en el contexto de la conmemoración del trigésimo aniversario de la Batalla de Guisa, dirigida personalmente por el líder de la Revolución.

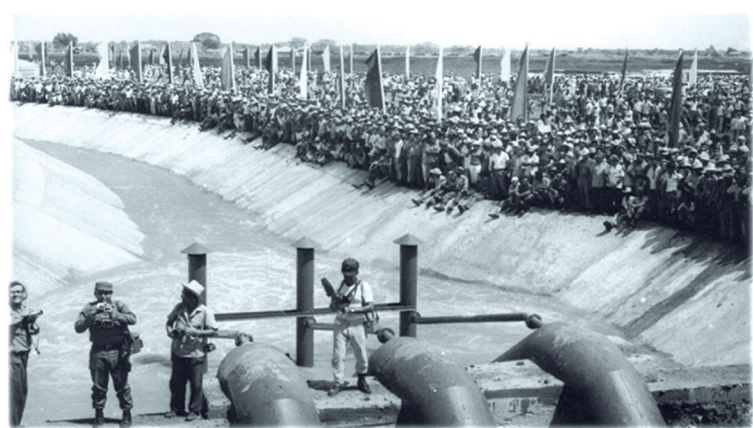
La presa Corojo deviene todo un símbolo que sirve para validar y justipreciar la clarividencia del Comandante en Jefe al impulsar el desarrollo hidráulico, algo vigorizado además con una dimensión histórica y patriótica, pues el embalse está ubicado en un pedestal de la Sierra Maestra, y justamente en Guisa, terruño donde se libró y ganó una relevante batalla del Ejército Rebelde que contribuyó al triunfo de la Revolución, el primero de enero de 1959.



Imágenes durante su recorrido por las presas en construcción.



INAUGURACIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS DEL CAUTO, 30 DE MAYO DE 1968



PRESA CAUTO DEL PASO, 29 DE NOVIEMBRE DE 1988

El Jefe de la revolución abanderará al primer contingente hidráulico "Celia Sánchez Manduley"



Al centro de la imagen el jefe de brigada de la presa Corojo, Emilio Espino Fajardo, acompañado por los trabajadores Daniel Álvarez Fajardo (con gorra), y Juan Bárzaga García (con sombrero).


Muy consciente de esa repercusión se muestra Emilio Espino Fajardo, jefe de brigada de la presa Corojo, perteneciente a la Empresa de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos del (GEARH). Se dice fácil, pero difícil resulta materializarlo: este hombre lleva 26 años al frente de la instalación, pues asume la misión desde su inauguración, en noviembre de 1990.

Al interrogar a Espino Fajardo acerca de la forma de rendir tributo a semejante trascendencia, responde con precisión: "La infraestructura hidráulica de la presa se preserva sistemáticamente, la obra mantiene la condición de Excelencia desde el año 2000 <<movimiento que exige que las instalaciones hidráulicas mantengan eficientemente todos sus parámetros de diseño>>, el grupo de trabajadores está distinguido como Colectivo de la Dignidad, y declarado Centro Promotor de la Honradez y la Eficiencia, entre otros diversos certificados recibidos".

Esa agrupación hidráulica está integrada por 13 trabajadores, en la cual el que menos tiempo de permanencia acumula, ya supera los seis años, mientras otros, como Daniel Álvarez Fajardo, que trabajó en la construcción de la presa Corojo, y luego se incorporó a la ejecución de Cauto del Paso, lleva 14 años, en tanto la única mujer del grupo, Reina Pompa Fajardo, excede los 21 años, como celosa veladora de los niveles de agua del embalse mediante la sección de escala, entre otras tareas.

Por otro lado, desde el punto de vista hidráulico, la Corojo es una joya surtidora. El embalse está diseñado para almacenar 96 millones de metros cúbicos de agua, y dado su fértil escurrimiento, es capaz de entregar anualmente unos 180 millones, líquido destinado a beneficiar áreas agrícolas, la producción hidroenergética, y el abasto a la población de la ciudad de Bayamo, capital provincial de Granma, a través del curso del río, un canal, y la planta potabilizadora Santa Isabel.

