

ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES TÉCNICAS DE DEGRADACIÓN DE UN RESIDUO REAL DE FORMALINA DE USO VETERINARIO

Se han estudiado diferentes técnicas de degradación del residuo real de formol generado en la Facultad de Veterinaria (ULPGC). Controlando la cinética de degradación, se han comparado sus eficiencias. Las técnicas se encuadran en dos: Fotocatalíticas homogéneas y químicas. Las técnicas de foto-Fenton son las que mejor resultado dieron en el primer grupo y, en el segundo, el tratamiento con hipocloroso en presencia de catalizador de Co(II) resultó ser el más eficaz. La combinación de ambas técnicas mejoró los resultados.

The degradation of the real formaldehyde wastewater by several techniques has been studied. The wastewater was produced in the Veterinary Faculty (ULPGC). Monitoring the degradation kinetics, their efficiencies have been compared. The techniques are classified in two: Homogeneous photocatalytics and chemical processes.

Photo-Fenton was the photocatalytic process which provided the best results. However, the treatment with hypochlorous acid with Co(II) as a catalyst, was the most efficient chemical method. The combination of both techniques improved the results.

J.L. Martínez Nieto

O.M. González-Díaz

J.A. Herrera-Melián

F.J. Araña

PRESENTACIÓN

Uno de los inconvenientes en los Centros de Investigación, donde el uso de productos químicos es cotidiano, es gestionar los residuos que se generan. Intentamos aportar iniciativas encaminadas a optimizar el tratamiento in situ del formol de uso veterinario.

INTRODUCCIÓN

El residuo de formalina que hemos tratado procede de los laboratorios de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. La cantidad en volumen de formol que se genera varía con el transcurso del año, siendo mayor, como es lógico, durante los períodos de las prácticas docentes e investigadoras, sobre todo, en asignaturas que necesitan la conservación de tejidos como parte fundamental de su desarrollo. Se esti-

ma una producción media por mes de 500 litros de residuo.

Se llegó a tener, acumulado, antes de la actuación del gestor y de la aplicación de nuestros tratamientos, un volumen de unos 3000 litros. Pensamos que aportar soluciones a dicha acumulación podría ser interesante para la Facultad de Veterinaria.

Desde el punto de vista químico el residuo tiene como componente principal al formol o formalina que es una mezcla homogénea en agua de aldehído fórmico y metanol (Gullikson, R. 1994). El aldehído fórmico, metanol o formaldehído es un gas a temperatura ambiente, aunque se solubiliza extraordinariamente bien en agua (diol geminal, óxido de metileno). El óxido de metileno no es estable: se polimeriza produciendo un sólido de color blanco (T_{fus} , 155°C), el paraformaldehído, que no tiene ningún efecto conser-

El residuo de formalina que hemos tratado procede de los laboratorios de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

En la Facultad se tiene un residuo acumulado, cuyo volumen está comprendido entre 3000-4000 litros. Pensamos que aportar soluciones a dicha acumulación podría ser interesante para la Facultad de Veterinaria.

La toxicidad del formaldehído está bien establecida desde hace décadas. Por ejemplo, se han descrito efectos tóxicos en peces y en algas.

vador, se tiene que evitar su formación, añadiendo metanol (11-14% en peso).

Objetivo

La finalidad de este trabajo es aportar pautas óptimas para una degradación eficaz de los componentes tóxicos del residuo de Veterinaria. Debemos destacar, a su vez, que el formol que se usa en la Facultad de Veterinaria está diluido, y la disolución resultante tiene una composición cuatro veces menor. La toxicidad del formaldehído está bien establecida desde hace décadas. Por ejemplo, se han descrito efectos tóxicos en peces y en algas (Murphy et al., 1989; Howland, 1970). Así mismo, según datos de TLV, TLV-TWA y STEL (IPCS), el formaldehído presenta límites de exposición que oscilan entre 0.3 y 0.75 ppm, (Freixa, 1996). Los efectos a corto plazo (STEL), por la inhalación del gas, incluyen bronquitis, edema pulmonar, inflamación de los pulmones y tracto respiratorio, neumonía y colapso respiratorio general con resultado de muerte. Bajas concentraciones (2-3 ppm) causan un cosquilleo en la nariz y en la garganta.

