

## **Tratamientos de evaporación para la reducción de residuos químicos generados en los laboratorios de química general de la Universidad de Pamplona.**

### *Treatments for Reducing Evaporation of Chemical Waste Generated in the General Chemistry Laboratory of the University of Pamplona.*



Javier Augusto Vera Solano\*

Tipo de artículo: Resultado de Investigación.

Recibido: 5 de mayo, 2014  
Aceptado: 15 de julio, 2014

#### **Resumen**

Uno de los tratamientos ambientalmente favorables para la reducción de pequeños volúmenes de residuos químicos es la evaporación. Los residuos que se generan en laboratorios de química general son mínimas cantidades de reactivos diluidas en grandes volúmenes de agua, lo que hace que estos químicos disminuyan su nivel de contaminación y permitan que por el proceso de evaporación en condiciones naturales logren reducirse hasta obtener pequeñas cantidades de sedimentos que son más sencillos de tratar en otros procesos. Este estudio se enfocó en analizar la evaporación al aire libre como proceso de eliminación de residuos químicos, determinando la velocidad, volumen, tiempo y temperatura de evaporación tanto al aire libre como a la sombra, utilizándose como metodología sencilla el uso de bandejas de acero inoxidable que contenían volúmenes pequeños de residuos, permitiendo su rápido proceso de evaporación. Se trabajó con ocho (8) líneas de residuos químicos que se segregaron en los laboratorios de química general de la Universidad de Pamplona, como resultado se presenta la reducción de 20,46 litros (50,84%) de los 40,24 litros almacenados durante los periodos de 2009 y 2010.

**Palabras Clave:** evaporación, sistema, tratamiento, residuos químicos, sedimentos, superficie, insolación.

#### **Abstract**

One of the environmentally friendly treatments for the reduction of small volumes of chemical waste is evaporation. Waste generated in laboratories for general chemistry are minimal quantities of reagents diluted in large volumes of water, which makes these chemicals decrease their level of contamination and allow for the evaporation process to achieve reduced natural conditions until you get small quantities of sediment that are simpler to deal with in other processes. This study focused on analyzing the evaporation in the open air as a process of elimination of chemical waste, determining the speed, volume, time and temperature evaporation both outdoors and in the shade, be used as simple methodology the use of stainless steel trays, containing small volumes of waste, allowing its rapid process of evaporation, is working with eight (8) lines of chemical residues which were segregated in the laboratories of general chemistry at the University of Pamplona, as a result, it presents the reduction of 20.46 liters(50.84 %) of the 40.24 liters stored during the periods of 2009 and 2010.

**Keywords:** evaporation, system, treatment, chemical waste, sediment, surface, sunstroke.

\* MsC en Ingeniería Ambiental. Egresado, Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Universidad de Pamplona. javiervera@misen.edu.co

## Introducción

El continuo proceso de contaminación del medio ambiente se viene presentando por el manejo inadecuado de los productos creados por el hombre para solventar sus necesidades diarias; entre estos productos encontramos las sustancias químicas, sustancias que actualmente se usan en infinidad de actividades industriales agropecuarias, alimenticias y de educación.

Algunas de estas sustancias se utilizan en instituciones educativas que poseen laboratorios en los cuales no se realiza una segregación adecuada de los residuos ni tampoco existen planes para el respectivo manejo y disposición final, permitiendo la aparición de problemas ambientales que conllevan a la afectación de la salud y a la contaminación de los recursos naturales.

La gestión de este tipo de residuos químicos de laboratorio debe incluir operaciones encaminadas a la minimización de la producción (por ejemplo, ajustando el inventario de reactivos a las necesidades y reutilizando los residuos de unos procesos como materia prima de otros), a la promoción de la recogida selectiva de los residuos y a la optimización de los métodos de eliminación (elección de la solución técnica más correcta).

Existe un gran número de tratamientos físicos y químicos para la neutralización, reducción y eliminación de desechos químicos, pero muchos de ellos requieren de altos consumos de energía o del uso de nuevos reactivos, lo que los hace muy costosos y complejos, a la vez que igual de contaminantes.

