

## ELIMINACIÓN PARCIAL DEL ÁCIDO ISOCIANÚRICO DEL AGUA DE PISCINAS MEDIANTE LA ADICIÓN DE MELAMINA

Marina Corral

Eliseo Pablo Vergara

Rubén Lostado Lorza

Rubén Escribano García

Julio Fernández Ceniceros

*Universidad de La Rioja*

### Abstract

Although the volume of water for recreational use is a small percentage of total water consumption of human activity, this volume represents a qualitative impact from the moment that the purification process requires a 5% daily replacement of pool water. This renewal is necessary to remove the cyanuric acid accumulated in the pool water. An excess of cyanuric acid in water prevents the chlorine will be effective and also is harmful to health. This motivates the search for viable alternatives, both technologically and economically to the treatment system, since it causes many problems of health, environmental and of maintenance.

**Keywords:** *Isocyanuric acid; water; melamine*

### Resumen

Aunque el volumen de agua destinada a uso lúdico no deja de ser un porcentaje reducido del total de consumo de agua que la actividad humana conlleva, este volumen supone un impacto cualitativo desde el momento que el proceso de depuración necesita un renove diario del 5% del agua del vaso para eliminar el Acido Isocianúrico que se va acumulando en el agua de la piscina. El exceso de Acido Isocianúrico en el agua puede ser perjudicial para la salud, además de impedir que el cloro actúe eficazmente. Esto motiva la búsqueda de alternativas viables, tanto tecnológica como económicamente al sistema de depuración, puesto que se plantean numerosos inconvenientes de salud, ambientales y de mantenimiento.

**Palabras clave:** *ácido isocianúrico; agua; melamina*

## 1. Introducción

### 1.2 Ácido Isocianúrico en piscinas

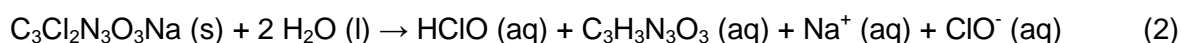
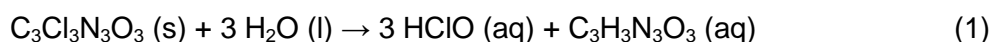
El consumo de agua de red en piscinas se debe, principalmente, a dos factores:

1. Pérdidas por evaporación
2. Acumulación de ciertas sustancias químicas

Dentro de este último factor, se encuentra el ácido isocianúrico (ICN). La concentración de ICN acumulado en piscinas, como consecuencia de la desinfección del agua mediante derivados organoclorados, no se puede eliminar mediante un tratamiento físico-químico convencional. Por ello, los distintos reglamentos higiénico-sanitarios de cada provincia exigen realizar una purga y renovación diaria del agua del vaso, que suele estar en torno a un 5% del volumen total de la piscina, cantidad que en determinadas comunidades autónomas puede ser aún mayor.

En el caso de una piscina olímpica, donde el volumen medio de agua es de 500 m<sup>3</sup>, se estima un consumo diario de agua de red del orden de 10 m<sup>3</sup>.

Comercialmente, el ICN se puede encontrar combinado con cloro formando compuestos organoclorados, tales como el ácido tricloroisocianúrico (C<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>N<sub>3</sub>O<sub>3</sub>) y el dicloroisocianurato sódico (C<sub>3</sub>Cl<sub>2</sub>N<sub>3</sub>O<sub>3</sub>Na) anhídrido o dihidratado. Estos productos de desinfección reaccionan en el agua formando ácido hipocloroso (HClO) e isocianúrico (C<sub>3</sub>H<sub>3</sub>N<sub>3</sub>O<sub>3</sub>):



### 1.2 Depuración del agua

Para evitar los riesgos sanitarios derivados de la presencia de los contaminantes biológicos y químicos, las piscinas de uso colectivo deberán mantener, durante el periodo de funcionamiento, un sistema de depuración que elimine las impurezas y partículas, destruya los microorganismos, evite el desarrollo de algas, limite el carácter irritante del agua y evite la corrosión y atascado de las conducciones y distintas partes de los equipos. Este sistema de depuración tiene dos etapas claramente diferenciadas: filtración y desinfección. Estas dos etapas continuas y simultáneas permiten el tratamiento de todo el volumen de agua del vaso, en un periodo de tiempo determinado (ciclo de depuración o recirculación).

