

APLICACIÓN DE SIFONES ANTILARVARIOS EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

Por el Dr. CARLOS ALBERTO ALVARADO y el Ing. LUIS SILVETTI PEÑA

Director General de Paludismo y Jefe de la Sección de Ingeniería Sanitaria, respectivamente, Dirección Nacional de Salud Pública

Desde el punto de vista del estado de reposo o de movimiento del agua que constituye el criadero, los anofeles han podido ser divididos en dos grupos, denominados en idioma inglés "pool breeders" y "stream breeders." Los primeros, mucho más numerosos dentro de las especies que transmiten el paludismo, prefieren para sus criaderos, como lo indica su denominación, el agua quieta o estancada. La especie más característica de este grupo en el continente es el *A. quadrimaculatus*, vector del paludismo en los EE. UU.

Los "stream breeders," requieren agua en movimiento (a veces inaparente). Entre las pocas especies vectoras, si no la única de este grupo en el continente, está el *A. pseudopunctipennis* (A.pp.), vector exclusivo del paludismo en la zona endémica del Noroeste Argentino, cuyos criaderos de elección se encuentran en las playas de los ríos, arroyos y otros cursos de agua.

La selectividad de cada especie de anofeles para determinados ambientes hídricos no es una cuestión de preferencia circunstancial o regional, es un hecho permanente, de carácter específico, ligado a la ecología de cada especie. Así los criaderos del A. pp. tienen la misma característica en California que en la provincia de San Luis de la República Argentina, límite boreal y austral de difusión de la especie. Swellengrebel ha establecido las leyes de esta especificidad en los siguientes términos:

- (1) El género Anofeles está compuesto de muchas especies.
- (2) Solamente un cierto número de estas especies poseen caracteres específicos que les permiten actuar como vectores del paludismo.
- (3) La existencia de estas últimas depende generalmente de criaderos especiales (para sus larvas). Cuando se destruyen estos criaderos, la especie anofelina no se conforma con otros menos especializados: ella desaparece.

Como es lógico suponer, las medidas de orden físico y biológico que pueden emplearse para el saneamiento antipalúdico (eliminación o modificación de estos ambientes hídricos) tienen modalidades diferentes según las características físicas y biológicas de los ambientes que son propicios a la especie que se debe combatir.

Entre los métodos empleados contra los criaderos de mosquitos en los cursos de agua, uno que se ha demostrado entre los más eficaces es la inundación intermitente ("antilarval sluicing"), cuya técnica elemental consiste en lanzar en forma periódica, dentro de un curso de agua, un volumen de líquido varias veces superior al normal. El procedimiento más sencillo consiste en utilizar el agua del mismo curso, que se embalsa en un punto elegido con un muro de contención provisto de compuertas; esta compuerta es levantada por un hombre a intervalos establecidos; Williamson y Scharff han empleado esta técnica con éxito en Malaya (1).

El método tiene un doble efecto; aguas arriba actúa en forma indirecta, por las modificaciones de carácter biológico que produce en el medio la fluctuación periódica del nivel; la distancia aguas arriba, de esta acción, estará determinada por la pendiente del cauce y la altura del embalse. Aguas abajo, el efecto es directo, de arrastre de larvas y huevos, y de destrucción de los mismos.

Dispositivos de inundación intermitente.—La inundación intermitente de los cursos de agua es posible efectuarla también con sifones o compuertas especiales que funcionen en forma automática. Los sifones, por su simplicidad, han merecido la preferencia de los malariólogos.

Los sifones funcionan cuando el agua, rebasando un determinado nivel, arrastra consigo el aire del interior, hasta que se produce una acentuada depresión que hace trabajar el tubo a sección llena; a este fenómeno físico se le denomina cebado. Las compuertas automáticas funcionan cuando la presión hidrostática alcanza cierto valor que las hace bascular, permitiendo el paso del agua. En el funcionamiento de los sifones no intervienen piezas móviles sujetas a descomponerse o trabarse, mientras que en las compuertas automáticas todo depende del buen estado en que se conserven los elementos móviles. Los sifones son dispositivos de construcción más fácil y por ello han sido incorporados a la lucha antipalúdica, que siempre debe inclinarse hacia los métodos más simples y seguros. Las compuertas automáticas se calculan y dimensionan fundándose en estrictas condiciones de equilibrio, el cual puede ser alterado por los cuerpos flotantes; es además difícil obtener un cierre estanco y se producen pérdidas de agua si las compuertas no están bien calibradas; por otra parte, su rápido deterioro por la acción del tiempo y del medio es inevitable. Los sifones son más rústicos y toleran errores de calibrage; requieren mínima vigilancia y muy pocos gastos de conservación.

