

Calidad química y bacteriológica de agua potabilizada en Gonaives (Haití) en el marco de UN-MINUSTAH

Marcos GIAI^{1,2}

¹ Capitán Bioquímico, Jefe de Laboratorio de Agua – ARGBAT IV – United Nations – MINUSTAH

² Servicio de Laboratorio Central - Hospital Militar Campo de Mayo.

Av. Tte. Gral Pablo Ricchieri s/n - 1659 Campo de Mayo (Buenos Aires), Argentina

Correo electrónico: *hospmil@externa.com.ar*

Telf.: 54-011-46663500 internos 246-249

RESUMEN

Objetivo: Demostrar a través de un análisis retrospectivo de valores fisicoquímicos y bacteriológicos de agua potabilizada, la calidad del producto del proceso de potabilización, la eficacia de dicho proceso y la inocuidad de los efluentes de la planta de potabilización.

Material y métodos: Se realizaron ensayos físicos, químicos, y bacteriológicos sobre las muestras de agua potabilizada, agua sin tratamiento y efluentes de dicha planta de potabilización en un período de tiempo determinado, ensayándose: pH, Sólidos Totales Disueltos (TDS), Conductividad, Cloro Residual, Dureza Total, Alcalinidad Total, Cloruros, Sulfatos, Nitratos, Nitritos, Hierro, Recuento de Bacterias Aerobias Totales, Recuento de Coliformes Totales y Recuento de *Pseudomonas aeruginosa*.

Resultados: Para el estudio de muestras de agua potabilizada, producto del proceso, se obtuvo durante el período ensayado, un 99,4 % de muestras químicamente aptas para el consumo humano y el 97,2 % de muestras bacteriológicamente aptas para consumo humano. Además no se observaron grandes variaciones estacionales en la calidad química y bacteriológica del “agua cruda”, sustrato del proceso, como tampoco en los efluentes de la planta, siendo los mismos inocuos al medio ambiente.

Conclusiones: Los resultados mostrados indican que los parámetros químicos y bacteriológicos de las muestras de agua potabilizada presentan un elevado porcentaje de aptitud en el agua destinada al consumo humano de acuerdo a los estándares establecidos por el Código Alimentario Argentino, poniendo ello de manifiesto la eficacia del proceso operativo de la planta potabilizadora en condiciones de ambiente geográfico y clima desfavorables y la inocuidad de los efluentes del proceso.

Palabras Clave: Calidad de agua, planta potabilizadora, Haití, análisis químico, análisis bacteriológico, efluentes.

INTRODUCCIÓN

El 30 de abril de 2004, el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, a través de la Resolución Número 1.542, establece la Misión de Estabilización de Naciones Unidas en Haití (MINUSTAH) para apoyar el proceso de transición política, organizar la Policía Nacional Haitiana y desmovilizar los grupos armados que operan en el país.

Se dispone entonces el despliegue de un Batallón Conjunto Argentino (ARGBAT) en la zona de

responsabilidad de Gonaives, departamento de Artibonite, ubicado a 19°27'N, 72°42'W.

El ambiente geográfico particular de Gonaives presenta un terreno montañoso y árido, la escasa vegetación tropical de la zona ha ido sufriendo años de deforestación, llevando consecuentemente ello a la desertificación, erosión y pérdida de las superficies cultivables.

La temperatura media anual promedio es de 27°C, con mínimas que llegan a los 18°C y máximas de hasta 42°C en el período estival.



El promedio de lluvias anual es de 508 milímetros, registrándose un periodo de mayor precipitación entre los meses de junio a septiembre. En este periodo las lluvias son torrenciales, pudiendo convertirse en tormentas tropicales o huracanes, con ráfagas de viento de hasta 120 kilómetros por hora.

La naturaleza de este clima en particular, sumado por las elevadas temperaturas medias, causan en la economía del hombre, una mayor pérdida de agua y sales, debido a la excesiva transpiración, incrementando ello el consumo de agua potable per capita, por encima de los cuatro a cinco litros diarios.