A continuación, se describe brevemente las operaciones básicas del tratamiento del agua:

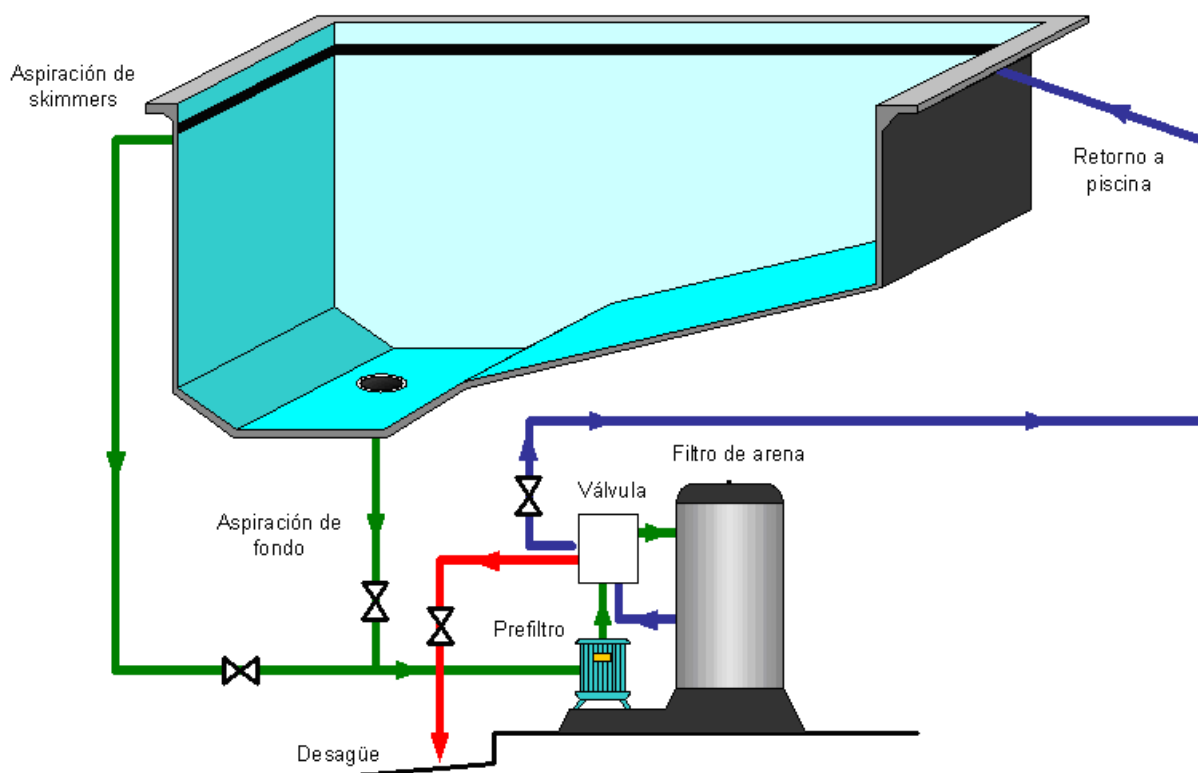
- Física.

La filtración consiste en el paso del agua a través de un material poroso que retiene las partículas en suspensión y materias coloidales. Las dimensiones de los poros del filtro determinan la calidad de la filtración.

- Química.

Tras esos procesos físicos puede considerarse que el agua está limpia, pero todavía no se puede garantizar la ausencia de microorganismos. Habitualmente en la fase química siguiente se oxida el agua con algún oxidante fuerte, como derivados del cloro, bromo, ozono o rayos ultravioleta... (Blatchey, 1995).

Figura 1: Esquema general del circuito de filtración de agua de una piscina



El cloro resulta un desinfectante bastante eficaz y económico para el tratamiento y desinfección de las aguas ya sea aportado en forma gas disolviéndolo en el agua o bien aportándolo como hipoclorito sódico, hipoclorito cálcico o como derivados del cloroisocianurato (Dychdla, 1991).

Un problema asociado a la desinfección mediante productos clorados es la acumulación en el agua de piscina de ciertos compuestos químicos:

*Estabilizador (ICN)*, se acumula al cabo de las semanas de tratamiento y su exceso en el agua puede impedir que el cloro actúe adecuadamente además de sobrepasar el valor límite (100mg/l de ICN, generalmente). Por este motivo ya comentado anteriormente se debe diluir el agua de la piscina, cada cierto tiempo.

*Subproductos de la desinfección (SPD's)*, un exceso de materia orgánica en el agua de la piscina y en el efluente de los filtros del sistema de depuración aumenta la demanda de desinfección pues la materia orgánica reacciona con este generando SPD's, que son potencialmente peligrosos para la salud. Por ello es recomendable que la filtración se realice antes de la desinfección disminuyendo el consumo de desinfectante.

*Los trihalometanos (THM's)*, un grupo de SPD's generados en la cloración, han sido motivo de gran preocupación debido a sus posibles efectos cancerígenos. Los THM's son compuestos de un solo carbono que tienen de fórmula general  $CHX_3$ , donde X puede ser cualquier átomo de halógeno (por ej., cloro, bromo, flúor, yodo o una combinación de varios de éstos). Los más comunes en aguas potables son: cloroformo ( $CHCl_3$ ), bromoformo ( $CHBr_3$ ), bromodiclorometano ( $CHBrCl_2$ ) y dibromoclorometano ( $CHBr_2Cl$ ). En la práctica, los

THM's se producen por la reacción del cloro con elementos orgánicos, denominados precursores:



A diferencia de lo que sucede en un tratamiento de agua de red, la presencia de THM's, en el agua de piscina, aumenta a medida que el agua va recirculando por el sistema, a pesar de que exista una renovación de parte del agua -sobre un 2,5 % diario-. A fin de acotar esa carga progresiva de SPD's, la mayoría de reglamentaciones sobre piscinas prevén al menos un vaciado anual (Grasa, 2004).