Los peligros serios suceden en ámbitos entre 50-100 ppm, a estos ni-

veles la aparición de edema, la inflamación de los pulmones y la muerte es muy probable. El edema pulmonar puede desarrollarse varias horas después de la exposición en ambientes muy contaminados, por lo que debe prolongarse la vigilancia médica del afectado al menos durante 24 h. La organización NIOSH ha establecido un valor de IDLH de 30 ppm (Howard, 1989). Organizaciones como la EPA, OSHA y NIOSH lo clasifican como carcinógeno potencial (NIOSH, 1981). De la misma forma, el otro componente importante, el metanol, resulta ser de peligrosidad similar. En efecto, por inhalación puede causar efectos en el sistema nervioso central, pérdida del conocimiento, y la ingestión causa ceguera, sordera y la muerte (IPCS). Los límites de exposición de metanol de acuerdo con el límite TLV, así como el TLV-TWA es de 200 ppm, aunque con valores de 262 ppb se han descrito efectos tóxicos sobre la piel, (Freixa et al. 1996).

ASPECTOS EXPERIMENTALES

Productos químicos e instrumentación empleada

Se describen en la Tabla 1 todos los reactivos, fungible y equipamiento usado en la investigación.

Reactivos	Material fungible	Equipamiento usado en el trabajo
<ul style="list-style-type: none"> •Residuo de Veterinaria •Formalina grado reactivo Panreac. •CH₃OH Scharlau. •Agua oxigenada Panreac. •FeSO₄·7H₂O Panreac. •HCl(ac) 35% Panreac. •NaOH 98% Lentejas Panreac. •DNPH, 33% Agua Panreac. •NaOOCCH₃ 98%, Panreac. •CH₃COOH glacial, Panreac. •C₆H₅Na₃O₇ 99%, Panreac. •C₆H₈O₇ 99%, Panreac. •C₁₀H₁₀Na₂O₁₀S₂ 95%, Scharlau. •CH₃CN Grade HPLC, Scharlau. •CoCl₂·6H₂O 95%, Panreac. •NaClO, 99%, Panreac. •Agua resistencia 18.2 MΩ. 	<ul style="list-style-type: none"> •Cartuchos SPE, Supelco C18. •Filtros 22 y 45 µm, Whatman. •Material de vidrio habitual. •Microjeringas Hamilton. •Columna Varian C18, 15 cm. 	<ul style="list-style-type: none"> •Espectrofotómetro UV-visible Cary-5-VARIAN. •HPLC Varian Detector UV-visible. •Termostato-criostato SELECTA. •Balanza Analítica A&D HR-200 •Balanza Granatario COBOS CB junior. •TOC Shimadzu 5000-A •Lámpara de Xenon de 800 W (Sola-rium Facial UV-A HPA 8068 ENCO longitud de onda 210-380 nm). •Generador de ozono.

Tabla 1. Descripción de los reactivos químicos, material fungible y equipamiento utilizado en el desarrollo de este trabajo.

Procedimientos Analíticos

En la tabla 2, se presentan los parámetros de calidad de las técnicas analíticas empleadas. En las referencias citadas, en la Bibliografía, se describen con detalle ambos procedimientos analíticos (Método ID-205, OSHA: Método 8315^a de la USEPA, USA).

Cuando se usan concentraciones altas de peróxido, tienen lugar reacciones competitivas que provocan un efecto inhibitorio en la degradación.

3. Ozonización.

El ozono se ha venido usando como reactivo gaseoso en estrate-

Técnica	Ordenada	Pendiente	Correlación	LOQ ¹	LOL ²	Inter ³ .
Cromotrópico	0.212 ± 0.003	0.032 ± 0.006	0.9898	3 ppm	80 ppm	H ₂ O ₂
DNP-HPLC ⁴	1.5·10 ⁴ ± 4·10 ³	1.33·10 ⁶ ± 9·10 ³	0.9986	50 ppb	3 ppm	-

¹ Límite óptimo de cuantificación, relacionado con la concentración mínima detectable.

² Límite óptimo lineal, relacionado con la concentración máxima a partir de la cual la señal deja de ser lineal con la concentración.

³ Principales interferencias.

⁴ Diluciones órdenes de 10000.

Tabla 2. Parámetros de calidad y de ajuste de las curvas de calibración para las técnicas analíticas empleadas.