Tabla 1. Características químicas y bacteriológicas del agua de red de la ciudad de Gonaives, Haití. Febrero de 2006.

pH	7,10
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	33 ppm
Conductividad	670 μ S/cm
Cloro Residual	0,00 ppm
Cloruros	130 ppm
Sulfatos	85 ppm
Nitratos	No dosable
Nitritos	No dosable
Hierro	Menor a 1 ppm
Dureza Total	360 ppm
Alcalinidad Total	370 ppm
Recuento de Colonias Aerobias Totales	260 UFC/mL
Recuento de Coliformes Totales	Presencia
Recuento de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausencia

La captación de agua y la potabilización de la misma por distintos métodos [4] [12], es un serio problema en la ciudad de Gonaives, debido a los elevados niveles de sales presentes en el agua captada, fruto de la proximidad al mar y del terreno montañoso, como así también a la contaminación de las napas freáticas por las deficiencias de la infraestructura sanitaria de la ciudad.

Tabla 2. Características Químicas y Bacteriológicas Promedio del “agua cruda” del ARGBAT. (Agosto 2004 - Julio 2006)

pH	6,90 \pm 0,25
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	946 \pm 117 ppm
Conductividad	1931 \pm 252 μ S/cm
Cloro Residual	0,59 \pm 0,18 ppm
Cloruros	281 \pm 31 ppm
Sulfatos	99 \pm 7 ppm
Nitratos	9,4 \pm 3,8 ppm
Nitritos	0,05 \pm 0,01 ppm
Hierro	0,07 \pm 0,01 ppm
Dureza Total	634 \pm 59 ppm
Alcalinidad Total	339 \pm 53 ppm
Recuento de Colonias Aerobias Totales	66,6 % casos (+)
Recuento de Coliformes Totales	73,3 % casos (+)
Recuento de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	20,0 % casos (+)

El ente encargado de la provisión de agua potable, Service Nacional d’Eau Potable – SNEP, cuenta en la ciudad con tres pozos de captación de 200 metros cúbicos de capacidad cada uno y de 18 metros de profundidad, los que datan de comienzos del año 1980. Los análisis efectuados sobre el agua de red de Gonaives, mostraron elevados niveles de alcalinidad total al carbonato de calcio y de dureza calcica, además de presentar crecimiento de bacterias patógenas, quizás debido a un deficiente proceso de desinfección al no encontrarse valores de Cloro Residual, tal como lo muestra la Tabla 1.

El ARGBAT se asienta en la ciudad de Gonaives, en las antiguas instalaciones de una planta textil, el “Cotton Camp” y utiliza como fuente de captación de agua, un pozo artesiano de treinta metros de profundidad sito en el mencionado predio.

Desde agosto de 2004 y hasta la actualidad se realiza la captación del “agua cruda”, es decir el sustrato del proceso de potabilización, y la posterior potabilización de la misma, bajo la responsabilidad del Grupo Agua de la Sección Ingenieros del Ejercito Argentino destacada a tal fin y con la fiscalización bioquímica de dichos procesos.

El “agua cruda” captada del pozo presenta como en el resto de la ciudad, elevados niveles de sales disueltas como carbonato de calcio, sulfatos y cloruros, en relación a los estándares establecidos por el Código Alimentario Argentino para la calidad del agua de consumo humano, tal como se muestra en la Tabla 2.