Al emplear productos clorados para la desinfección del agua de de piscina se debe considerar el efecto de la acción solar sobre el cloro. Los rayos ultravioleta transforman el cloro en ión cloruro inactivo, lo que dificulta mantener una concentración correcta del cloro en piscinas al aire libre y en épocas de fuerte insolación. El uso de estabilizadores del cloro como el ICN, elimina esta dificultad (Pinto, 2003).

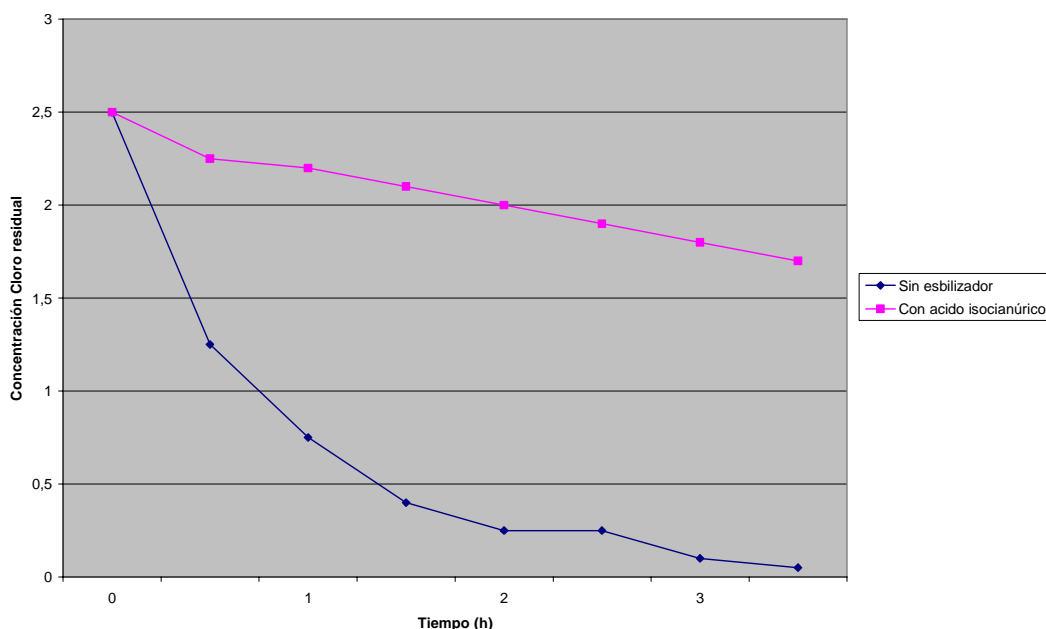
La luz ultravioleta degrada el cloro por una reacción fotoquímica:



Si no se utiliza el ICN como estabilizante, en un día soleado, el 90% del cloro activo se podría destruir por la acción del sol, en dos horas, problema bastante grande teniendo en cuenta la cantidad de radiación a la que está expuesta una piscina en verano.

La figura 2 muestra la presencia de cloro residual en el agua de piscinas cuando se utiliza un derivado clorado inorgánico sin estabilizador frente a cuando se utiliza ICN como estabilizador en el proceso de desinfección.

**Figura 2: Comparación de los niveles de Cloro residual libre en función de la presencia o no de estabilizantes.**



### 3. Materiales y método

El objetivo general es desarrollar un método capaz de eliminar el ICN acumulado en el agua de piscinas, con el fin de conseguir un ahorro en el consumo de agua de red. Para ello, se establece el siguiente plan de trabajo:

1. Estudio de repetitividad/reproducibilidad del método de determinación de ICN.

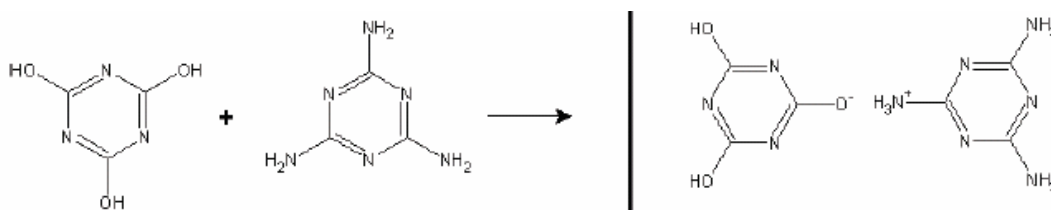
La Melamina-Fotometría es el método analítico empleado para la determinación de ICN en agua. Los fotómetros permiten realizar el análisis de ICN en el agua. El estudio se realiza con dos fotómetros distintos, de esta manera se obtiene una correlación entre ambos.