Metodologías de degradación

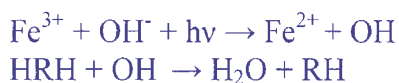
1. Fotólisis Ultravioleta con adición de H₂O₂, H₂O₂/UV.

La fotólisis se ha realizado aplicando al residuo una radiación ultravioleta por medio del concurso de una lámpara (véase Tabla I) UV-A con longitud de onda comprendida entre 210-380 nm, en presencia de agua oxigenada. (CYTED VIII-G, Ed. Miguel A. Blesa, 2001). Al aumentar la concentración de peróxido se produce inhibición (Doménech, et al., 2001).

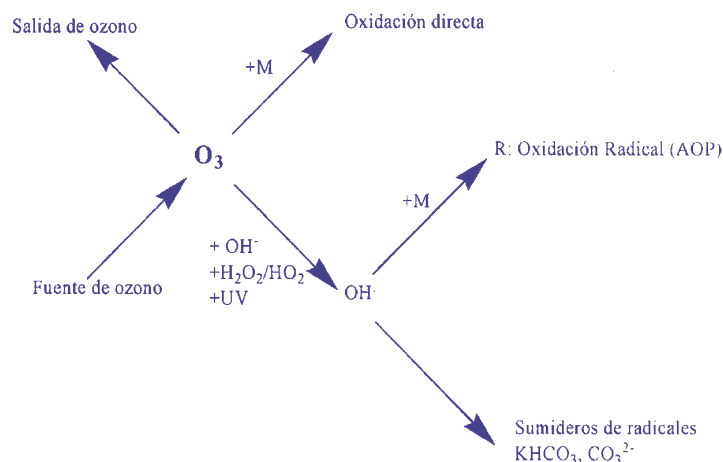


2. Foto Fenton

El proceso de Fenton (pH ≤ 3, Andreozzi, 1999; Fallmann, 1995; Bauer, 1997; Spacek, 1995) fotoasistido o reacción de foto Fenton, es parecido al proceso de Fenton solo que la formación de los radicales hidrófilo se produce a expensas de la radiación ultravioleta (200-400 nm). Este factor adicional aumenta la degradación de contaminantes orgánicos (Fallman et al., 1999; Kim et al., 1996).



gias de oxidación de sustancias contaminantes, de hecho se ha utilizado como alternativa a la lejía en el tratamiento terciario de depuración de aguas residuales. En el esquema siguiente podemos ver los tipos de oxidación en el que puede usarse.



La vía que nosotros emplearemos es la de combinar el proceso con foto Fenton, por lo que usaremos la Oxidación vía Radicales Libres (AOP).

4. Tratamiento químico de oxidación del HCHO con H₂O₂ en medio básico de NaOH (Junkermann, 1962)

Este procedimiento se basa en la reacción que tiene lugar entre el for-

maldehído y el peróxido de hidrógeno en medio básico, el esquema sería:



Esta reacción está descrita como método de detección estequiométrico del formaldehído según los métodos oficiales de Análisis (AOAC, 16th Ed., Vol. 1, 898.01).

5. Tratamiento químico de oxidación del HCHO con HClO catalizado con CoCl₂·6H₂O (Murphy, 1983 y Murphy et al., 1993)

Según Murphy et al., la oxidación del HCHO en ácido hipocloroso se encuentra fuertemente acelerada en presencia de cloruro de cobalto (II) hexahidratado. La reacción se produce en dos fases: en la primera de ellas, el HCHO se oxida a ácido fórmico; y en la segunda, éste se oxida a dióxido de carbono.



El mecanismo que se encierra tras esta oxidación no está bien establecido, pero la literatura (Besson, 1947) menciona que el hipoclorito oxida a las disoluciones de Co(II) a un estado de Co(IV). El Co(III) es inestable en medio acuoso. La acción del cloro sobre las disoluciones de Co(II) produce una sustancia negra que puede contener CoO₂. Estas especies altamente oxidadas del cobalto podrían estar implicadas en la oxidación del HCHO y del ácido fórmico.