El propósito de este estudio es hacer un análisis retrospectivo de los valores químicos y bacteriológicos del agua potabilizada en Gonaives en situaciones de geografía y clima adversos, garantizar la eficiencia del proceso de potabilización, la calidad

del producto realizado y la inocuidad del efluente de la planta de tratamiento “agua de descarte”.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción general del Sistema de Potabilización

El Grupo Agua del ARGBAT cuenta y se encuentra operando una planta de potabilización de agua. En resumen, corresponde al pozo artesiano de la base en donde el “agua cruda” es captada y bombeada por cañerías hasta el pillow depósito de 20.000 litros de capacidad, donde el agua recibe un primer tratamiento desinfectante con hipoclorito de

Las muestras analizadas fueron tomadas asépticamente usando métodos estandarizados de muestreo en recipientes de poliestireno esterilizados con oxido de etileno, siendo procesadas las mismas en forma inmediata en el Laboratorio de Agua del ARGBAT. Se muestreo en periodos de 3-4 días, tal como esta recomendado [13] de acuerdo a la tasa de consumo y población abastecida durante el periodo de agosto de 2004 a julio de 2006.

Los lugares de muestreo fueron los tanques contenedores de agua potable, el pozo de la base y el desagüe de la planta des mineralizadora, a dichas muestras se les efectuaron los siguientes análisis y métodos analíticos:

pH: pHmetro portátil HANNA ® HI-8915 con

Tabla 3. Parámetros Químicos y Bacteriológicos Promedio de Agua Potabilizada. Periodo Agosto 2004 – Julio 2006.

Parámetro	Muestra	Límite Aconsejable (*)
pH	6,50 ± 0,35	6,50-8,50
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	49 ± 27 ppm	50-600
Conductividad	193 ± 53 µS/cm	
Dureza Total	42 ± 15 ppm	30-100
Alcalinidad Total	91 ± 35 ppm	30-200
Cloro Residual	0,55 ± 0,45 ppm	Mayor a 0,50
Cloruros	20 ± 11 ppm	Hasta 100
Sulfatos	21 ± 5 ppm	Hasta 68
Nitritos	0,03 ± 0,01 ppm	Menor a 0,10
Nitratos	0,07 ± 0,04 ppm	Menor a 10
Hierro	0,10 ± 0,01 ppm	Menor a 1
Recuento de Aerobias Totales	2,78 % casos (+)	Menos de 200 UFC/mL
Recuento de Coliformes Totales	2,78 % casos (+)	Ausencia de crecimiento
Recuento de Pseudomona aeruginosa	0,69 % casos (+)	Ausencia de crecimiento

(*) Límite aconsejable estipulado por el Código Alimentario Argentino para la calidad de aguas para consumo humano.

sodio en una concentración mayor a 1 parte por millón (ppm), dejándose reposar por varias horas para luego ser bombeada a la planta potabilizadora GAT ® en donde se le adiciona al agua clorada el metabisulfito de sodio, que elimina el exceso de cloro y una solución antincrustante que elimina los precipitados de calcio, magnesio y sílice, luego el agua pasa al tren de filtrado, formado por filtros ciclónicos de membrana con una porosidad de 20 micrones el primero y de 5 micrones el segundo, para finalmente ingresar a una columna de carbón activado que elimina aquel material orgánico y clorogeno que pudiere haber. Esta agua filtrada es almacenada temporalmente en un pillow de 12.000 litros de capacidad para ser bombeado luego a la planta des mineralizadora por osmosis inversa Vial Este ® que tiene una capacidad de filtrado de 3.000 litros por hora y un descarte residual del 50%.

Finalmente el agua des mineralizada es acondicionada en pH y concentración final de cloro por un equipo inyector para posteriormente ser almacenada o distribuida por red de agua potable.

electrodo BNC-Gel combinado HI-1230B.

Temperatura: termómetro digital incorporado al dispositivo anterior.

Sólidos Disueltos Totales (TDS) y Conductividad: conductímetro con TDSmetro portátil HANNA ® HI-8033 con electrodo HI-76301W.

Cloro Residual: kit calorimétrico HANNA ® HI-38018 basado en el método de la dietil-p-fenilendiamina (DPD) y paralelamente la colorimetría con solución de o-toluidina al 0,1%.