2. Desarrollo de un método/procedimiento de eliminación de ICN mediante la adición de melamina en disolución.

Se pretende determinar la correlación existente, en su caso, entre ICN y melamina (M), además de optimizar la aditivación de reactivo.

A la hora de realizar el control de la calidad del agua, el nivel de ICN es determinado mediante la adición de melamina, formando una sal que precipita y produce una turbidez proporcional a la concentración de ICN presente en el agua. La reacción que tiene lugar entre ICN y melamina se expone en la Figura 32.

**Figura 3: Complejo insoluble formado tras la reacción de ácido isocianúrico con melamina**



En esta etapa, se estudiará la eficiencia del método a la hora de eliminar el ICN, cuantificando el rendimiento en función de la dosis de reactivo.

Para determinar la eficiencia del tratamiento, respecto al parámetro de ICN, se emplea la siguiente expresión:

$$E = [ (ICN_i - ICN_f) / ICN_i ] \times 100 \quad (5)$$

Donde:

E= Eficiencia de eliminación de ICN (%)

ICN<sub>i</sub>= Concentración de ICN en el agua bruta o inicial (mg/l)

ICN<sub>f</sub>= Concentración de ICN residual en el agua filtrada (mg/l)

3. Selección del método de filtración para la eliminación del complejo insoluble ICN-M.

Actualmente, se usa el filtro de Sílex en un 95% de las instalaciones de depuración de piscinas, básicamente, por su comodidad en el uso y facilidad de limpieza. Por tanto, debido a su uso generalizado y fácil manejo de operación, se estudia la posibilidad de

eliminar el precipitado formado, ICN-M, mediante un sistema de filtración en arena, ensayando diferente granulometría.

**Figura 4: Medios de filtración de diferente granulometría**



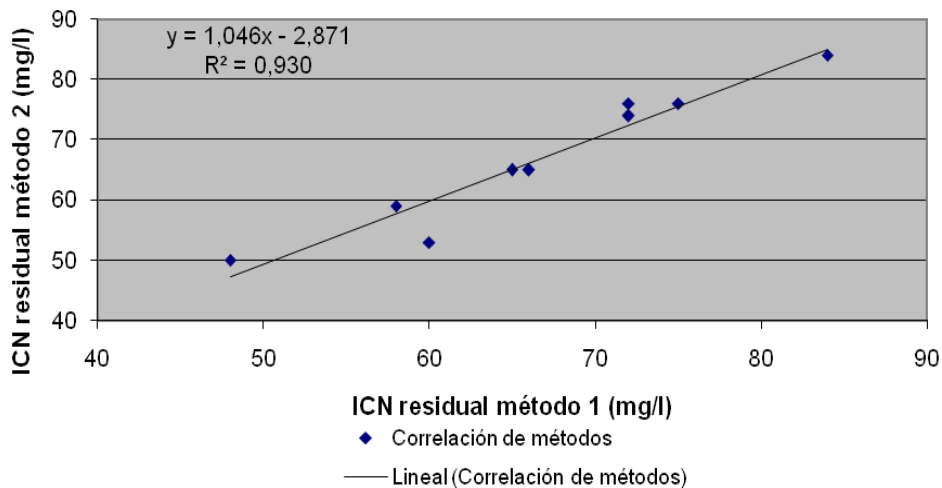
#### 4. Resultados

A continuación, se presentan y se discuten los resultados experimentales por etapas de trabajo, de acuerdo con el punto anterior.

##### 1. Estudio de repetitividad/reproducibilidad del método de determinación de ICN

En ambos métodos analíticos empleados, se obtiene una buena correlación lineal ( $r^2 = 0,93$ ), además de un error aceptable para este tipo de ensayos, lo cual permite concluir que el análisis de ICN mediante el método de melamina es fiable (Gráfico 1).

**Gráfico 1: Correlación lineal entre los dos métodos estudiados**



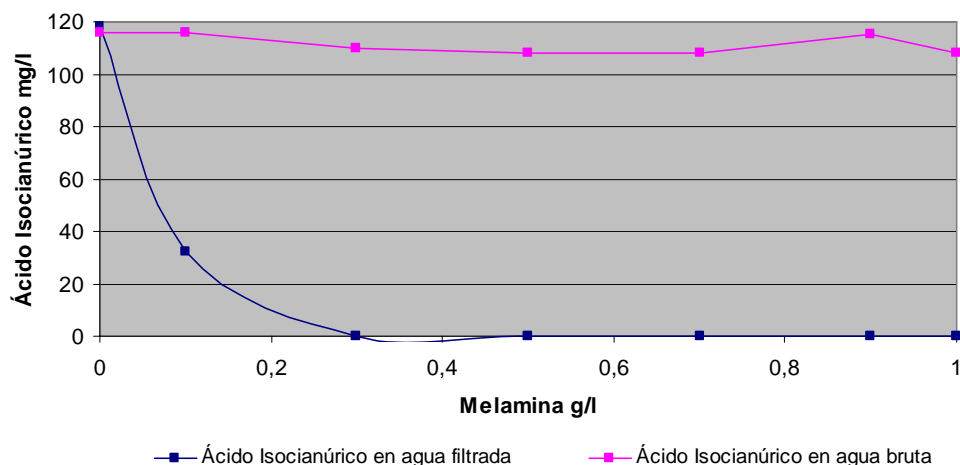
2. Desarrollo de un método/procedimiento de eliminación de ICN del agua mediante la adición de melamina en disolución.