El empleo de sifones es un método de lucha que puede clasificarse entre las obras de carácter permanente, y escalonados adecuadamente, pueden eliminar como criadero un determinado curso de agua.

Características de los sifones antilarvarios.—Los sifones antilarvarios son una adaptación de los sifones usados en la ingeniería hidráulica. La primera aplicación práctica de los sifones se hizo a mediados del siglo pasado, siendo el precursor el Ing. Girard, que los empleó como reguladores del nivel de agua en el canal de Midi (Francia). Desde entonces su uso se ha ido difundiendo y han encontrado múltiples empleos, principalmente como aliviaderos de crecientes en los diques de embalse, y como autorreguladores de nivel en canales o cámaras de carga de las instalaciones hidroeléctricas. Las descargas de estos sifones son aperiódicas y se producen cuando se presentan caudales excedentes. Sifones de descarga periódica se utilizan en obras de ingeniería sanitaria, especialmente para subsanar los efectos de velocidades inadecuadas en los alcantarillados cloacales, y evitar la sedimentación de las materias sólidas acarreadas por las aguas servidas.

Los sifones antilarvarios tienen marcadas diferencias con los empleados en otras ramas de la hidrotécnica, las que provienen de las exigencias a las cuales deben responder. Los sifones aliviaderos y autoniveladores tienen la finalidad de

mantener un cierto nivel del agua, siendo admisible que trabajen parcialmente cebados; esta situación es inadmisibles en los sifones antilarvarios, que en todo momento han de trabajar a sección llena. Los sifones de los alcantarillados se les alimenta con un caudal constante, su régimen de descargas es monótono, mientras que los sifones antilarvarios están supeditados a caudales muy variables. Desde el punto de vista del tamaño, los sifones antilarvarios serán por lo general menores que los sifones aliviaderos o autoniveladores, y mayores que los sifones de los alcantarillados.

Las condiciones que deben llenar los sifones antilarvarios son las siguientes:

- (1) Cebado de corta duración, con mínimo derrame preliminar.
- (2) Desechado energético y rápido.
- (3) Rendimiento hidráulico eficiente.
- (4) Adaptación a caudales variables.
- (5) Facilidad de construcción.
- (6) Seguridad contra obstrucciones por material flotante.
- (7) Resistencia y estabilidad para soportar las crecientes.

Los sifones se instalan comúnmente en los cursos naturales de agua y requieren la ejecución de obras auxiliares para evitar las filtraciones y erosiones.

Algunos tipos de sifones antilarvarios.—El tipo más difundido de sifón antilarvario es el de Macdonald (2), compuesto de tres piezas premoldeadas de concreto, que se montan en obra; una vez armado mide 0.95 m. de alto, 0.65 m. de largo y 0.57 m. de ancho; el conducto por donde circula el agua es de 0.15 in. por 0.45 m.; la capacidad media de descarga ha sido estimada por su autor en 36 litros por segundo. El trazado geométrico de este sifón es similar al de los clásicos sifones Gregotti, muy empleados en diques y canales en Italia. El cebado del sifón Macdonald se induce con un ejector hidráulico interno para la extracción del aire, de traza simple, construído con un caño de hierro galvanizado de 0.02 m. de diámetro, el cual se utiliza también como desechador. La mínima cantidad de agua requerida para cebar este sifón es 0.3 litros por segundo. En cada descarga el nivel del embalse fluctúa 0.38 m.

En Las Filipinas, A. Ejército (3), ha construído un sifón muy parecido al de Macdonald, pero de mayores dimensiones, pues mide 3.0 m. de alto, 3.7 m. de largo y 1.2 m. de ancho. Un aspecto original de este sifón es el haber sido hecho con dos caños comunes de alcantarillado, de 1.0 m. de diámetro, unidos por un codo a 180° de igual sección circular. Para el cebado y desechado se utiliza también un ejector interno de 0.05 m. de diámetro. La capacidad media de descarga es de 830 litros por segundo y aguas arriba se tiene una fluctuación de nivel de 1.4 m.

Los eyectores hidráulicos, para succionar el aire contenido dentro del sifón, exigen un cierto caudal mínimo, por debajo del cual el sifón no se ceba. Este gasto por el ejector adquiere importancia en la época de estiaje pues puede balancear el caudal afluente y producirse un régimen estacionario e inocuo.