## Metodología

El desarrollo del siguiente artículo es parte de un estudio realizado con el fin de obtener alternativas medioambientales en los tratamientos de eliminación de residuos

químicos generados por los laboratorios de química de la Universidad de Pamplona. Una de estas opciones fue la evaporación como método para la neutralización y reducción de residuos como sales inorgánicas, hidróxidos de sodio, ácidos y residuos de otras sales inorgánicas, entre otras sustancias. Para la realización de los objetivos propuestos se efectuó una revisión bibliográfica sobre el tema, además se implementó una metodología consistente en hacer distintas réplicas de los procesos de evaporación para llevar un control en las mediciones de temperatura, tiempo, velocidad y volumen, buscando con ello determinar la eficiencia del método de tratamiento.

## Tratamientos de evaporación

Los riesgos al ambiente y a la salud humana causados por la generación de residuos químicos y peligrosos preocupan por sus efectos adversos en el planeta. La contaminación de los cuerpos acuíferos (aguas subterráneas y fuentes hídricas), causada por la disposición inadecuada de los residuos químicos y peligrosos, impulsó en el ámbito mundial una conciencia de alta prioridad para que se les diera un adecuado manejo (Galvis, 2009).

En todo el mundo existen diferentes guías y reglamentos que clasifican los residuos químicos generados por laboratorios en grupos definidos a partir de las características fisicoquímicas de los productos, su peligrosidad y el destino final de los mismos. La mayoría de estos textos guías coincide en que una posible agrupación de residuos con características comunes puede ser la siguiente: metales pesados, ácidos, sales de metales pesados, bases, halogenados, disolventes, organometálicos, disolventes clorados, hidrocarburos y pesticidas (Benavides, 2007).

Existe un sin número de tratamientos para la eliminación o neutralización de los residuos, entre ellos podemos hablar de:

Inertización de residuos mediante el empleo conjunto de arcillas y cemento, sobre todo para la fijación de contaminantes inorgánicos con contenidos de metales pesados o compuestos orgánicos. El objetivo de estos tratamientos es la obtención de sólidos monolíticos de elevadas resistencias a la compresión (resistencia mecánica) y, sobre todo, a la lixiviación de los contaminantes (resistencia química). (López, 2002).

Otro tipo de tratamiento de residuos es la ósmosis inversa, que se emplea para separar el agua de las sales inorgánicas a través de una membrana que permite el paso del agua, pero impide el de las sales. El costo de las membranas puede representar el 50% o más del costo del equipo. Aparte de los problemas de ensuciamiento, los sistemas de ósmosis inversa son muy sensibles a la temperatura (Fernández, 2006).

Está también el procesamiento de borras. Gran parte de los residuos industriales contienen importantes cantidades de agua. Por lo tanto, la masa de residuos que requiere una disposición última puede reducirse sustancialmente eliminando agua en forma eficiente. Previo a la extracción del agua, se puede adelantar un proceso de espesamiento que se logra en forma gravitacional, mediante procesos biológicos o por medio del uso de productos químicos como la cal (Estrada, 2011).

La evaporación ambiental constituye una alternativa de bajo consumo energético que permite evaporar del líquido sobre superficies adsorbentes expuestas a la intemperie,

utilizando como fuerza impulsora el gradiente de humedad relativo en el sistema y la velocidad del aire (Arnal, 2012).

Este parámetro está directamente relacionado con la velocidad media (o promedio) de las moléculas necesaria para pasar de líquido a gas de forma gradual, sin que haya ebullición; si bien solo se depende de la temperatura ambiente, puede haber moléculas individuales que se muevan a una velocidad mucho mayor o mucho menor que la media (Fuentes, 2006).

La temperatura ambiente es un factor determinante a la hora de definir y calcular la velocidad de reducción de los residuos; aunque es muy variable, es la que aprueba o define el grado de incidencia de los demás parámetros que intervienen en el procesos de evaporización, como es la humedad relativa, el viento y el área de evaporización.

## **Materiales y métodos**

### **Área de estudio**

Los laboratorios de química general (I-203, I-204, I-205) de la Universidad de Pamplona, que se localizan en la ciudad de Pamplona, Departamento del Norte de Santander, en Colombia.