La primera serie de ensayos Jar Test, donde el rango de adición de melamina es de 0 a 1g/l, permite comprobar la eficiencia de eliminación de ICN presente en el agua bruta mediante la disolución de melamina preparada, 2g/l.

El gráfico 2 representa la cantidad de ICN residual (mg/l) en el agua tras la dosificación de melamina (g/l) y posterior filtración del agua. Se observa la presencia de ICN residual en el agua filtrada en el rango de adición de melamina comprendido entre de 0 y 0,3g/l, mientras que una adición comprendida entre 0,3 y 1g/l produce un porcentaje de eliminación de dicho parámetro del 98%, es decir, una eliminación total, prácticamente.

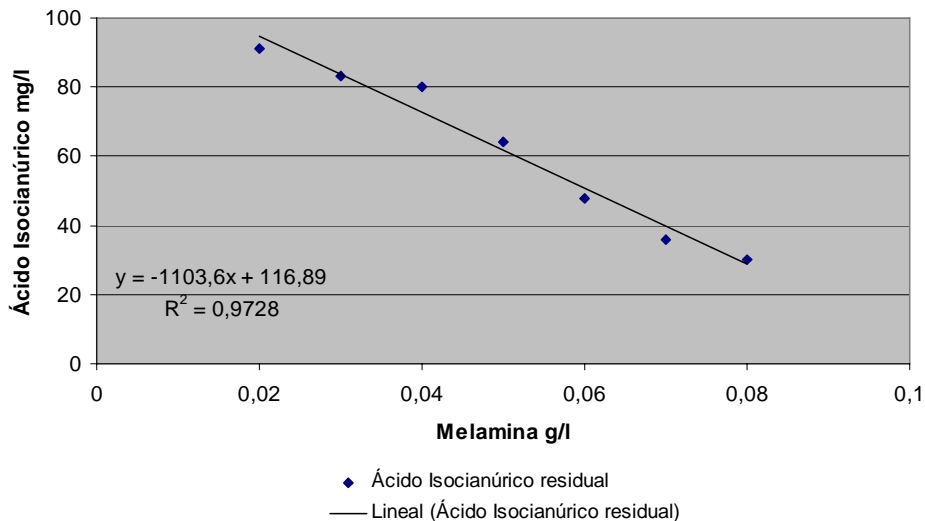
Estos resultados obtenidos llevan a realizar otra serie de ensayos Jar Test para estrechar el rango de trabajo, ensayando dosis comprendidas entre 0,02 – 0,08g/l (Gráfico 3).

**Gráfico 2: Evolución del ICN residual (mg/l) en el agua filtrada frente a la adición de melamina (0 - 1g/l).**



Se comprueba que existe una respuesta lineal entre el ICN residual y la melamina adicionada, con un coeficiente de correlación de 0,9728, próximo a la unidad (gráfico 3).

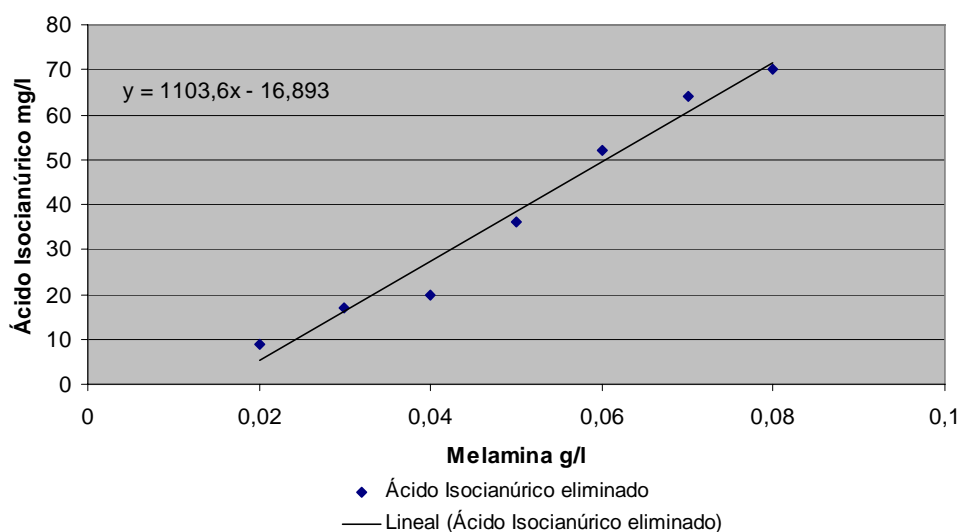
**Gráfico 3: Evolución del ICN residual (mg/l) en el agua filtrada frente a la adición de melamina (0,02 – 0,08 g/l).**



En el gráfico 4 se observa la evolución del ICN residual en el agua filtrada como consecuencia de la adición de melamina. Comprobamos como la adición de melamina en unas cantidades entre 0,02 y 0,08g/l permite la eliminación gradual del ICN residual del agua.