Blacklock (4), en un interesante estudio, sugiere una solución para evitar esta pérdida preliminar de agua, solución que se basa en obtener la compresión del aire en el interior del conducto por la misma ascensión del nivel del embalse y mediante un cierre hidráulico de más carga; se establece así una diferencia en los niveles del líquido, en el embalse y en el interior del sifón; cuando el agua dentro del conducto alcance la parte más alta (cresta), debe dejarse escapar el aire a través de una válvula; entonces el agua interior se elevará súbitamente para igualar el nivel de la exterior, pasando por encima de la cresta del conducto y produciendo el cebado del sifón. Esta solución es la misma que ya había encontrado y resuelto el ingeniero M. J. Bruyere (5), pero utilizando en vez de válvula, un tubo acodado con cierre hidráulico, que consiente la salida del aire cuando éste alcanza un cierto grado de compresión dentro del conducto.

W. A. Legween y R. S. Howard (6), han proyectado un tipo de sifón antilar-

vario casi idéntico en su forma al de Macdonald, y al cual se ha agregado el mencionado artificio del Ing. Bruyere para producir el cebado.

Los sifones utilizados en la República Argentina difieren sensiblemente de los mencionados y a su diseño llegó uno de los autores (Ing. Luis Silveti Peña), luego de recoger experiencias en el campo y en el laboratorio.

En el año 1940 la Sección Ingeniería Sanitaria de la Dirección General de Paludismo se abocó al estudio de los sifones antilarvarios. Se comenzó por ensayar el sifón Macdonald, instalándolo en un canal de desagüe, cuyo comportamiento como criadero de A. pp. se conocía bien, a través de varios años de control larvario. Pudo constatarse que su funcionamiento era inseguro; las descargas se iniciaban sin tropiezos, pero su interrupción era muy deficiente y algunas veces el sifón quedaba parcialmente cebado, equilibrándose el caudal afluente con el efluente. También se observó que con un determinado caudal, se producía un régimen de descargas de breve ritmo de intermitencias tal que a poca distancia aguas abajo no se producían variaciones acentuadas en la corriente. Se advirtió entonces que la capacidad de descarga del sifón era insuficiente para el saneamiento del cauce; no obstante y a pesar de estas deficiencias, hasta 500 metros aguas abajo de su emplazamiento no se encontraban criaderos. Se resolvió investigar las causas de las deficiencias observadas en un modelo reducido, para lo cual fué necesario crear un pequeño laboratorio de hidráulica.

Se construyó un sifón Macdonald a escala reducida ($\frac{1}{3}$ del original) con tomas piezométricas y con paredes de vidrio, para que fueran visibles los fenómenos que ocurrían en el interior. La experimentación demostró que la acción sifónica no se interrumpía debido a que la sección del conducto de la entrada de aire era inadecuada, y el aire que penetraba disminuía parcialmente la depresión, reduciendo la descarga a una fracción pequeña de la capacidad normal; se explicaba así el porqué algunas veces se establecía una circulación continua a través del sifón. Esta deficiencia se subsanó ampliando en el modelo, la sección de la toma de aire. Se determinó también el rendimiento hidráulico, verificándose que oscilaba alrededor de 0.33, rendimiento muy bajo, debido a los bruscos codos del trazado geométrico.

Con las comprobaciones efectuadas, se resolvió diseñar un tipo de sifón antilarvario de funcionamiento más franco, de un trazado más hidrodinámico, con curvas menos cerradas y con una entrada de aire completamente independiente del conducto del sifón, lo que permite dimensionarla sin restricciones de espacio, a la vez que asegura una mayor protección contra el material flotante acarreado por la corriente. Se proyectaron varios tipos que luego se construyeron a escala reducida, escogiéndose finalmente el que parecía ajustarse mejor a las condiciones ideales de los sifones antilarvarios.

Sifón antilarvario usado en la República Argentina.—El cebado del sifón antilarvario se provoca con el derrame mismo del agua, una vez que sobrepasa la cresta del conducto; este cebado se produce de una manera directa, sin la ayuda de eyectores o sifones auxiliares; se ha adoptado este método por ser más simple y seguro, ya que se descarta la frecuente contingencia de la obstrucción del cebador, que es siempre un conducto de pequeña sección. Para evitar que la napa vertiente se adhiera a la pared posterior del conducto, se ha dispuesto convenientemente una ranura aereadora, que equilibra las presiones en ambas caras de la napa, consiguiéndose así la formación de una cortina de agua que, al chocar contra las paredes laterales y la pared frontal, va extrayendo en forma progresiva el aire contenido en el interior. Todo el conducto tiene una sección constante; la rama ascendente es rectangular en todo su trayecto, desde la boca de entrada hasta la garganta inclusive; la rama descendente se va cerrando lateralmente conforme se amplía en sentido frontal hasta llegar a una sección cuadrada, que se alcanza en la cubeta de cierre hidráulico; se ha dado esta forma para que la napa choque también contra las paredes laterales desde el primer momento, lo que acelera la expulsión del aire. (V. figura 1.)