## Dos rastros de una misma órbita

La exposición alegórica a la prolongación de la acción y el pensamiento de Fidel entre los hidráulicos granmenses, y el monumento hidráulico que constituye la estabilidad de la presa Corojo, levantada con el acicate y estímulo del Comandante en Jefe, son apenas dos rastros que se insertan en una misma órbita mayor, que se acopla con la inmortalidad del ejercicio creador del máximo líder de la Revolución, sustento material e intangible para continuar inspirando visiones ecuménicas, sobre todo en las nuevas generaciones. 



# LOS TRABAJADORES DE RECURSOS HIDRÁULICOS EN HOLGUÍN, SALUDAN CON JÚBILO, EL CUMPLEAÑOS DE FIDEL CON LA REFORESTACIÓN DE 90 ÁRBOLES EN LA FRANJA FORESTAL DE PROTECCIÓN DE LA PRESA GÜIRABO...

 **voluntad  
HIDRAULICA**

**COMUNICACIÓN INSTITUCIONAL**



En la mañana del 5 de agosto en vísperas de la celebración del Día del Trabajador Hidráulico y del 90 cumpleaños de nuestro Comandante Fidel, los trabajadores de Recursos Hidráulicos en Holguín plantaron 90 árboles y dejaron inaugurado el “Bosque 13 de Agosto”, con el objetivo de mejorar la franja forestal de protección y con ello la calidad del agua del Embalse Güirabo, fuente de abasto a la población de la ciudad cabecera del municipio Holguín.

Con esta bella actividad se rindió homenaje al principal promotor de la reforestación en Cuba, nuestro queridísimo FIDEL CASTRO RUZ.

En el sencillo pero emotivo acto se destacaron las ideas de Fidel como incansable luchador por la protección del medio ambiente e impulsor de la Voluntad Hidráulica que hoy disfrutamos.





... Gracias por todo Fidel (Poema “Canto a Fidel”, de Carilda Oliver Labra).

Para darle continuidad a estas ideas y seguir conmemorando de esta forma los cumpleaños venideros de nuestro Comandante, cada año en esta fecha se plantará un árbol para continuar fomentando y enriqueciendo el “Bosque 13 de Agosto”. 💧



## LANZAMIENTO OFICIAL DEL EVENTO CUBAGUA 2017<sup>1</sup>



El lanzamiento oficial del CUBAGUA 2017 tuvo lugar a finales de julio del presente año, el cual tiene como lema central “Desafíos del agua ante el cambio climático”.

En su 2da edición, este evento propiciará y brindará todas las facilidades para el intercambio de conocimientos, la difusión de información actualizada y la promoción de tecnologías y productos asociados al manejo y uso del Agua.

Presidieron el lanzamiento: Abel Salas, Vicepresidente Primero del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), Ing. Ana Lydia Hernández, Directora de Gestión e Innovación de Tecnología del INRH, MSc Rosemaire Ricardo, Directora de Relaciones Internacionales y Comercio Exterior del INRH, Arq. Mercedes Elester, Presidenta de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC), Ing. Rafael Feitó, Presidente de la Sociedad de Ingeniería Hidráulica y el Lic. Manuel Fong, Director de Cubahidráulica. Participaron además organismos afines a las temáticas, proveedores y representantes de firmas.

CUBAGUA 2017 está auspiciado por el INRH, la UNAICC, la Sociedad de Ingeniería Hidráulica y compuesto por 3 eventos teóricos como son: XIII Congreso internacional de ingeniería hidráulica, IX Seminario del Uso Integral del Agua y el

<sup>1</sup> Lic. Annalie Hernández Navarro, comunicadora.





I Taller de gestión integrada de cuencas hidrográficas (a 20 años de la creación de los consejos de cuencas en Cuba) que tendrán sede en el Palacio de las Convenciones. Además contará con exposiciones asociadas como son: Exposición de tecnologías y productos del Agua y el II Simposio técnico-comercial en el Recinto Ferial PABEXPO.