La adición de 0,02g/l de melamina produce un porcentaje de eliminación de ICN del 9% como promedio, mientras que una dosis mayor, 0,08g/l, reduce en un 70% la presencia de ICN en el agua (Gráfico 5).

**Gráfico 4: Evolución del ICN eliminado (mg/l) en el agua filtrada frente a la adición de melamina (0,02 – 0,08g/l).**



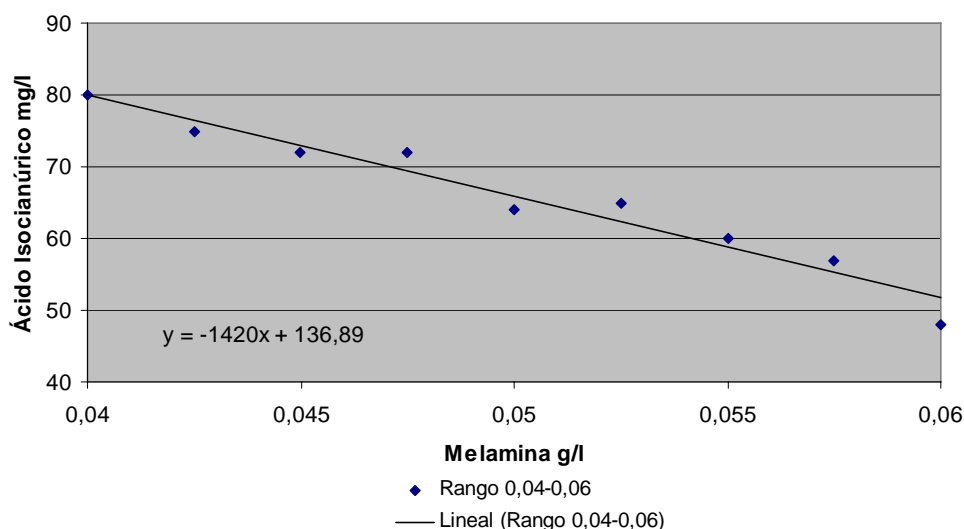


Considerando que se quiere eliminar entre el 20 y el 50% de ICN del agua, se realizan nuevos ensayos con un menor rango de dosis: 0,04 - 0,06g/l de melamina (Gráficos 5 y 6).

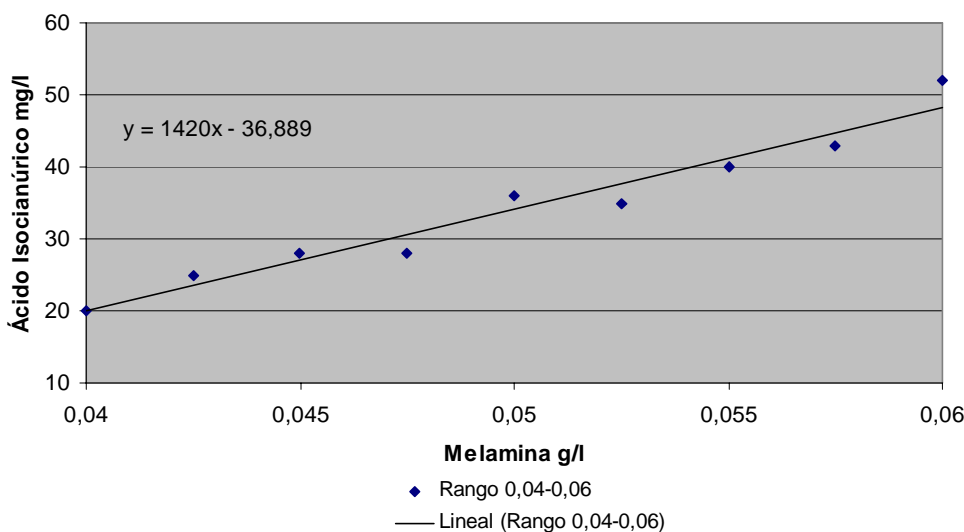
En el gráfico 5, se puede comprobar una concentración media de 80 y 48mg/l de ICN residual en el agua filtrada, tras la adición de 0,04 y 0,06g/l de melamina.