Dureza Total al carbonato de calcio: se utilizo un kit HANNA ® HI-3812, basado en una titulación complexométrica con EDTA.

Alcalinidad total al carbonato de calcio: se empleo un kit HANNA ® HI-3811, basado en una titulación con ácido hidroclorehidrico.

Cloruros: se empleo el kit GAT ® basado en una titulación con nitrato de plata.

Sulfatos: se empleo el kit HANNA ® - HI 38000, medido por turbidimetría con cloruro de bario.

Hierro: se empleo el kit HANNA ® - HI 3834, basado en complexometría-colorimetría con fenantroina.

Nitratos: se empleo el kit HANNA ® - HI3874, medido por colorimetría.

Nitritos: se empleo el kit comercial AQUANALITICA ® basado en una técnica de diazotacion-copulacion.

Los análisis bacteriológicos fueron realizados por el método de filtración de membranas de nitrato de celulosa de 47 milímetros de diámetro y 0,45 micrones de porosidad (OSMONICS ®) por un filtrado al vacío en equipo portátil de filtración de policarbonato (SARTORIUS ® 16510) con bomba manual de vacío (MITYVAC ® Silverline Pump). Se filtraron 100 mL de agua muestreada por cada medio cultivado, dichas membranas se incubaron 24 horas a 37°C en los siguientes medios de cultivo:

Recuento de colonias aerobias totales: se empleo el medio comercial ML-112 de MICROTECH ®.

Recuento de coliformes totales: se empleo el medio comercial Endo-Broth ML-116 de MICROTECH ®.

Recuento de colonias de *Pseudomona aeruginosa*: se empleo el medio comercial Cetrimide ML-115 de MICROTECH ®.

El crecimiento bacteriano para el recuento de aerobios totales se expreso en unidades formadoras de colonia por mililitro (UFC/mL) y en ausencia o no de crecimiento bacteriano para los restantes medios de cultivo, referidos todos a 100 mL de muestra.

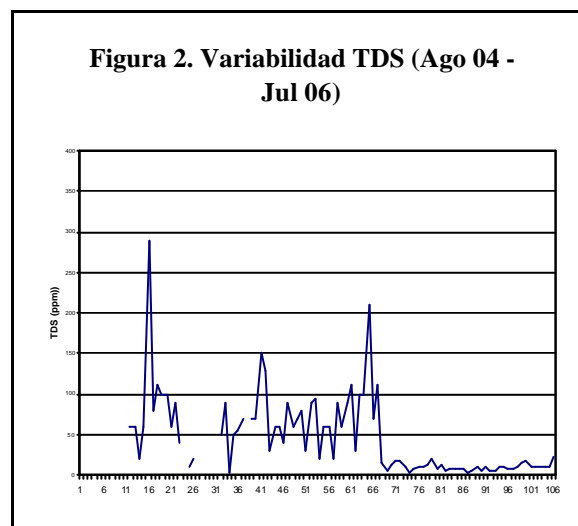
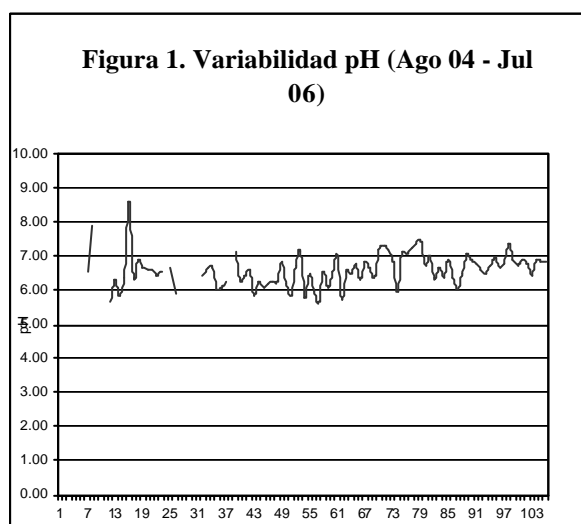
(0,60%) fue químicamente no apta para consumo humano.