6. Combinaciones de tratamientos

Se ha aplicado el proceso de foto Fenton junto con el básico de oxidación y posterior foto Fenton. También se ha combinado el foto Fenton con el ácido hipocloroso-Co(II). Por último, se ha combinado foto Fenton con ozonización.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al residuo de Veterinaria se le ha realizado un tratamiento previo, un ataque ácido. Se produce un sólido blanquecino que oscurece

con el tiempo. Al sólido se le sometió a un análisis por espectrofotometría infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR), encontrándose que se correspondía muy bien con la señal de un éster de la sacarosa y un ácido graso. Una vez separado este sólido, se trabajó con el filtrado cuyo TOC osciló entre 14000 y 22000 mg/l.

En la Figura 1, se muestran los perfiles de concentración del formaldehído residual, obtenidos en la aplicación de los procesos de fotólisis directa y de foto Fenton.

Puede observarse como en ambos casos la mineralización no es muy buena. Sin embargo, se aprecia cómo durante los primeros 90' de degradación, el proceso de foto Fenton presenta una mayor mineralización. Esto se debe al hecho de que el metanol que contiene el formol puede degradarse y es posible que la mineralización se ralentice por formación del paraformaldehído. Por el contrario, se aprecia como en el proceso foto Fenton, (♦), se produce una importante eliminación de formaldehído que prácticamente queda a niveles por debajo del 25% con respecto a los valores iniciales. Esto es una importante eliminación de uno de los tóxicos más peligrosos del residuo.

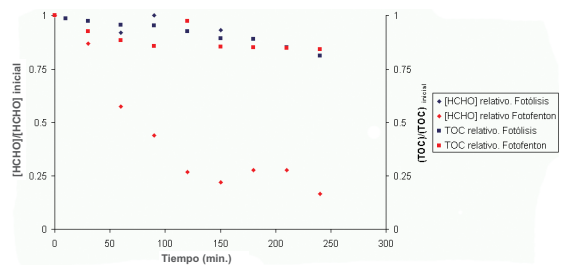


Figura 1. Perfiles de concentración relativos para los procedimientos Fotólisis directa/UV/H₂O₂ y con Foto Fenton.

Las variables óptimas para el foto Fenton son: [Fe²⁺] = 89.29 ppm y Volumen de peróxido 3.0 ml dosificación cada 30'. En la Tabla 3, se presentan los cuatro ciclos de cuatro horas a los que se sometió el residuo acidificado sin retirar el sólido formado.

Tiempo (min)	Primer ciclo [HCHO] ppm	Segundo ciclo [HCHO] ppm	Tercer ciclo [HCHO] ppm	Cuarto ciclo [HCHO] ppm
0	24956.54	9049.62	1840.89	948.90
10	9442.18	9012.00	1908.08	1154.96
30	9125.04	9008.18	1008.90	898.27
60	9195.77	7268.56	1313.61	712.19
90	6614.97	7348.30	1200.28	1095.14
120	6530.00	8317.42	1200.00	563.70
150	6375.47	6468.63	1210.35	749.24
180	4773.45	6497.07	1441.78	730.84
210	7420.87	5476.78	957.37	519.86
240	6234.36	4827.37	1166.64	673.10

Tabla 3. Ciclos de foto Fenton al residuo de veterinaria acidificado sin retirar el sólido.

A la vista de estos resultados se pueden extraer interesantes consecuencias, como que el valor de la concentración residual del formaldehído disminuye lentamente si no se retira el sólido suspendido en el proceso. Sobre los 180' se produce un aumento en la concentración de Formaldehído por oxidación del metanol presente. La mayor caída en el valor de la concentración se produce durante los 10 primeros minutos.

La disminución de la concentración de formaldehído no cambia al acidificar y filtrar. No obstante sí que cambia el contenido de carbono orgánico total, que disminuye significativamente. En la Figura 2, se muestra la degradación de foto Fenton realizada sobre formol grado reactivo. Se observa que alrededor de los 180' se produce el aumento en el valor de la concentración de formaldehído achacable, ahora sin ninguna duda, a la oxidación del metanol.