### **Selección de los residuos a tratar**

Se determinó tratar 8 líneas de residuos químicos, líneas que fueron clasificadas con anterioridad para su respectiva segregación, dependiendo de sus características fisicoquímicas y compatibilidades. Estas líneas son:

**Tabla 1.** Líneas de residuos químicos a tratar

LÍNEA	RESIDUOS	COMPOSICIÓN
8	Residuos de sales inorgánicas.	Cloruro de calcio, potasio, hierro, sodio, zinc, magnesio, sulfato de zinc, sulfato de sodio, sulfato ferroso, sulfato de cobre.
9	Residuos de otras sales inorgánicas.	Yoduro potásico, yodato férrico.
10	Residuos de nitrato de plata.	Residuos de nitrato de plata.
7	Residuos de otros hidróxidos o bases inorgánicas.	Hidróxido de calcio, hidróxido de amonio, hidróxido de bario, hidróxido de aluminio, hidróxido de potasio.
6	Residuos de hidróxido de sodio.	Residuos de hidróxido de sodio.
3	Residuos de ácido bórico.	Residuos de ácido bórico y fosfórico.
5	Residuos de otros ácidos inorgánicos.	Ácido yodhídrico, ácido carbónico.
13	Residuos de dicromato de potasio.	Residuos de dicromato de potasio.

Fuente: Elaboración propia (2013)

Para la selección del área de tratamiento se tuvo en cuenta un sitio al aire libre, lejos de cualquier zona permanente de tráfico de personal de la universidad, con condiciones aptas para realizar las mediciones de temperatura y tomar las respectivas acciones en caso de cambios en el clima, como las lluvias. Para cada uno de los residuos a evaporar se realizaron 4 réplicas en bandejas de acero inoxidable, de dimensiones

38 cm x 12 cm x 2 cm, con capacidad para 900 ml cada una, las cuales fueron colocadas en una estructura de madera y cubiertas por una superficie de vidrio; esta última sirve primero como elemento protector y segundo como pantalla para la transmisión de luz y de calor, aumentando la temperatura en la bandeja, factor esencial para el proceso.



**Figura 1.** Bandejas de acero inoxidable para evaporación

Fuente: Elaboración propia (2011)

## Resultados

En el diagnóstico inicial del estudio, como se presenta en la Tabla 2, se arroja un total de residuos recolectados de 40,24 litros entre los

años 2009 y 2010, producto de las prácticas en los laboratorios de química general.

**Tabla 2.** Reporte de recolección de residuos durante los años 2009 y 2010

AÑO	VOLUMEN
2009	23,932 litros
2010	16,308 litros
<b>Total de residuos</b>	<b>40,24 litros</b>

Fuente: Elaboración propia (2011)

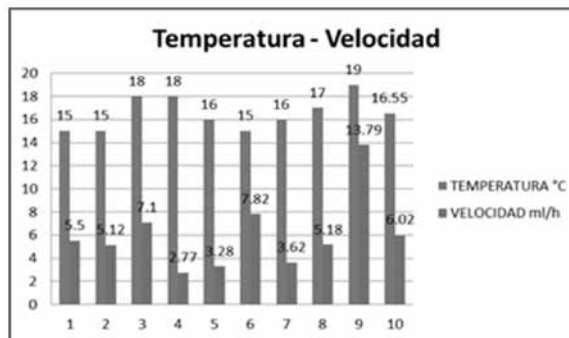
En la Tabla 3 se muestra el seguimiento de la evaporación y el volumen total de residuos evaporados durante el año 2010 (17,34 litros), correspondientes a residuos químicos como sales inorgánicas (línea 8), residuos de otras sales inorgánicas (línea 9), residuos de nitrato de plata (línea 10), residuos de otros hidróxidos o bases inorgánicas (línea 7), residuos de ácido nítrico (línea 3) y residuos de hidróxido de sodio (línea 6).