Estos sifones han sido concebidos fundamentalmente para instalarlos en varias unidades adyacentes, formando baterías, colocándose uno de ellos con la cresta más baja para inducir el cebado en los demás. Por dicho procedimiento se consigue una gran sensibilidad en el cebado, pues para una batería que tiene una capacidad media de descarga de 2,000 litros por segundo, el cebado se produce con un caudal de 12 litros por segundo. Con el objeto de igualar las presiones internas, los sifones se encuentran intercomunicados a la altura de las gargantas, y para obtener un cierre hidráulico uniforme, que es de capital importancia en el momento de iniciarse el cebado, se han intercomunicado también las cubetas.

Los sifones se han hecho con curvas suaves para aumentar la eficiencia hidráulica; se ha obtenido así un rendimiento de 0.6. El trazado, por otra parte, se adapta a un muro de soporte con las características esenciales de las llamadas presas sumergidas.

La interrupción de la acción sifónica se obtiene por un descebador independiente de los sifones. (V. figura 2.) Los conductos de aire se dimensionan a $\frac{1}{7}$ de la sección de todos los sifones de la batería. La boca de aspiración propiamente dicha tiene forma abocinada, y su perímetro es igual a la suma del ancho de las gargantas de todos los sifones; del desarrollo de este perímetro y de la velocidad con la cual descende el embalse, dependerá la cantidad de aire que penetre en el momento de descubrirse la boca. El aire llega a la boca del descebador por un caño cuya toma está completamente fuera de la zona de embalse, de tal manera que no hay posibilidad de que ésta se obstruya por cuerpos

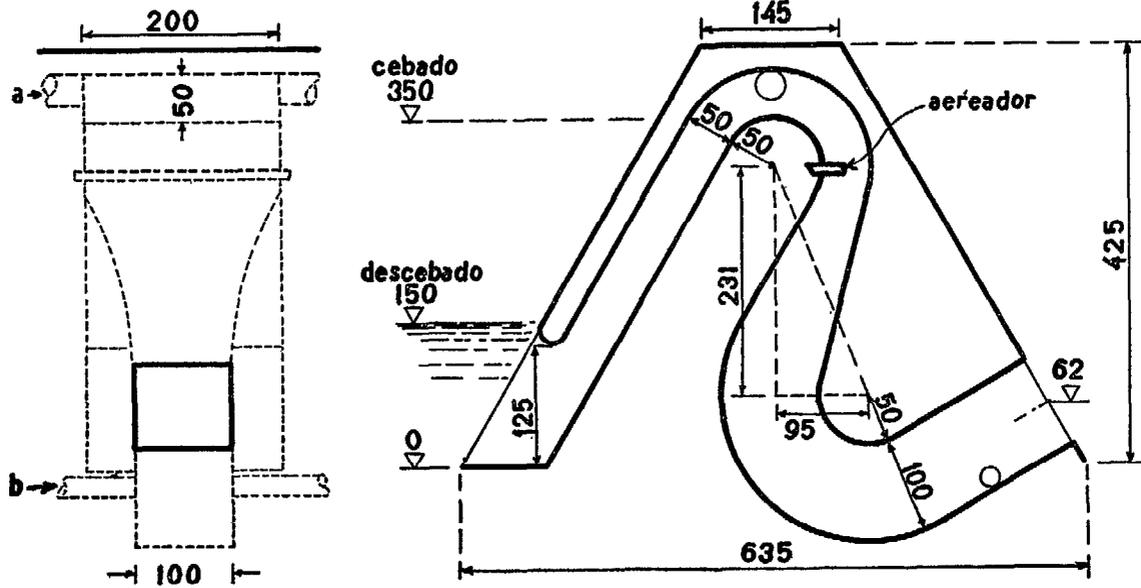


Fig.1.

Trazado geométrico de los sifones: (a) entrada de aire e intercomunicación; (b) intercomunicación de las cubetas. Los números indican dimensiones relativas.

flotantes. El nivel de agua dentro del descebador se establece a través de un orificio que está siempre sumergido con lo cual se reduce al mínimo el peligro de su obstrucción.

El tamaño máximo de los sifones aplicables a la lucha antipalúdica tiene un lógico campo de variación, por encima del cual la obra será antieconómica, siendo preferible, en este caso, aumentar el número de unidades. A continuación se consignan las características más importantes de los sifones cuyas dimensiones estarían dentro de dicho campo.