El Presidente del Comité Organizador, Abel Salas expresó su confianza en el éxito de esta edición, que motivará el reconocimiento de Cuba en materia de recursos hidráulicos entre los países de la región, y propiciará el acceso a mejores tecnologías para la gestión del agua. Teniendo en cuenta las experiencias y resultados del evento del 2015. 💧

Los esperamos en Marzo del 2017!!

Para mayor información puede acceder a la página <http://infoagua.hidro.cu> o escribirnos al correo [cubagua@hidro.cu](mailto:cubagua@hidro.cu).

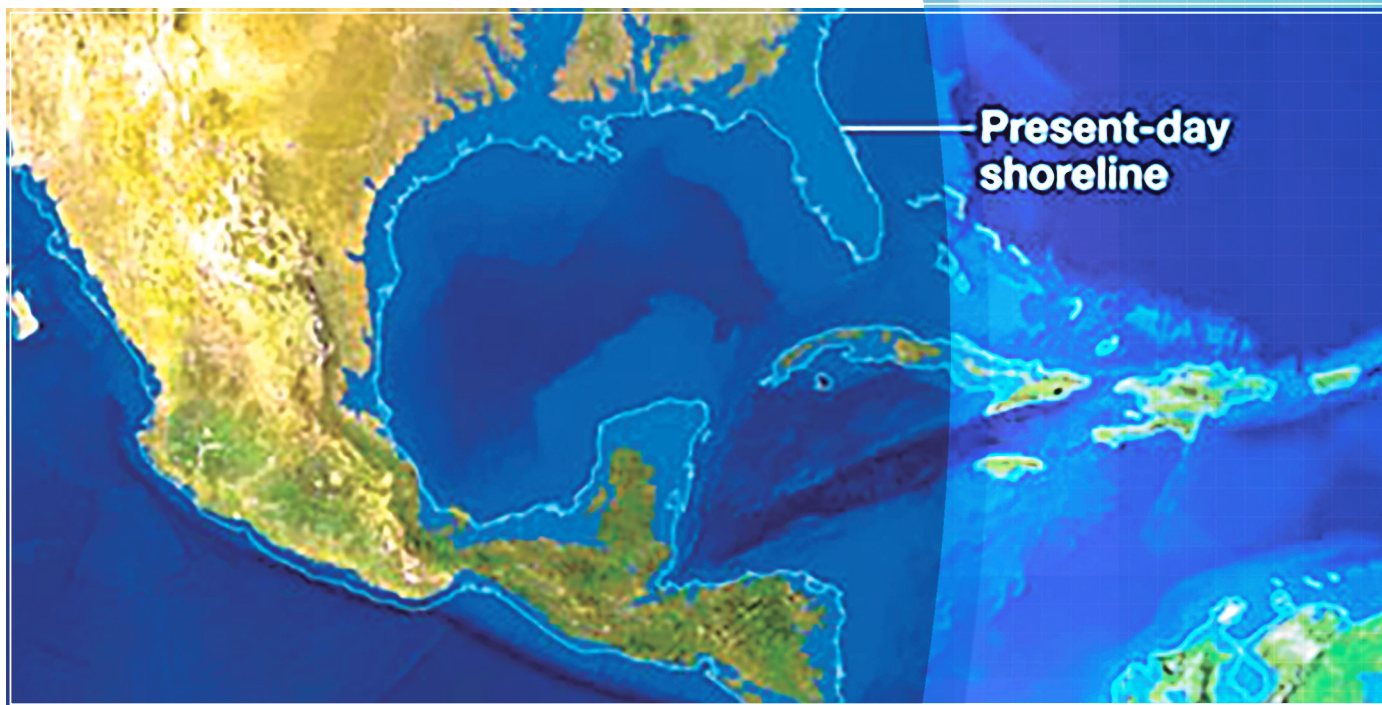


## EL MAR DE CUBA SE HA ELEVADO 6,77 CENTÍMETROS<sup>1</sup>

El aumento del nivel del mar es una consecuencia de los efectos del cambio climático especialmente notable para los países insulares.