**Tabla 3.** Evaporación de residuos a temperatura ambiente

FECHA	LÍNEA	VOLUMEN(ml)	HORAS	TEMPERATURA
03/02/2010	8	80	4	22,5
03/02/2010	8	80	4,1	23,3
04/02/2010	8	80	3,36	27,75
05/02/2010	8	80	6	21,5
06/02/2010	8	160	6	22,33
25/03/2010	8	200	5	24,25
29/04/2010	8	100	4	24
29/04/2010	8	100	5	24,6
10/05/2010	9	300	6	21
11/05/2010	9	300	7,3	17,8
11/05/2010	9	50	2	22
11/05/2010	9	200	6,3	23
19/05/2010	9	300	7,3	21,8
25/05/2010	9	300	9	20
02/08/2010	8	400	10	20,6
24/08/2010	3	200	9	16
24/02/2010	10	250	5	25
27/08/2010	7	150	4,25	32,6
31/08/2010	7	100	3	26,5
01/09/2010	7	100	8	23,28
02/09/2010	9	100	6	21
16/09/2010	9	100	7,2	23,25
17/09/2010	9	100	5,3	23,33
15/09/2010	9	100	6,1	24,33
14/09/2010	9	100	10	16,6
17/09/2010	5	100	7,3	19
18/09/2010	5	100	6	20
13/09/2010	3	100	6	18,1
<b>PROMEDIO</b>		<b>154,64</b>	<b>6,02</b>	<b>23,34</b>
<b>TOTAL</b>		<b>4.330</b>		
<b>TOTAL(Por 4 réplicas)</b>		<b>17.320</b>		

Fuente: Elaboración propia (2012)

En la Figura 2 se observa la comparación entre la temperatura de evaporización y la velocidad en la reducción del volumen del contaminante o residuo, distinguiéndose que a mayor temperatura, mayor velocidad del proceso, lo que redundaría en un aumento de la eficiencia para esta alternativa de tratamiento de residuos químicos.



**Figura 2.** Gráfica de temperatura - velocidad de evaporación

Fuente: Elaboración propia (2012)

En la Tabla 4 se evidencia la velocidad de evaporación (en horas y minutos) de los residuos, con un promedio de 25,97 ml/h ó 0,42 ml/m. Se debe destacar que no necesariamente una mayor

temperatura ambiente hace que la velocidad del proceso sea más rápida, ya que se debe tener en cuenta otros aspectos antes mencionados.

**Tabla 4.** Velocidad de evaporación de los residuos

FECHA	LÍNEA	VOLUMEN	HORAS	°T PROMEDIO	VELOCIDAD ml/h	VELOCIDAD ml/m
03/02/2010	8	80	4	22,5	20	0,33
03/02/2010	8	80	4,1	23,3	19,51	0,32
04/02/2010	8	80	3,36	27,75	23,80	0,37
05/02/2010	8	80	6	21,5	13,33	0,22
06/02/2010	8	160	6	22,33	26,66	0,44
25/03/2010	8	200	5	24,25	40	0,66
29/04/2010	8	100	4	24	25	0,41
29/04/2010	8	100	5	24,6	20	0,33
10/05/2010	9	300	6	21	50	0,83
11/05/2010	9	300	7,3	17,8	41,10	0,66
11/05/2010	9	50	2	22	25	0,41
11/05/2010	9	200	6,3	23	31,74	0,51
19/05/2010	9	300	7,3	21,8	41,10	0,66
25/05/2010	9	300	9	20	33,33	0,56
02/08/2010	8	400	10	20,6	40	0,67
24/08/2010	3	200	9	16	22,22	0,37
24/02/2010	10	250	5	25	50	0,83
27/08/2010	7	150	4,25	32,6	35,30	0,57
31/08/2010	7	100	3	26,5	33,33	0,55
01/09/2010	7	100	8	23,28	12,5	0,12
02/09/2010	9	100	6	21	16,66	0,17
16/09/2010	9	100	7,2	23,25	14,28	0,21
17/09/2010	9	100	5,3	23,33	18,87	0,30
15/09/2010	9	100	6,1	24,33	16,40	0,27
14/09/2010	9	100	10	16,6	10	0,16
17/09/2010	5	100	7,3	19	13,70	0,14
18/09/2010	5	100	6	20	16,70	0,28
13/09/2010	3	100	6	18,1	16,70	0,28
<b>PROMEDIO</b>		<b>154,64</b>	<b>6,11</b>	<b>23,34</b>	<b>25,97</b>	<b>0,42</b>

Fuente: Elaboración propia (2012)

En la evaporación de las líneas, muchas de ellas presentan un alto grado de mineralización, según la composición de los residuos. Al observar la Tabla 5, la línea 6 (residuos de hidróxido de sodio) es la que mayor mineralización del contaminante

presenta; caso contrario de la línea 3 (ácido nítrico), que es una solución netamente de agua y solo presenta 2,5 gramos de sedimento debido a las impurezas del mismo y a la oxidación del recipiente que lo contiene al evaporarse.