La eficiencia de eliminación de ICN es mayor conforme aumenta la adición de melamina, obteniendo un porcentaje medio de eliminación de ICN del 16% para 0,04g/l y un 52% para la dosis mayor de 0,06g/l (Gráfico 6).

**Gráfico 5: Evolución del ICN residual (mg/l) en el agua filtrada frente a la adición de melamina (0,04 – 0,06g/l).**



**Gráfico 6: Evolución del ICN eliminado (mg/l) en el agua filtrada frente a la adición de melamina (0,04 – 0,06g/l).**



Se puede concluir que el rango de trabajo óptimo, a la hora de dosificar melamina en el agua, está comprendido entre 0,04-0,06g/l, obteniendo una mayor reducción de ICN en el agua de partida (100mg/l) a medida que aumenta la dosis.

Esta etapa del estudio permite verificar, el método de melamina para determinar el ICN, además de observar la formación del complejo ICN-M, capaz de ser eliminado por filtración. Como resultado, se obtiene una aproximación de la dosis necesaria de melamina, para reducir el ICN en agua, sin necesidad de purgar.

La Tabla 1 resume los valores medios de ICN eliminado tras la dosis de melamina y el volumen necesario de reactivo patrón a adicionar, para alcanzar dicha concentración de melamina.

**Tabla 1: Resultados medios de eliminación en ICN (mg/l) tras la dosis de melamina adicionada (g/l).**

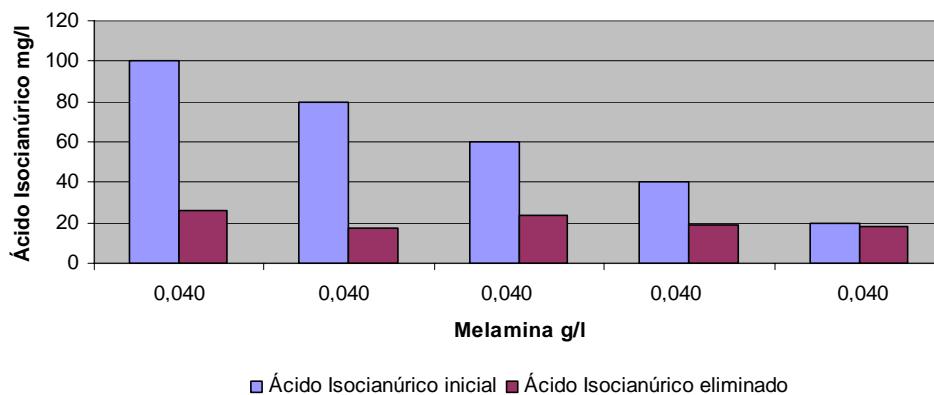
Volumen de la muestra (ml)		ICN inicial (mg/l)
500		100
Dosis melamina (g/l)	Volumen Reactivo 2g/l (ml)	Media ICN eliminado (mg/l)
1	250	>98
0,9	225	>98
0,7	175	>98
0,5	125	>98
0,3	75	>98
0,1	25	68
0,0800	20,0	70
0,0700	17,5	64
0,0600	15,0	52
0,0550	13,8	40
0,0500	12,5	36
0,0450	11,3	28
0,0400	10,0	20
0,0300	7,5	17
0,0200	5,0	9

### 3. Estudio de repetitividad/reproducibilidad de la correlación lineal ICN/Melamina.

A la hora de comprobar la relación lineal obtenida anteriormente, se estudia la reducción de 20mg/l de ICN en un agua inicial, con contenido variable de ICN entre 20 y 100mg/l. Para ello, se adiciona una dosis constante de 0,04g/l de melamina, en cada de una de las muestras sintetizadas.

Al adicionar una dosis de 0,04g/l, se obtienen valores de eliminación medios de 22mg/l en ICN (Gráfico 7). Estos resultados coinciden con los ensayos realizados, anteriormente.

**Gráfico 7: Evolución del ICN eliminado (mg/l) en el agua filtrada frente a la adición constante de 0,04g /l de melamina.**



En la Tabla 2, se exponen los resultados obtenidos en este ensayo, su desviación estándar y el valor medio de ICN eliminado.

**Tabla 2: Resultados obtenidos en ICN (mg/l) tras la adición constante de melamina (0,04g/l), desviación estándar y valor medio de ICN eliminado (mg/l).**

Dosis (g/l)	ICN inicial Real (mg/l)	ICN residual (mg/l)	ICN eliminado (mg/l)
0.040	100	74	26
0.040	80	63	17
0.040	60	36	24
0.040	40	21	19
0.040	20	2	18
0.040	100	69	31
0.040	80	59	21
0.040	60	35	25
0.040	40	21	19
0.040	20	1	19
MEDIA DE ICN ELIMINADO			22
Desviación Estándar			4