 **voluntad  
HIDRAULICA**

**COMUNICACIÓN INSTITUCIONAL  
QUÉ DICE LA PRENSA**




Expertos cubanos confirmaron en la Convención Internacional Trópico-2016 que como consecuencia del cambio climático el nivel del mar en la Isla se ha elevado en 6,77 centímetros, informa este jueves el sitio digital Cubadebate.

Maritza García García, directora de la Agencia de Medio Ambiente (AMA), perteneciente al Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, expresó que este aumento está comprendido entre los años 1966 y 2015.

Explicó que sistemáticamente se chequea esta problemática, que está afectando en primera instancia las zonas bajas de los litorales costeros, detalla el sitio.

Actualmente varios programas y modelos computarizados posibilitan dar una panorámica aproximada de la incidencia de la penetración del mar tierra adentro en los venideros cien años.

Estos estudios permiten determinar la realización de posibles inversiones y la construcción de asentamientos poblacionales, precisó, según cita Cubadebate.

García aseveró que en estas labores participan un amplio grupo de trabajo integrado por Organismos de la Administración Central del Estado, entidades científicas y universidades, entre otras. 

<sup>1</sup> <http://www.juventudrebelde.cu/ciencia-tecnica/2016-06-02/el-mar-de-cuba-se-ha-elevado-677-centimetros/>



## EL CALOR TIÑE DE ROJO SANGRE 'MAR MUERTO' CHINO

 **voluntad  
HIDRAULICA**

### *CURIOSIDADES*

El color llamativo del agua, que da la sensación de que el lago acaba de ser escenario de una matanza de cetáceos, aún no se ha extendido por todos sus 132 kilómetros cuadrados de superficie.

La carretera que divide en dos el lago Xiachi permite apreciar el contraste entre la parte donde han proliferado las algas y la que sigue conservando el color habitual. (RT).


Sin duda bastante extraño e interesante, y da que pensar en cuanto puede ocurrir con el aumento del calor.

Un aumento de la temperatura del agua del lago Xiachi, en la provincia china de Shanxi, propició una proliferación inusual del alga 'Dunaliella salina'. La 'florescencia' de esta alga tiñe el agua de un color rojizo que se expande gradualmente por la superficie de este lago de aguas saladas, conocido como 'el mar Muerto chino'.

Aunque este fenómeno no es frecuente, en los últimos años ha sido detectado en las costas de California (EE.UU.), en Francia, Turquía y, el pasado julio, en Irán.

En el mar este mismo microorganismo es de color verde, destacó a la revista 'National Geographic' Mohammad Tourian, de la Universidad de Stuttgart, en Alemania, quien observó una proliferación similar de estas algas en el lago Urmia, en el noroeste de Irán. Sin embargo, en condiciones de alta salinidad y luz intensa los mismos microorganismos se vuelven rojos debido a la producción de carotenoides protectores en sus células, explicó el científico.

El color llamativo del agua, que da la sensación de que el lago acaba de ser escenario de una matanza de cetáceos, aún no se ha extendido por todos sus 132 kilómetros cuadrados de superficie, según 'China Daily'.

La carretera que lo divide en dos permite apreciar el contraste entre la parte donde han proliferado las algas y la que sigue conservando el color habitual. 