**Tabla 5.** Sedimentos por línea de residuos evaporados

LÍNEA DE RESIDUO QUÍMICO	VOLUMEN EVAPORADO (ml)	SEDIMENTO POR VOLUMEN(gr)
3	400	2,5
5	400	6,7
6	2.020	122,15
7	600	11,4
8	5.000	129,27
9	4.200	207,22
10	600	5,3
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.888,6</b>	<b>69,22</b>

Fuente: Elaboración propia (2012)



En promedio, la evaporización de residuos a la sombra toma un tiempo próximo de 70,81 horas, equivalente a 2,95 días ó 3 días, aproximadamente, cuando son cantidades entre 100 y 500 ml, como se indica en la Tabla 6. El total de residuos evaporados en este tiempo fue de 3.145 ml o 3,145 litros, a una temperatura promedio de evaporizaron de 16,55 ° C.

**Tabla 6.** Evaporación a la sombra

FECHA	LÍNEA	VOLUMEN (ml)	HORAS	TEMPERATURA °C
17/07/2010	6	400	72	15
21/07/2010	6	400	78	15
25/07/2010	6	400	56	18
28/07/2010	6	400	144	18
03/07/2010	6	420	128	16
15/07/2010	9	400	51,10	15
22/07/2010	3	200	55,10	16
23/07/2010	13	125	24,10	17
02/09/2010	7	400	29	19
<b>PROMEDIO</b>		<b>349</b>	<b>70,81</b>	<b>16,55</b>
<b>TOTAL</b>		<b>3.145</b>		

Fuente: Elaboración propia (2012)

En la Tabla 7 se observa la velocidad a la cual se produce el tratamiento a la sombra, en un sitio con excelente ventilación; el tiempo de evaporización aumenta, dado que no se facilita la insolación directa, como tampoco la incidencia de otros parámetros que influyen en el proceso, todo lo cual retarda la disminución en el volumen del contaminante y así mismo reduce la velocidad de evaporización.

**Tabla 7.** Velocidad de evaporación a la sombra

FECHA	LÍNEA	VOLUMEN(ml)	HORAS	TEMPERATURA °C	VELOCIDAD ml/h
17/07/2010	6	400	72	15	5,5
21/07/2010	6	400	78	15	5,12
25/07/2010	6	400	56	18	7,1
28/07/2010	6	400	144	18	2,77
03/07/2010	6	420	128	16	3,28
15/07/2010	9	400	51,1	15	7,82
22/07/2010	3	200	55,1	16	3,62
23/07/2010	13	125	24,1	17	5,18
02/09/2010	7	400	29	19	13,79
<b>PROMEDIO</b>		<b>349,44</b>	<b>71</b>	<b>16,55</b>	<b>6,02</b>

Fuente: Elaboración propia (2012)

## Resultados

Uno de los aspectos fundamentales en la implementación de este tratamiento es la temperatura ambiente, pues de ella depende en gran medida la velocidad en la que el volumen del contaminante va reduciéndose. Se observa un aumento en la eficiencia del tratamiento durante los días en que la temperatura ambiente sube. Por lo tanto, cuando

las horas de insolación aumentan, la evaporación también lo hace. La insolación directa incide en la temperatura del aire y de los objetos en contacto (bandejas de acero inoxidable), al igual que del agua o el desecho, reduciendo la cantidad de líquido dispuesta en el área total de la bandeja.