En los resultados obtenidos no se observó una apreciable variabilidad estacional, tal como se ve en las Figuras 1 y 2.

En el aspecto bacteriológico de la calidad de agua, solamente el 2,78% de las muestras presenta un crecimiento mayor al limite de aptitud establecido por el Código Alimentario Argentino de 200 UFC/mL para el recuento de bacterias aerobias totales, el mismo porcentaje se observa en el crecimiento de bacterias coliformes totales, en este caso el criterio de aptitud esta dado por la ausencia de crecimiento en el medio de cultivo. Finalmente el 0,69% de las muestras mostró crecimiento bacteriano para el desarrollo de *Pseudomona aeruginosa*, con un criterio de aptitud idéntico al anterior.

En resumen, el 99,4% de las muestras de agua potabilizada analizadas fueron químicamente aptas para el consumo humano, mientras el 97,2% de las mismas lo fue bacteriológicamente.

Complementariamente a este estudio, se hicieron análisis sobre la calidad del "agua cruda" o sustrato del proceso, las muestras fueron tomadas asépticamente y usando procedimientos de muestreo estandarizados en el pozo de la base, los valores promedio obtenidos para el mismo periodo, no presentaron gran variabilidad, tal como se puede analizar en la Tabla 2 y en las graficas.



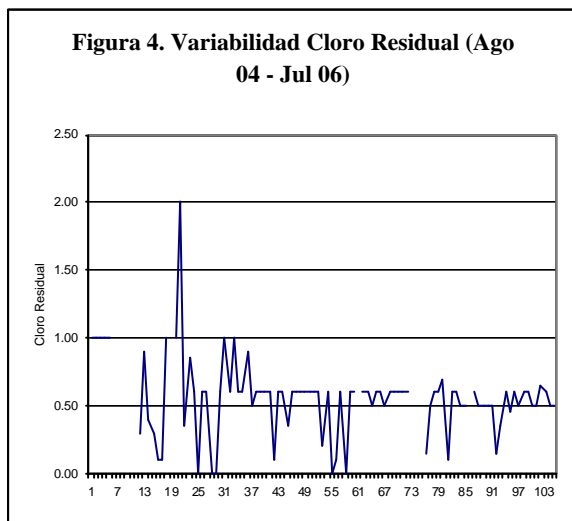
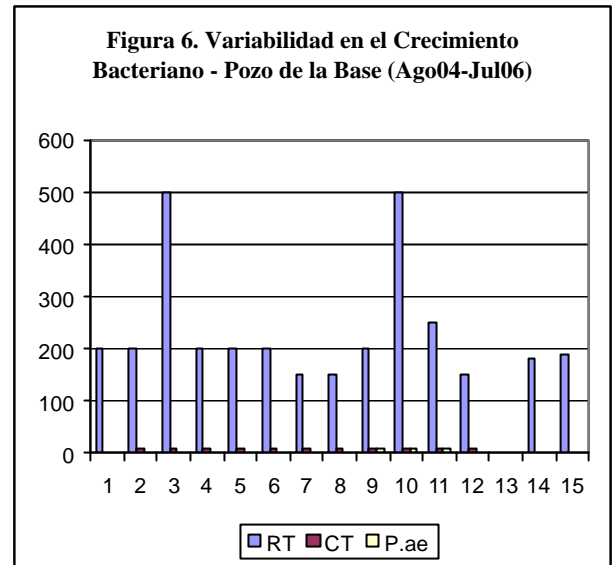
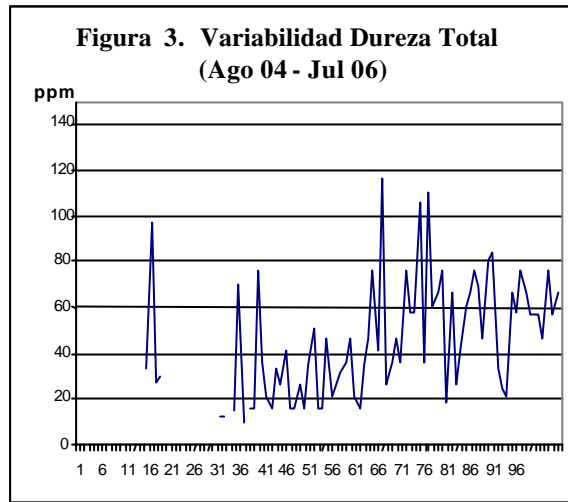
RESULTADOS