# EL AGUA: UN RECURSO ABUNDANTE QUE NO ESTÁ EN TODAS PARTES (WWW.IAGUA.ES)

 voluntad  
HIDRAULICA

## MENSAJES EDUCATIVOS

- ☞ Hoy en día, casi 1600 millones de personas viven en países que sufren escasez de agua y la cifra podría duplicarse en las próximas dos décadas.
- ☞ A medida que se reduce el potencial para generar nuevas fuentes de agua, el uso más eficiente de este recurso adquiere importancia crítica para satisfacer la demanda futura.
- ☞ El Banco Mundial trabaja con países de todo el mundo para ayudar a garantizar que los recursos hídricos sigan siendo seguros a través de medidas destinadas a promover el uso eficiente del agua, incluido el mejoramiento de las prácticas agrícolas.
- ☞ El agua no solo es esencial para la vida humana, sino que resulta un factor vital para la producción, lo que significa que la reducción del suministro puede traducirse en un menor crecimiento económico.
- ☞ En una evaluación reciente titulada *High and Dry: Climate Change, Water and the Economy*, se concluyó que para 2050 las tasas de crecimiento de algunas regiones disminuirían hasta un 6 % del producto interno bruto (PIB) debido a pérdidas relacionadas con el agua en varios sectores. El informe fue elaborado por el Departamento de Prácticas Mundiales de Agua del Grupo Banco Mundial.
- ☞ Se prevé que el cambio climático acentuará la magnitud de la escasez de agua, especialmente en las regiones que ya padecen el problema.
- ☞ La escasez de agua es uno de los temas prioritarios del Grupo de Alto Nivel sobre el Agua, designado por el secretario general de las Naciones Unidas, Ban Ki-moon, y el presidente del Grupo Banco Mundial, Jim Yong Kim. El objetivo de dicho grupo es promover la adopción de medidas eficaces encaminadas a acelerar la implementación del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6), que se centra en garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.
- ☞ Hay diversas opciones para encarar este desafío: aumentar el suministro de agua utilizable, entre otras cosas mediante la desalinización, el almacenamiento y la reutilización; mejorar la asignación de acuerdo con criterios económicos, sociales y ambientales, y mejorar la eficiencia en el uso del agua y la productividad hídrica, una herramienta importante con la que aún pueden obtenerse muchos beneficios.
- ☞ A medida que se reduce el potencial para generar nuevas fuentes de agua, el uso más eficiente de este recurso adquiere importancia crítica para satisfacer la demanda futura. Las intervenciones en materia de políticas pueden incentivar a los usuarios a adoptar tecnologías más eficientes a través de mecanismos como la fijación de precios, los cupos y los mercados del agua.
- ☞ El Banco Mundial ha venido trabajando con países de todo el mundo para ayudar a abordar los desafíos que plantean los cambios en el suministro de agua y las variaciones en las demandas de dicho suministro. 



# NORMAS PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS

## Amigo Lector,

Nuestra revista se encuentra abierta a la recepción de contribuciones de autores nacionales y extranjeros que contribuyan al cumplimiento de la misión de la misma y que acepten y respeten las normas y procedimientos que se han establecido como Política Editorial. **Se aceptan las siguientes contribuciones:**

- **Artículos informativos de divulgación científico-técnica:** Con resultados o nuevos aportes para ser difundidos y del área temática de la revista; no deben exceder las 10 páginas incluyendo el resumen, las tablas, las figuras, mapas y las referencias bibliográficas.

## Normas de presentación:

Los artículos informativos de divulgación científico-técnica deben ser originales o inéditos, no deben estar postulados para publicarse en otras revistas, deben estar en concordancia con el perfil temático de la revista y sus objetivos y cumplir además con las orientaciones que se dan a continuación:

1. Los autores que postulen ceden los derechos de difusión de estos contenidos a la revista *Voluntad Hidráulica*, con permiso de reproducir sus contenidos en conferencias, congresos, talleres científicos, en la página Web de la institución y en otras actividades docentes o académicas.
2. Presentación y estructura:

## Tipo de letra y espaciado

En el cuerpo del texto se empleará el tipo de letra Arial, puntaje 12, texto justificado y con un interlineado de 1,5 simple espacio, a excepción de los títulos de las contribuciones que se escribirán en mayúsculas, centrados y con el tipo de letra Arial, puntaje 14.

## Los epígrafes y sub-epígrafes

Los epígrafes y sub-epígrafes serán numerados de manera ordenada y consecutiva hasta el tercer nivel de agregación, se empleará la negrita en cada caso. Ejemplo:

### 1. Desarrollo

#### 1.1. Los acueductos en las zonas costeras

##### 1.1.1. Fuentes de contaminación

A partir del tercer nivel los sub-epígrafes se enunciarán en negrita y sin numeración.

## Normas de estructuración del contenido del trabajo

**Título:** No excederá de 20 palabras, debe ser conciso, evitar las siglas, y expresar la idea central del trabajo.

**Datos de los autores:** De cada autor se debe enunciar nombres y apellidos completos, la institución a la que pertenece, correo electrónico, ciudad y país. En caso de que los autores pertenezcan a la misma institución no es necesario repetirla, se debe colocar en cada nombre del autor un superíndice y solamente al autor principal se le enunciará la institución.