La confirmación de que el aumento en el valor de la concentración de formaldehído es debida a la oxi-

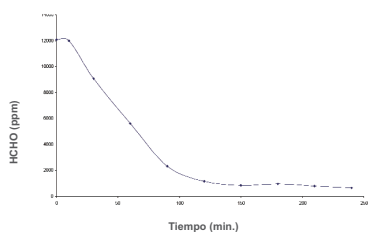


Figura 2. Foto Fenton del formol calidad reactivo.

dación del metanol, se pone de manifiesto al estudiar la degradación por foto Fenton del metanol calidad reactivo. La Figura 3 muestra dicha degradación. La Tabla 4 muestra los parámetros de la degradación empleando el tratamiento químico basado en la aplicación de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) e hidróxido sódico ($NaOH$). A la vista de estos resultados, resulta positivo aplicar el pretratamiento incluso a este tratamiento químico, dado que se produce una importante disminución en el TOC de 31313 a 18850 ppm. La disminución del formaldehído en el residuo de Veterinaria oscila de un 93 a un 95% para el residuo sin tratar al tratado, respectivamente.

La aplicación del tratamiento químico de oxidación con ácido hipocloroso catalizada con cobalto (II) al residuo de veterinaria pretratado, dio los resultados que se muestran en la Tabla 5. El método muestra que al cabo de un día de actuación de la reacción, se produce una mineralización bastante buena dado que el TOC se reduce en un 80%. De los tratamientos químicos éste es el que mejor expectativas presenta. Se han realizado también una serie de combinaciones de tratamientos que intentan mejorar la eficacia del proceso de degradación global. La Tabla 6 recoge los resultados de la combinación de los tratamientos de foto Fenton-Oxidación básica y de nuevo aplicación de foto Fenton.

El valor de la concentración residual del formaldehído disminuye lentamente si no se retira el sólido suspendido en el proceso.

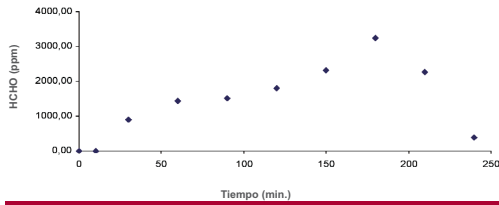


Figura 3. Concentración de formaldehído en el foto Fenton del metanol puro.

con hipocloroso se le somete a un tratamiento de foto Fenton y los resultados se muestran en la Tabla 7. En ella podemos apreciar cómo al cabo de las 2 horas deja de detectarse el formaldehído.

Como fuente oxidante también hemos utilizado el ozono (O₃) pro-

Tiempo (min)	Concentración	Residuo Veterinaria ppm	Residuo Veterinaria pretratado ppm	Formol puro ppm	Metanol puro ppm
0	HCHO	13792.18	17424.72	13787.36	0
	TOC (HCHO)	5517.08	6970.16	5515.16	0
	TOC	31313	18850	11760	7441
60	HCHO	1256.79	877.35	1955.29	0
	TOC (HCHO)	502.73	350.95	782.15	0
	TOC	26975	18140	11250	7397
240	HCHO	1200.20	920.22	2121.39	0
	TOC (HCHO)	480.10	368.10	848.59	0
	TOC	21855	18521	11250	6957

Tabla 4. Valores de concentración para el tratamiento con peróxido en medio básico.

Se puede ver (Tabla 6) cómo después de la etapa de la oxidación básica, donde se produce un descenso importante, en tan sólo 30', de la concentración de formaldehído, equivalente a 6 horas del 1º foto Fenton, la aplicación del 2º foto Fenton, prácticamente deja inalterable el valor de la concentración de formaldehído, pero rebaja el contenido en TOC en 4000 ppm. Al resultado de la degradación

cedente de un generador de ozono y la salida del mismo se introducía dentro del vaso de reacción. Este ozono se ha utilizado en vez del aire para realizar el foto Fenton. Resultado de ello, tenemos un tratamiento combinado de ozono y foto Fenton. El hecho de que nos hayamos decidido por combinarlos directamente se debe a que las pruebas preliminares realizadas a diferentes

Tiempo (min)	HCHO ppm	TOC HCHO ppm	TOC ppm
0	13587.77	5435.32	16279
10	9752.80	3901.12	9320
30	8419.96	3368.12	8576
120	8282.60	3313.17	8300
1440	1274.50	509.80	3207

Tabla 5. Tratamiento con hipocloroso y CoCl₂·6H₂O aplicado al residuo de Veterinaria pretratado con ácido y filtrado.