Los valores obtenidos para las muestras (n: 168) de agua potabilizada (producto del proceso) para el periodo agosto de 2004 a julio de 2006, son los expresados en la Tabla 3.

Todos los parámetros químicos promedio ensayados se ubicaron dentro de lo admitido por el Código Alimentario Argentino para la calidad de agua potable, en donde solamente una muestra

Finalmente para probar en cierta medida la inocuidad del proceso de potabilización de agua, se analizaron los efluentes de la planta potabilizadora, cuyos valores se encuentran en la Tabla 4.

En donde tampoco se observaron apreciables variaciones en las características químicas o bacteriológicas en los dos años en que fueron ensayadas.

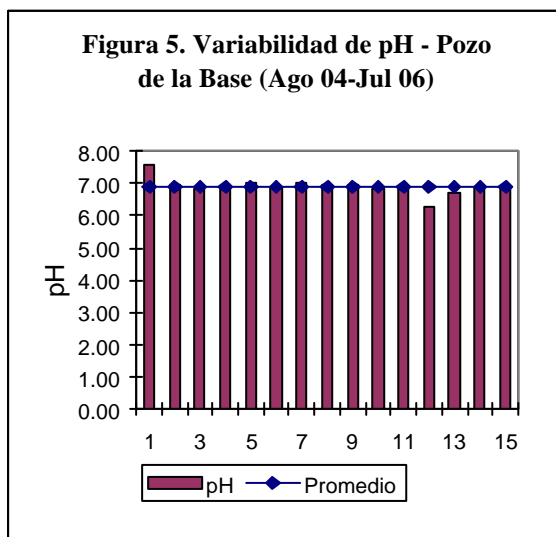


CONCLUSIONES

Los presentes resultados ponen de manifiesto la eficiencia del proceso de potabilización de agua en Gonaives, Haití, ya que un elevado porcentaje de las muestras ensayadas en el estudio (aprox. 98%), fueron aptas para el consumo humano, conforme a lo determinado por el Código Alimentario Argentino.

La variabilidad en los resultados de análisis de pH, TDS y cloro residual, valores muy relacionados con el proceso de potabilización, es coincidente con los periodos de rotación del personal operador de la planta potabilizadora, el que se realiza con el relevo semestral del contingente del ARGBAT y que durante las primeras semanas de “adaptación” a la planta potabilizadora de estos operarios es donde se observan resultados mas heterogéneos, los que se corrigen con el pasar de los días hasta quedar comprendidos dentro de los parámetros esperados.

Las características químicas y bacteriológicas del agua cruda se mantienen sin mostrar grandes variaciones estacionales. Cabe citar que en la única oportunidad en que se vieron alterados dichos valores, ocurrió tras el paso del Huracán Jeane (Septiembre de 2004), que como al resto de la ciudad de Gonaives, inundo las instalaciones del ARGBAT-1, afectando la calidad del agua del pozo de la base. Ante estos posibles eventuales, sería importante añadir a la batería de análisis a realizar sobre el “agua cruda” la determinación de la turbidez, ya que esta al mantenerse en bajos niveles, es garantía de una eficaz desinfección y disminuir también la vehiculización de sustancias tóxicas [7]. Además altos valores de turbidez, pueden llevar a una infravaloración en el recuento bacteriano e inutilizar las membranas de filtración [10].