**Resumen:** El resumen tendrá una extensión entre 75 y 150 palabras, no será estructurado y se escribirá a un solo párrafo, empleando la tercera persona y de manera impersonal. Debe exponer el objetivo, los métodos/procedimientos generales empleados, los resultados y conclusiones principales.

**Palabras claves:** Se escribirán separadas por un guión, deben ser como mínimo 4 y como máximo 7.

**Introducción:** Debe reflejar el problema y los objetivos del trabajo, así como la importancia del aporte que presenta el autor/es.

**Desarrollo:** Es la sección donde se presentan los procesos/técnicas empleadas, así como los resultados con sus respectivos análisis.

**Conclusiones:** Se expondrán las contribuciones científicas o resultados obtenidos y deben estar en correspondencia con los objetivos planteados en la introducción.

**Bibliografía:** Las referencias bibliográficas se realizarán siguiendo la norma **NC 1: 2005 "EDICIÓN DE PUBLICACIONES NO PERIÓDICAS. REQUISITOS GENERALES"**, Oficina Nacional de Normalización.

Ejemplos:

MILANÉS, J. J.: *Obras completas*, Ed. Consejo Nacional de Cultura, t. 1, La Habana, 1963.

PAZOS ÁLVAREZ, V., NORMA ROJAS HERNÁNDEZ y DORA VIERA LÓPEZ-MARÍN: *Temas de Bacteriología*, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1985.

"La calidad de vida en el adulto mayor", en: *La Tercera Edad*, pp. 42-60, Madrid, España, 1987.

UNIÓN DE ESCRITORES Y ARTISTAS DE CUBA: *Estatutos de la UNEAC y reglamentos de las secciones*, 52 pp., Ed. UNIÓN, La Habana, 1979.

ADJABENG, SENYO M.: "Tour-Point Strategy To Taming Your Biases In Mediation"; disponible en: [www.mediate.com/articles](http://www.mediate.com/articles); consultado en Junio 2007.

## Tablas, esquemas, figuras y fotos

Deben venir acompañadas de su título, deben estar en JPG y tener una calidad igual o superior a 300 dpi.

- **Novedades:** Artículos que realicen una valoración de un avance científico-técnico o de nuevas tecnologías, a partir del estudio de fuentes especializadas de información.
- **Comunicación:** Pueden ser entrevistas, reportajes, crónicas, notas técnicas, anuncios o comunicaciones, sobre un tema en particular que tiene relevancia para el público de la revista.
- **Reseñas:** Son textos valorativos acerca de una obra hidráulica de relevancia o una valoración bibliográfica acerca de un tema disciplinar acorde a la temática de la revista.

Los artículos de Novedades, Comunicaciones y Reseñas tendrán una extensión máxima entre 6 y 10 páginas.

**Todos los artículos presentados serán sometidos al proceso de revisión editorial y en el caso de los Artículos Informativos de Divulgación Científico-técnica serán sometidos además al proceso de revisión por pares a doble ciego y por árbitros externos a la entidad del autor.**

Le saludamos afectuosamente y deseamos que se convierta en este 2016, además de en asiduo lector, en nuestro contribuyente más entusiasta.