Dimensión del conducto en la salida (en metros)	Capacidad en litros por segundo	Fluctuación del nivel (en metros)
0.20 x 0.20	70	0.40
0.25 x 0.25	130	0.50
0.30 x 0.30	200	0.60
0.35 x 0.35	290	0.70
0.40 x 0.40	400	0.80
0.45 x 0.45	540	0.90
0.50 x 0.50	700	1.00

Baterías de sifones antilarvarios.—La eficacia antilarvaria de una instalación de sifones dependerá: aguas abajo, del espesor y velocidad de la vena líquida originada por las descargas, y aguas arriba, de la magnitud y rapidez del descenso de nivel del embalse. La elección de los caudales no debe hacerse arbitrariamente, sino después de un estudio topohidrográfico del curso a sanear; deberá conocerse la pendiente longitudinal del cauce y sus secciones transversales, tanto para elegir el sitio más conveniente, como a los efectos del cálculo hidráulico de los caudales de inundación. Igualmente es de capital importancia el conocimiento previo del régimen hidrográfico; los datos del estiaje se les deberá tener en cuenta para prever el cebado en las circunstancias más críticas; los datos de las épocas de lluvia, para que la obra pueda soportar con éxito el paso de las aguas tormentosas.

Cuando se instalan baterías escalonadas en un mismo curso de agua, el funcionamiento de todas estará asegurado si la de más arriba trabaja bien; por ello los cálculos relativos al cebado deberán ser más ajustados y estrictos en la primera batería. Es en ésta en la única que estaría justificado el empleo de dispositivos como el de Bruyere, si la insuficiencia del caudal no permitiera el cebado directo, pero siempre teniendo en cuenta, como ya se dijo, que estos dispositivos auxiliares se obstruyen con facilidad y exigen persistente vigilancia.

Reseña de instalaciones construídas en la República Argentina.—Las baterías construídas por la Dirección General de Paludismo están emplazadas sobre arroyos y arroyuelos, y al diseñarlas se han previsto las crecientes, que pasan por encima del muro de embalse una vez que superan la capacidad de descarga de los sifones. Exteriormente se asemejan a pequeñas presas niveladoras, provistas de un colchón de agua (stilling pool) para proteger el cauce de las erosiones ocasionadas por el chorro effluente de los sifones y para disipar la energía del derrame en las crecientes. La luz libre de la estructura, el alto de los estribos que la

limitan lateralmente, y las dimensiones del colchón de agua, se calcularon como si se tratara de pequeños diques niveladores.

Entre las baterías que prestan servicio, especial mención merecen las construídas en Famaillá (provincia de Tucumán), por ser el conjunto más importante y porque han puesto a prueba las ventajas del método en un criadero natural del *A. pseudopunctipennis*, en un arroyo de lecho arenoso y corriente débil, que debía ser canalizado y petrolizado frecuentemente. Se han emplazado tres baterías, distantes entre sí 1,200

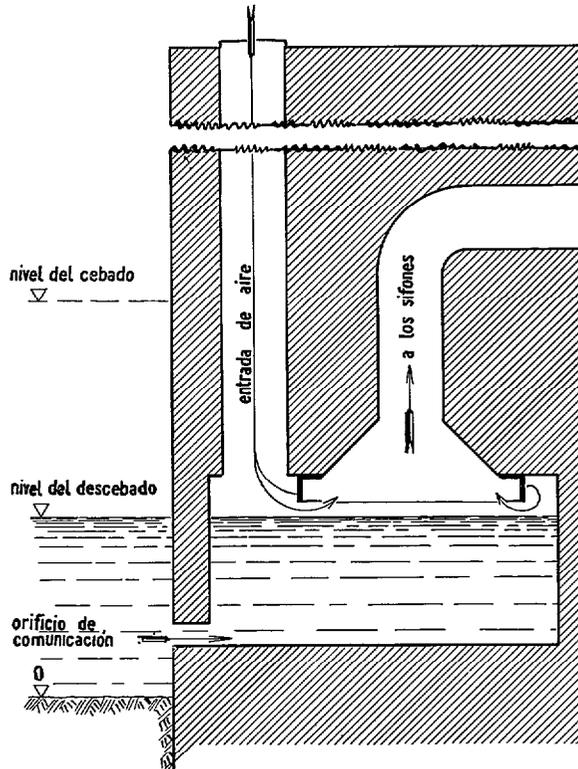


FIG. 2.—ESQUEMA DEL DESCEBADOR.

metros. Las dos primeras son de tres sifones en paralelo, más o menos iguales en el volumen de obra y en la capacidad de descarga; el volumen de agua que embalsan es 300 metros cúbicos y las descargas duran 10 minutos. La última batería de cinco sifones (V. figuras 3, 4 y 5) es cuatro veces mayor, pues se encuentra ubicada más abajo de la confluencia de otro arroyo; el embalse es de 1,200 metros cúbicos que son descargados en 10 minutos. El régimen de descargas es variable, según sea el caudal que trae el arroyo; el mínimo observado es de cuatro descargas

diarias. El caudal del arroyo aumenta progresivamente aguas abajo, por las vertientes que afloran en sus márgenes.