Tratamiento	Etapas	HCHO ppm	TOC HCHO ppm	TOC ppm
1º foto Fenton	t = 0	16698.40	6787.36	15844
	t = 480'	8955.65	3587.26	10351
Oxidación Básica	Inicio	8955.65	3587.26	10351
	Final 30' después	553.98	221.59	10312
2º foto Fenton	Inicio	553.98	221.59	10312
	Final 240' después	651.67	260.67	6357

Tabla 6. Combinación foto Fenton-Oxidación Básica-foto Fenton.

valores de pH con ozono solamente sobre el residuo de Veterinaria, no produjeron ningún efecto de disminución en los valores de la concentración inicial del tóxico principal, el formaldehído.

Las Figuras 4 y 5 muestran los resultados obtenidos expresados en valores relativos, para el residuo de Veterinaria y para la formalina pura, y el comportamiento del metanol puro, respectivamente. Se puede observar como la degradación es mucho mejor para el producto puro. Esto se debe a la casi segura presencia de carbonatos y bicarbonatos en el residuo que actúan como sumideros de radicales.

Tiempo (min)	HCHO ppm	TOC ppm
0	1274.50	3207.4
30	366.04	2871.9
60	434.02	2623.8
90	450.53	2552.2
120	-	2485.7
150	-	2434.4
180	-	2405.6
210	-	2290.3
240	-	2061.5

Tabla 7. Residuo de la degradación con hipocloroso, tratado con foto Fenton.

cos previos como la acidificación y, posteriormente, la separación de los lodos formados mediante procesos de filtración. De esta forma se elimina gran parte de la materia orgánica y el residuo se hace traslúcido, por lo que la eficacia cuántica de los procesos fotocatalíticos mejora sensiblemente. Los lodos generados básicamente consisten en ésteres de azúcares formados al añadir ácido al residuo.

En cuanto a los procesos aplicados diremos que el proceso de foto Fenton combinado con un tratamiento químico como el empleo de álcalis-peróxido o el de ácido hipocloroso-Cobalto son los que han dado mejores resultados. Ahora bien, estos tratamientos requieren el empleo de metales como el hierro y el cobalto que deben ser retirados del medio. Por esta razón, nuestro objetivo queda abierto para incorporar tratamientos biológicos. De los procesos fotocatalíticos, el más idóneo es el foto-Fenton, ya que gestionar la separación del hierro parece sencillo. Una vez hecho este tratamiento es nuestra intención

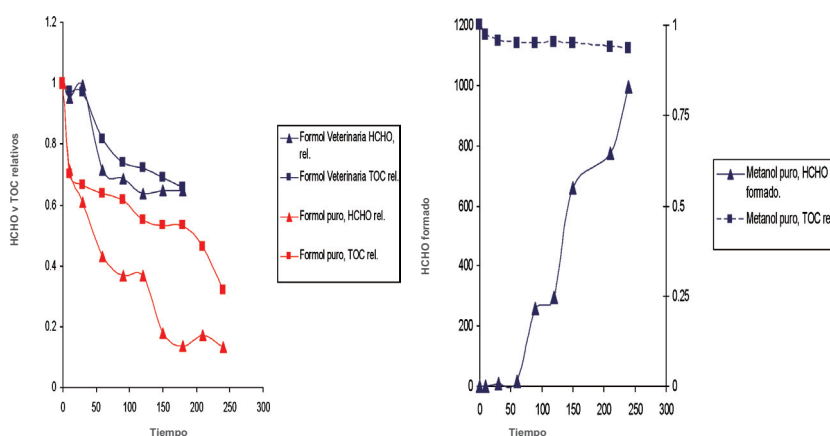


Figura 4 y 5. Residuo, formol puro y metanol puro Ozono+foto Fenton.

CONCLUSIONES

El residuo de Veterinaria es complejo y para gestionarlo de una forma eficaz se requiere la aplicación de tratamientos químicos

someter el residuo a la acción de bacterias específicas o aquellas procedentes de aguas residuales de la propia Facultad y combinar este efecto con el empleo de plantas acuáticas (humedales).

El residuo de Veterinaria es complejo y para gestionarlo de una forma eficaz se requiere la aplicación de tratamientos químicos previos como la acidificación.