**Comité de Redacción de la Revista**

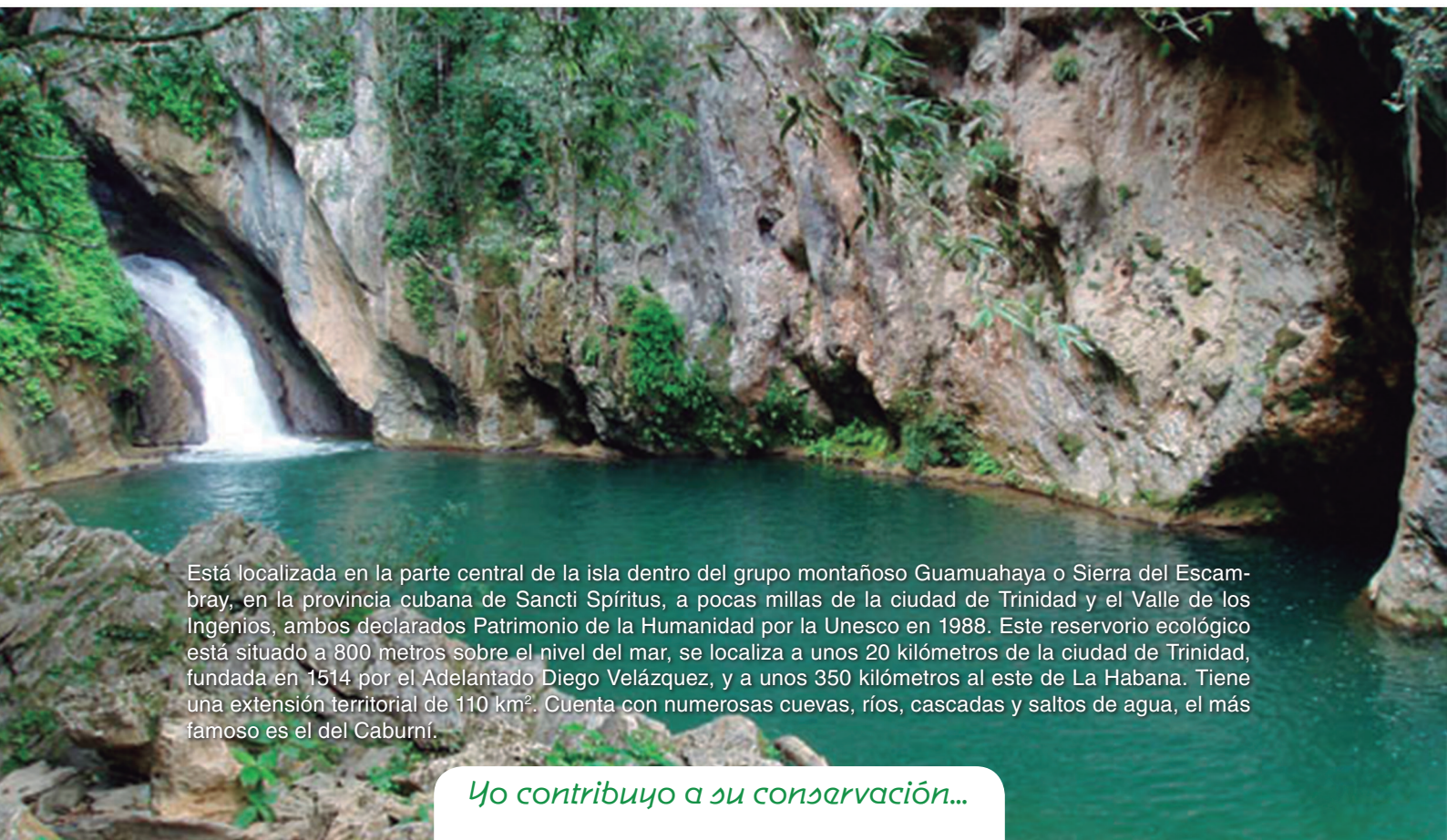




# Topes de Collantes

## PAISAJE NATURAL PROTEGIDO

Grupo montañoso Guamuahaya o Sierra del Escambray.  
Provincia de Sancti Spíritus



Está localizada en la parte central de la isla dentro del grupo montañoso Guamuahaya o Sierra del Escambray, en la provincia cubana de Sancti Spíritus, a pocas millas de la ciudad de Trinidad y el Valle de los Ingenios, ambos declarados Patrimonio de la Humanidad por la Unesco en 1988. Este reservorio ecológico está situado a 800 metros sobre el nivel del mar, se localiza a unos 20 kilómetros de la ciudad de Trinidad, fundada en 1514 por el Adelantado Diego Velázquez, y a unos 350 kilómetros al este de La Habana. Tiene una extensión territorial de 110 km<sup>2</sup>. Cuenta con numerosas cuevas, ríos, cascadas y saltos de agua, el más famoso es el del Caburní.

*¿Yo contribuyo a su conservación...*