En el caso de los ácidos, las concentraciones no excedían el 5%, determinándose que la cantidad total de líquido que se encontraba en los recipientes de segregación era agua; esta condición permite que la velocidad de evaporación sea mayor, al contrario de lo que ocurre con otros residuos como sales inorgánicas o hidróxidos de sodio. La velocidad de evaporación aumenta en las horas de la mañana y comienzo de la tarde, entre 10:00 a.m. y 3:00 p.m. Durante este lapso, en días despejados, el brillo solar es más intenso y acelera la eliminación del volumen que se pone en los recipientes. La velocidad de evaporación está directamente relacionada con la altura del líquido en la bandeja, ya que el vapor de agua formado al interior del líquido escapa más rápido con alturas menores. Los residuos mineralizados a consecuencia de la evaporación fueron en promedio 484,54 g, y se les neutralizó para este estudio mediante su fijación en una matriz sólida, utilizando como agente neutralizante cemento tipo portland. Así mismo, algunos sedimentos de sulfatos de sodio o de potasio fueron neutralizados en procesos o tratamientos de fitoremediación, en muchos casos utilizándolos como sales para fertilizar suelos.

La velocidad de evaporación a la sombra disminuye en un 77%, en comparación con la registrada a cielo abierto, aumentando en horas el tiempo de exposición necesario para disminuir el volumen de los residuos. Si bien esto significa una menor eficiencia en el tratamiento, no obstante sigue siendo una opción útil como alternativa de manejo, pues tampoco genera una mayor contaminación.

## Conclusiones

Es esencial destacar que en los nueve meses en que se tomaron los datos, se logró reducir un total de 17,32 litros al aire libre y 3,14 litros a la sombra, resaltando que los residuos evaporados fueron analizados para verificar que no se generó la emisión de residuos derivados de hidrocarburos, los cuales pueden causar daños mayores en el componente atmosférico.

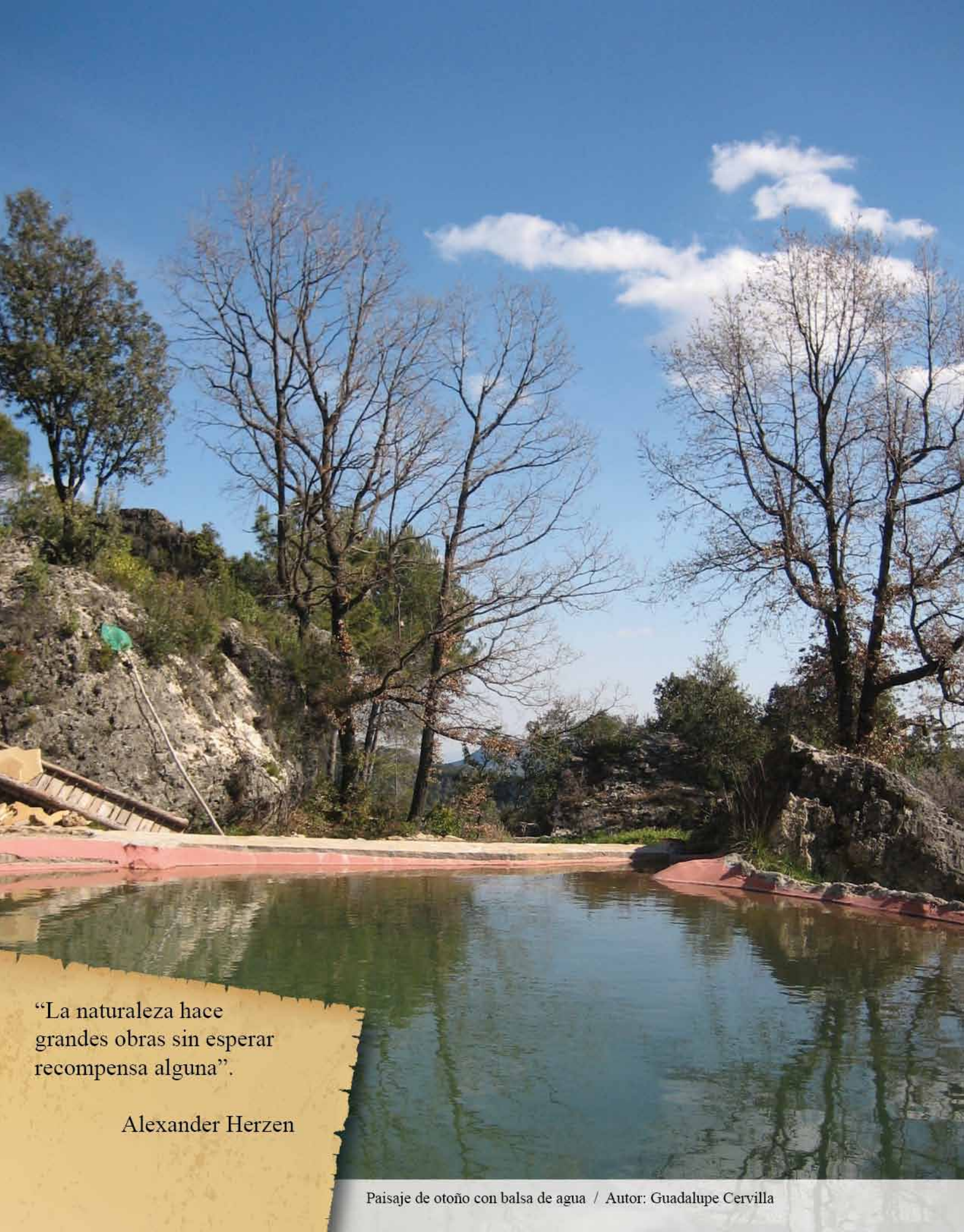
Como el estudio se realizó en un ambiente a una temperatura promedio entre los 16° C y 18° C, se puede deducir que, en un área con una temperatura más elevada, el tratamiento será más eficiente y por lo tanto los volúmenes de residuos químicos disminuirán, contribuyendo a optimizar el espacio disponible en los sitios de almacenamiento. Cabe señalar que en caso de que se presentaran lluvias, las bandejas estaban protegidas por una superficie de vidrio, la cual evitó el aumento en el volumen del residuo dentro del recipiente y previno posibles derrames. El vidrio también funcionó como superficie de reflexión del sol, lo que aumentaba la velocidad de evaporación y de insolación. En concreto, se debe buscar una alternativa de reducción de los volúmenes de residuos químicos que sea económica, beneficiosa para el medio ambiente y simple de ejecutar; que sustituya tratamientos más complicados que utilizan una mayor cantidad de reactivos, lo cual minimiza la contaminación generada al verter estos residuos por los desagües de los laboratorios.