Existe una correlación entre la turbidez y el recuento de coliformes totales, por lo que la determinación de la primera sería un buen indicador cualitativo del riesgo de contaminación microbiológica del pozo [7], y de la presencia de quistes de *Giardia lamblia*, las que en nuestro proceso de potabilización se eliminan en la etapa de pre-cloración en donde concentraciones de cloro libre superiores a 0,60 partes por millón (ppm) eliminan los quistes del parásito [4].

En cuanto a la calidad de los efluentes de la planta potabilizadora (agua de descarte), si bien químicamente presentan un elevado nivel de sales disueltas consecuencia ello del rechazo de sales de la planta desmineralizadora por ósmosis inversa, bacteriológicamente presenta el crecimiento de colonias aerobias no patógenas, las que no son eliminadas al no recibir tratamiento desinfectante alguno. Es así que dicho remanente de agua es empleado para el riego de las zonas recientemente parquizadas del ARGBAT-4.

No se demostró la presencia de elementos nocivos al medio ambiente en los análisis efectuados al efluente, sin embargo, sería conveniente en un futuro mediato, realizar ensayos de ecotoxicidad aguda con *Daphnia magna*, para corroborar la inocuidad de dicho efluente.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al señor Coronel Fernando Torres, al Comandante del ARGBAT-4, Roberto Wulff, a mis camaradas Ingenieros Ricardo Taborda y Carlos Grossi, y muy especialmente a mi esposa e hijos por seguir acompañándome en todos mis proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

1. CODIGO ALIMENTARIO ARGENTINO, Ed. 1994. Buenos Aires, Argentina.
2. Greenberg AE y cols. American Public Health Association APHA (1998): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition Washington DC. 45: 957-969.
3. Tejedor Junco, MT, Pita Toledo, ML, Viera Sosa, C, Morin de León, L y cols. "Calidad Bacteriológica de las aguas de playas en Gran Canaria". *Hig. Sanid. Ambient.* 5: 120-122 (2005).

4. Gai, M. "Potabilización de Agua en el Desierto Patagónico". Póster – XXXV Reunión Anual de la Sociedad Argentina de Sanidad de las Fuerzas Armadas, Mar del Plata, Argentina (2004).
5. López Ramírez, JA y cols. "Pre-treatment optimization studies for secondary effluents reclamation with reverse osmosis". *Water Res.* 2003, 37 (5):1177-84 (2003)
6. Fernández-Chehuet Navajas, M y cols. "Determinación de cloro residual. Método del DPD". *Hig. Sanid. Ambient.* 1: 6-7 (2001).
7. Marco, L y cols. "La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina)". *Hig. Sanid. Ambient.*, 4: 72-82 (2004).
8. LeChevalier y Norton. 1992. "Examining relationship between particle counts and Giardia, Cryptosporidium and turbidity". *JAWNA*, Dec. (1992).
9. OMS – 1998. "Guía para la calidad del agua potable". 2da Edición. Volumen 1 y 3. Ginebra.
10. Geldreich y cols. 1978. "Inference to coliform detection in potable water supplies. In evaluation of the microbiology standards for drinking water". EPA-570/9/78-OOC. US Environmental Agency, Washington DC, p.13.
11. Alarcon MA y cols. "Presence and viability of Giardia and Cryptosporidium on drinking water and wastewater in the high basin of Bogotá river". *Biomedica* 2005. Sep, 25 (3):353-65.
12. Oates, P y cols. "Solar disinfection (SODIS): simulation of solar radiation for global assessment and application for point of use water treatment in Haiti" *Water Research*, Volume 37, No. 1, pages 47-54, January 2003.
13. ISO 5667-16 (UNE-EN ISO), 1998, "Water Quality, Sampling", Part 16: *Guidance on Biotesting of Samples*.