En cuanto a los procesos aplicados diremos que el proceso de Fotofenton combinado con un tratamiento químico como el empleo de álcalis-peróxido, o el de ácido hipocloroso-Cobalto son los que han dado mejores resultados.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Facultad de Veterinaria las facilidades recibidas para la recogida del residuo para su tratamiento y en especial al Laboral encargado del Laboratorio de Anatomía D. Diego Blanco Sucino.

GLOSARIO

Fórmulas Químicas

CH_3OH -Metanol.

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -Sulfato ferroso heptahidratado.

$\text{HCl}(\text{ac})$ -Ácido clorhídrico.

NaOH -Hidróxido sódico.

$\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_4\text{O}_4$ -2,4-dinitro fenilhidracina.

NaOOCCH_3 -Acetato sódico anhidro.

CH_3COOH -Ácido acético.

$\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7$ -Citrato sódico anhidro.

$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ -Ácido cítrico.

$\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{Na}_2\text{O}_{10}\text{S}_2$ -Ácido cromotrópico.

$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Cloruro cobaltoso hexahidratado.

NaClO -Hipoclorito sódico.

Términos

Diol.- Compuesto orgánico con dos grupos alcohólicos, (OH), unidos al carbono.

DNPH.- Abreviatura del reactivo 2,4-dinitrofenilhidracina.

Edema pulmonar.- Fluido en los pulmones.

EPA.- Environmental Protection Agency. Agencia para la Protección del Medioambiente, USA.

Geminal.- Unión covalente de grupos funcionales al mismo átomo de carbono.

Hidrazona.- Compuesto orgánico que contiene la siguiente secuencia de enlaces: Átomo de carbono doble enlace a uno de nitrógeno y éste con un enlace sencillo a otro átomo de nitrógeno. La hidrazona más sencilla sería $\text{R}_2\text{C}=\text{N}-\text{NH}_2$, que recibe este nombre genérico. Cualquier sustituyente que reemplace a los hidrógenos unidos al nitrógeno, se nombra como radical (terminación "il") y posteriormente la palabra hidrazona, así la fenilhidrazona sería $\text{R}_2\text{C}=\text{N}-\text{NHC}_6\text{H}_5$.

IDLH.- Immediately Dangerous to Life and Health. Daño Inminente para la Vida y la Salud.

NIOSH.- National Institute for Occupational Safety and Health. Instituto Nacional para la Salud y la Seguridad en el Trabajo, USA.

OSHA.- Occupational Safety and Health Administration. Administración (Ministerio) para la Seguridad y Salud en el Trabajo, USA.

ppm.- Unidad de concentración que representa 1 mg de soluto en 1 litro de disolución, también en 1 kg de disolución, se lee "parte por millón". El volumen de la disolución puede ser referido a una mezcla de gases (aire) ó bien a una disolución líquida.

ppb.- Unidad de concentración que representa 1 mg de soluto en 1000 litros de disolución, o sea 1 m^3 , también en 1000 kg de disolución, 1 Tonelada, se lee "parte por billón". El volumen de la disolución puede ser referido a una mezcla de gases (aire) ó bien a una disolución líquida.

Quelante.- Sustancia dadora de más de una pareja de electrones a un ion metálico central, los puntos de donación están localizado en zonas distintas de la molécula quelante, dando una estructura final que asemeja a la

de las pinzas de un cangrejo, de ahí su nombre ("quelas"). El compuesto formado es denominado complejo quelante o quelado.

STEL.- Short Term Exposure Limit. Límite de Exposición a corto plazo.

TLV.- Threshold Limit Value. Valor Umbral ó límite Tolerable.

TLV-TWA.- Threshold Limit Value Time-Weighted Average. Valor Límite Tolerable Promediado en el Tiempo.

TOC.- Siglas de Total Organic Carbon, contenido de carbono orgánico total.

BIOGRAFÍA

DR. D. JORGE LUIS MARTÍNEZ NIETO

Natural de Panamá, Ingeniero Nuclear por la Universidad de Checoslovaquia.

DR. D. OSCAR M. GONZÁLEZ DÍAZ

Profesor titular de Química Física Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y componente del Grupo de Investigación FEAM (Fotocatálisis y Electroquímica Aplicada al Medio Ambiente) y del Centro de Investigación CIDIA (Centro Instrumental Químico Físico para el Desarrollo de la Investigación Aplicada).