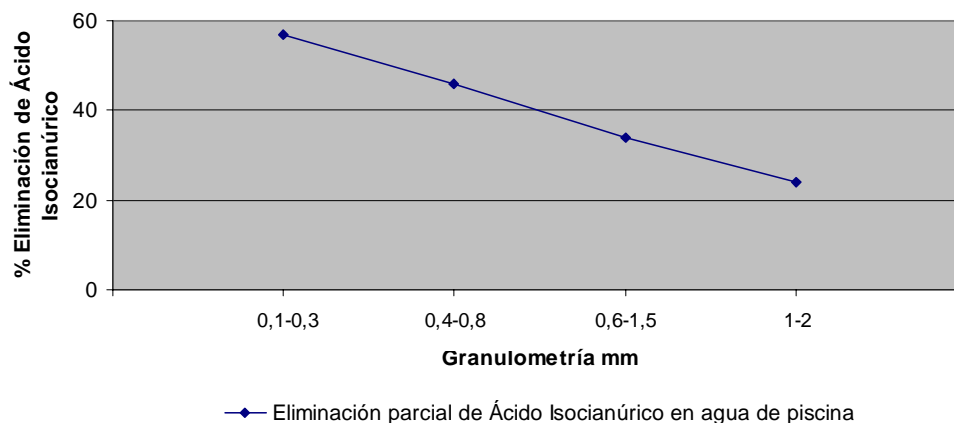
#### 4. Selección del método de filtración para la eliminación del complejo insoluble ICN-M

El Gráfico 8 muestra el porcentaje de eliminación de ICN con respecto a la granulometría del medio. Conforme aumenta el tamaño de grano de la arena disminuye el porcentaje de

eliminación de ICN, siendo el filtro con granulometría de 0,4–0,8mm más eficaz a la hora de eliminar el 50% de ICN presente en el agua, objeto del ensayo.

La arena de granulometría inferior, 0,1–0,3mm, da una mejor calidad del agua filtrada pero se aleja más del objetivo de experimentación. Además, debido al menor tamaño de grano, se estima un mayor número de lavados y una limpieza más difícil.

**Gráfico 8: Porcentaje de eliminación de ICN (mg/l) frente a la granulometría del medio filtrante ensayado.**



## 5. Conclusiones

Aunque el volumen de agua destinada a uso lúdico no deja de ser un porcentaje reducido del total de consumo de agua que la actividad humana conlleva, este volumen supone un impacto cualitativo desde el momento en que:

1. Los bañistas en general y, en mayor medida, los deportistas admiten por tres vías diferentes (dérmica, inhalación e ingestión) sus contaminantes químicos.
2. El proceso de depuración necesita el renove del 5% del agua del vaso para eliminar el ICN que se va acumulando en el agua de la piscina.

Todo ello motiva la búsqueda de alternativas viables, tanto tecnológica como económicamente al sistema de depuración, puesto que se plantean numerosos inconvenientes de salud, ambientales y de mantenimiento.

La eliminación parcial del ICN acumulado mediante un tratamiento físico-químico (complejación-filtración) con melamina tiene ventajas tanto económicas como medioambientales.

El método que se propone permite eliminar parcialmente el ICN acumulado en el agua de piscina, con el fin de conseguir un ahorro en el consumo de agua de red.

El método consiste en la eliminación del ICN mediante la dosificación de un reactivo en base a la sustancia melamina. La melamina reacciona con el ICN de forma cuantitativa, repetitiva y reproducible formando un complejo no soluble fácilmente eliminable por filtración.

En resumen, la eliminación parcial del ICN acumulado mediante un tratamiento físico-químico (complejación-filtración) con melamina tiene ventajas tanto económicas como medioambientales, reduciendo el consumo de agua de red y el vertido al alcantarillado, al no haber necesidad de realizar purgas sucesivas.

## 6 Referencias

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WPCF (Water Pollution Control Federation) (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Díaz de Santos, S.A.

Blatchley III, E. R., (1995). *Disinfection and antimicrobial processes*. *Water Environment Research*, v. 67, n.4.

Dychdla, G. R.(1991). Chlorine and chlorine compounds. In: BLOCH, S. S. (4<sup>a</sup> ed.) *Disinfection, sterilization and preservation* (págs. 131-151). Philadelphia: Lea & Febiger.

Grasa Martínez, C. (2004). *Estudio sobre métodos de tratamiento del agua en piscinas y subproductos de la desinfección*. Proyecto de Especialidad de Higiene Industrial. INSHT, Barcelona.

Pinto, B. Rohrig. (2003). Use of chloroisocyanurates for disinfection of water. *Journal of Chemical Education*, 80, 41-44.

<http://www.americanchemistry.com/>. American Chemistry Council (ACC).

## Correspondencia (Para más información contacte con):

Marina Corral Bobadilla  
Área de Proyectos de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.  
Universidad de La Rioja  
Edificio Departamental - C/ Luis de Ulloa, 20  
26004 Logroño, La Rioja  
Phone: + 34 941 299 274 / 651 56 9214  
Fax:+ 34 941 299 794  
E-mail: marina.corral@unirioja.es  
URL : <http://www.unirioja.es>