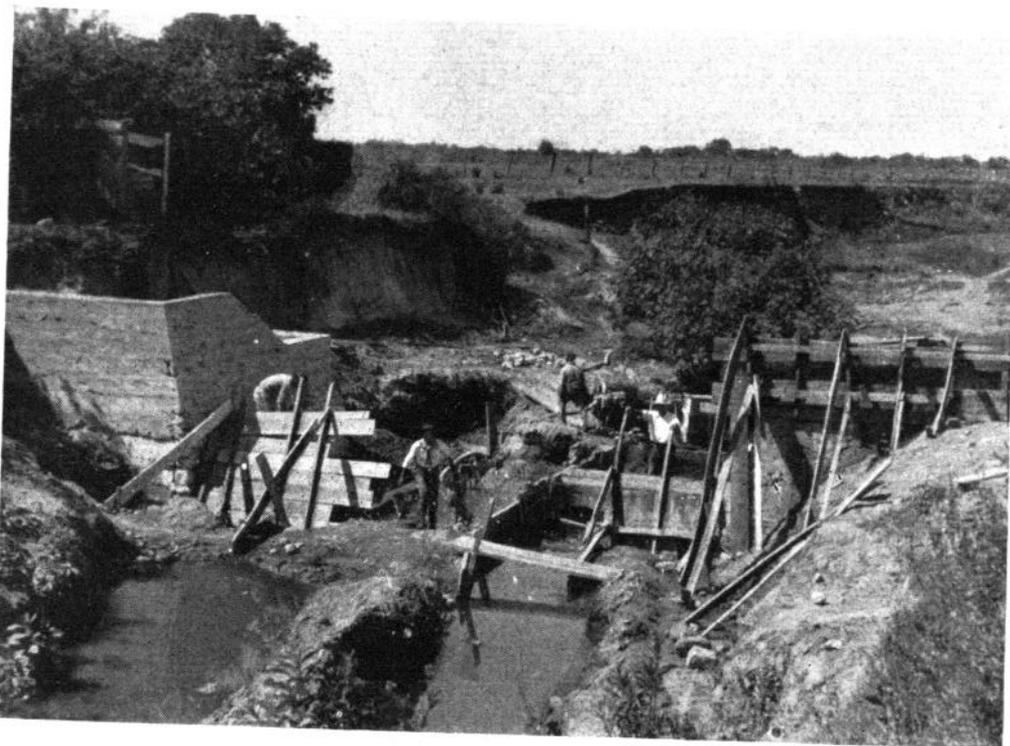


FIG. 3.—VISTA DE OBRA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA BATERÍA DE 5 SIFONES INSTALADA EN FAMAILLÁ, ARGENTINA.

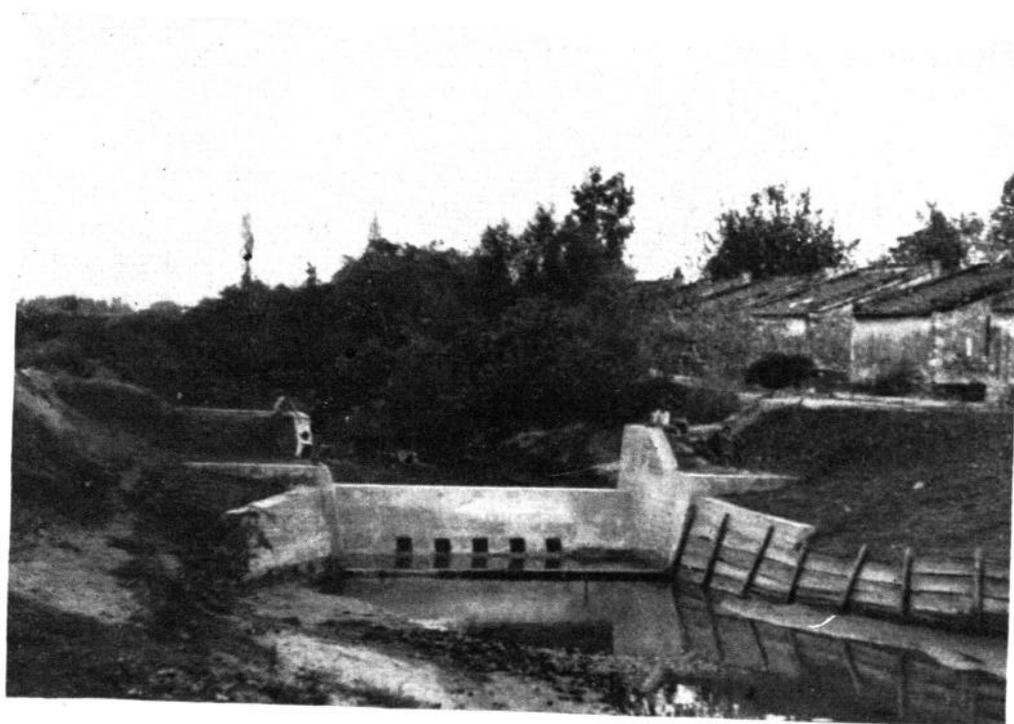


FIG. 4.—LA BATERÍA UNA VEZ TERMINADA.