DR. D. JOSÉ A. HERRERA MELIÁN

Profesor titular de Química Física Universidad de Las Palmas de Gran Canaria componente de FEAM y CIDIA.

DR. D. FRANCISCO JAVIER ARAÑA MESA

Becario Ramón y Cajal, investigador de FEAM y CIDIA.

Edificio Central del Parque Científico y Tecnológico de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. CIDIA-FEAM.
Campus de Tafira s/n.
35017 LAS PALMAS
Tfo.: 928457298
Fax: 928457301
E-mail: ogonzalez@dqui.ulpgc.es

BIBLIOGRAFÍA

R. Andreozzi; V. Caprio; A. In-sola; R. Marotta, (1999): "Advanced Oxidation Processes (AOP) for water purification and recovery", *Catalysis Today*, 53, págs. 51-59.

R. Bauer; H. Fallmann, (1997): "The photo-Fenton oxidation: A cheap and efficient wastewater treatment method". *Res. Chem. Intermed.* 23(4), págs. 342-354.

J. Besson, (1947) : "Oxidation with hypochlorous acid". *Ann. Chim.*, 2, págs. 527.

M. A. Blesa, (2001): "Eliminación de contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea", texto colectivo elaborado por la Red CYTED VIII-G.

X. Doménech; W. F. Jardim; M. I. Litter, (2001): "Procesos Avanzados de Oxidación para la Eliminación de Contaminantes", texto colectivo elaborado por la Red CYTED VIII-G.

H. Fallmann; T. Krutzler; R. Bauer; S. Malato; J. Blanco, (1995): "Solar photo-Fenton treatment and real waste waters", *Publicación CIEMAT y PSA*, Almería-Viena, págs. 25-30.

H. Fallman; T. Krutzler ; R. Bauer, S. Malato ; S. Blanco, (1999) : "Applicability of the Photo-Fenton method for treating water containing pesticides". *Catalysis Today*, 54, págs. 309-319.

A. Freixa; X. Guardino y P. Ysern. (1996): "La exposición al for-

maldehído y otros agentes químicos en las salas de disección y su entorno" *Acta de Barcelona, Sociedad Anatómica Española*.

P. Gough, (1989): American Industrial Hygiene Association, OSHA, USA.

R. Gullickson, (1994): "Referente Data Sheet on Formaldehyde". <http://www.meridianeng.com/formalde.html>.

L. Howard, (1989): Vol.1; OSHA, USA.

L. Howard, (1991): American Conference of Governmental Industrial Hygienists, OSHA, USA.

L. Howard, (1993): American Conference of Governmental Industrial Hygienists, OSHA, USA.

R.M. Howland (1970): "Division of Fishery Research, Bureau of Sports Fisheries and Wildlife: Narragasset".

H. Junkermann; H. Schwab, (1962): *United States Patent* 4.104.

S. M. Kim; S. U. Geiseen; A. Vogel-pohl, (1999): "Landfill leachate treatment by a photoassisted fenton reaction". *Water Science and Technology*, 35, págs. 239-249.

Método ID-205, OSHA: Método 8315ª de la USEPA, USA.

A. P. Murphy, (1983): "Chemical process for the catalytic oxidation of formaldehyde and other organic compounds". *United States Patent* 5.244.581.

A. P. Murphy; W. J. Boegli; M.K. Price y C. D. Moody. (1989): "A Fenton-like Reaction to Neutralize For-

maldehyde Waste Solutions". *Environmental Science and Technology* 23, págs. 166-169.

A. P. Murphy ; L. H. Rowley ; C. D. Moody, (1993): "Dilute aqueous formaldehyde oxidation with hypochlorous acid". *Desalination*, 91, págs. 199-208.

Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (2000): IPCS, Fichas Internacionales de Seguridad Química, Metanol, ICSC: 0057.

W. Spacek; R. Bauer; G. Heisler, (1995): "Heterogeneous and homogeneous wastewaters treatment comparison between photodegradation with TiO₂ and photo-Fenton reaction". *Chemosphere*, 30(3), págs. 477-484.

AOAC, 16th Ed., Vol. 1, 898.01. <http://www.lenntech.com/ozone/ozone-reaction-mechanisms.htm>.

Patrocinador de esta investigación:

**ASTILLEROS CANARIOS, S.A.
(ASTICAN)**