## Referencias

- Arnal, J. M. (2012). Tratamiento de residuos peligrosos mediante la tecnología evaporativa de bajo consumo ENA. XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, 1109-1116.
- Benavidez, M. A. (2012). Alternativa para la segregación de residuos químicos generados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Cauca. Recuperado de [http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol2n1/PL\\_V2\\_N1\\_p054-65\\_unicauca.pdf](http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol2n1/PL_V2_N1_p054-65_unicauca.pdf)
- Baquero, J. C., Fernández, R. & Verdejo, J. (2008). Tratamiento de aguas ácidas. Prevención y reducción de la contaminación. Revista Sociedad Española de Mineralogía.



- Estrada, C. (2011). Tratamiento de residuos químicos peligrosos generados en los laboratorios de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Trabajo de grado. Magister en ciencias ambientales. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica.
- Fernández, S. (2012). Estudio de la capa de polarización durante el proceso de ósmosis inversa. En: Separaciones con membranas. España. Recuperado de <http://www.ingenieriaquimica.es/files/pdf/IQ/431/13ARTICULOEN.pdf>
- Fuentes, L. A. (2006). Evaluación del sistema alternativo de evaporación forzada de lixiviados para el relleno sanitario “Don Juanito” de Villavicencio, Meta. En L. A. Fuentes, & U. D. Salle (Ed.). Bogotá: Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.
- Galvis, C. J. (2009). Manual para el Manejo de los Residuos Químicos y Peligrosos de la Universidad Pedagógica Nacional. Sistema de Administración Ambiental SAA. Bogotá D.C.
- López, F. A. (2012). Solidificación / estabilización de residuos orgánicos mediante granulación con sepiolita. En: Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Recuperado de <http://ceramicayvidrio.revistas.csic.es/index.php/ceramicayvidrio/article/view/657/702>.



“La naturaleza hace grandes obras sin esperar recompensa alguna”.

Alexander Herzen