Las baterías han sido construídas sobre un terreno muy arenoso, con filtraciones abundantes; ello ha elevado el costo de las cimentaciones, que insumieron aproximadamente un tercio del costo total de las obras,

que fueron ejecutadas de concreto de cemento portland en masa, sin armaduras de hierro. Los conductos de los sifones y el muro de embalse se hormigonaron simultáneamente (V. figura 6); cada sifón lleva una

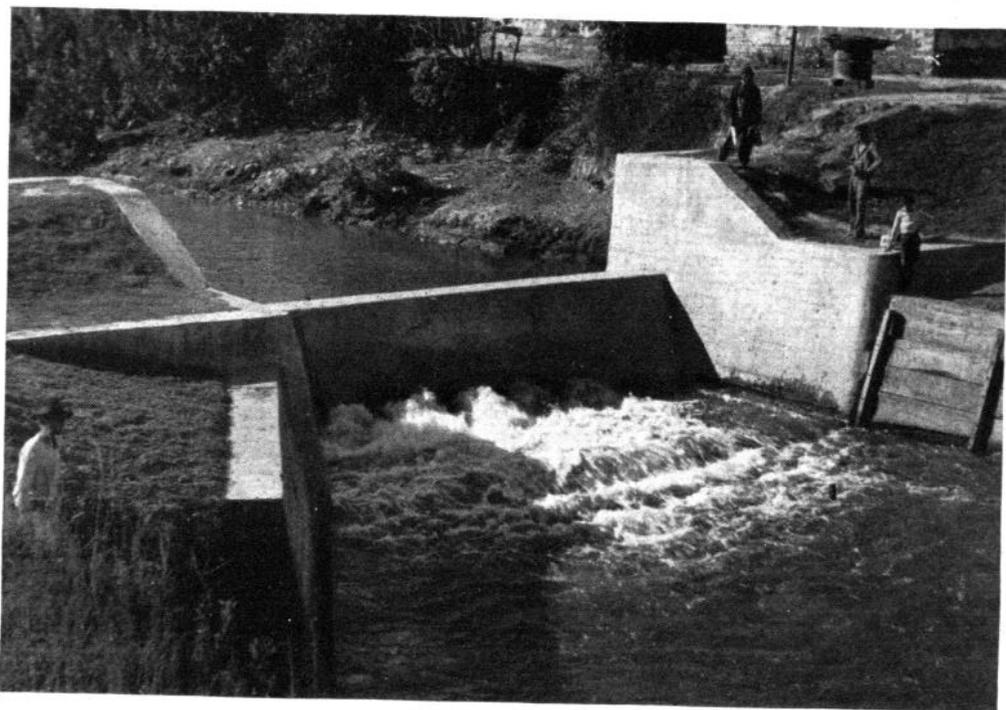


FIG. 5.—LOS SIFONES EN PLENA DESCARGA.

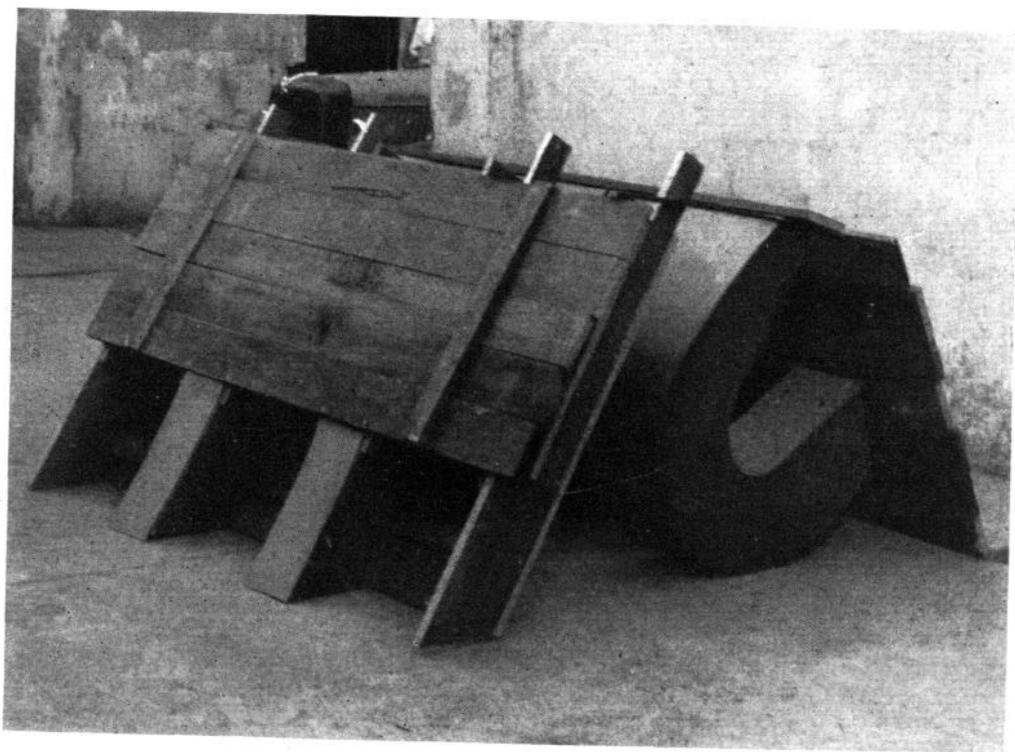


FIG. 6.—DISPOSICIÓN DE LOS MOLDES.

pequeña tapa de inspección sellada con asfalto; el descebador está embutido en los estribos y los tubos de aire son caños de hormigón de tipo corriente.

El costo de las baterías se consigna a continuación en pesos moneda argentina:

Batería	Volumen de obra en m ³ (concreto)	Costo de los materiales	Costo mano de obra	Total
1a.	31	\$1,360.00	\$1,890.00	\$3,250.00
2a.	35	1,226.00	2,938.00	4,164.00
3a.	118	3,992.00	6,061.00	10,053.00
Totales . . .	184	\$6,578.00	\$10,889.00	\$17,467.00

Los trabajos fueron ejecutados por los peones del servicio de saneamiento antipalúdico, con la intervención de un solo obrero especializado.

La longitud total del cauce controlada por las tres instalaciones es de cuatro kilómetros, correspondiendo tramos de 1,200 metros para las dos primeras y de 1,600 metros para la última. El costo anual del saneamiento (policía antilarvaria) de esa longitud de cauce, antes de instalar los sifones, era de \$2,000.00; la obra se amortiza pues en menos de diez años, de donde resulta su rentabilidad sanitaria. Estos trabajos fueron realizados con carácter experimental, sin el empleo de equipos mecánicos. La construcción de sifones en serie, permitirá reducir mucho los costos, aumentando la rentabilidad.

En vez de los sifones, hubiera podido realizarse otro trabajo de tipo permanente: la regularización y revestimiento del cauce, pero ello hubiera implicado la ejecución de un volumen de obra muy superior, calculado aproximadamente en dos mil metros cúbicos de concreto y un considerable movimiento de tierra, con resultados seguramente inferiores para la eliminación de criadero de *A. pp.*

En la lucha contra el *A. pp.*, los sifones tienen un gran campo de aplicación, contrariamente a lo que podría suponerse a priori por ser este mosquito un típico "stream breeder." Se ha observado que es contra los criaderos de esta especie que la acción de las inundaciones intermitentes es más eficaz. En efecto, al atenuarse la ola de inundación por la distancia, aparecen primero los criaderos de *A. argyritarsis*, después los *A. albitarsis* y más lejos, los de *A. pp.*; suponemos que ello es debido a la menor capacidad de flotación de sus huevos, que tienen los flotadores mucho menos desarrollados que las otras especies.

REFERENCIAS

- (1) Williamson, K. B. y Scharff, J. W.: Anti-Larval Sluicing, *Malayan Med Jour.*, 2: pág. 124-150, 1936.
- (2) Macdonald, G. A.: Design of Flushing Siphon for Control of Anopheline Breeding, *Jour. Mal. Inst. India*, 2: 63-69, 1939.
- (3) Ejereito, A., y Celis, E. B.: Another Design of Automatic Siphon Sluice in Malaria Control, *Riv. Malariol.*, 20: pág. 51-65, 1941.
- (4) Blacklock, D. B.: Notes on Siphon Action, with Special Reference to Anti-mosquito Work, *Ann. Trop. Med. and Parasit.*, 33: pág. 141-160, 1939.
- (5) Bruyere, M. J.: Intéressantes Applications du Siphon, *La Houille Blanche*, 5: pág. 29-31, 1906.
- (6) Legween, W. A., y Howard, R. S.: The Design and Application of a New Type Automatic Siphon for Malaria Control, Reunión Anual, National Malaria Society (San Luis, EE. UU.), 1941