

OPTIMIZACIÓN DE UN PROCESO DE
DEGRADACIÓN DE AGUA PROCEDENTE
DE LA INDUSTRIA DEL COCIDO DEL
CORCHO MEDIANTE UN
TRATAMIENTO COMBINADO DE
OZONO Y LUZ UV-VISIBLE

Grado en Ingeniería Química

Realizado por:

Sofía Rebagliato Torregrosa

Directores:

Ana M^a Amat Payá

Sara García Ballesteros

Rosa Francisca Vercher Pérez

INDICE

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
LA INDUSTRIA DEL CORCHO	1
<i>SACA O DESCORCHADO</i>	1
<i>PROCESO DE REPOSO</i>	2
<i>HERVIDO O COCIDO</i>	2
<i>ESTABILIZADO EN BODEGA</i>	3
<i>PERFORACIÓN DE LOS TAPONES</i>	4
<i>LAVADO, DESINFECCIÓN, MARCADO Y EMBALAJE</i>	4
GENERACIÓN DE OZONO	5
PROPIEDADES DE LOS CONTAMINANTES A DEGRADAR	7
<i>ÁCIDO GÁLICO</i>	7
<i>ÁCIDO PROTOCATECUICO</i>	7
<i>ÁCIDO VANÍLICO</i>	8
<i>ÁCIDO SIRÍNGICO</i>	9
<i>ÁCIDO SINÁPICO</i>	9
<i>2,4-DINITROFENOL</i>	10
<i>ÁCIDO ELÁGICO</i>	10
<i>ÁCIDO TÁNICO</i>	11
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO	12
2. MATERIALES Y MÉTODOS DE LABORATORIO	13
MATERIALES Y MÉTODOS	13
• <i>ESPÁTULAS Y VIDRIOS DE RELOJ</i>	13
• <i>MATRACES AFORADOS</i>	13
• <i>VASOS DE PRECIPITADO</i>	14
• <i>FILTROS MILIPORE</i>	14
• <i>JERINGUILLA</i>	14
• <i>LÁMPARA DE XÉNON (UV-VISIBLE)</i>	15
• <i>CRONÓMETRO</i>	15
EQUIPOS DE ANÁLISIS	15
• <i>BÁSCULA DE PRECISIÓN</i>	15
• <i>CROMATÓGRAFO DE LÍQUIDOS DE ULTRA-ALTA EFICACIA O HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY</i>	17
• <i>EQUIPO (SHIMADZU) DE DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)</i>	18
EQUIPOS DE REACCIÓN	19
• <i>OZONIZADOR</i>	19
3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	20
4. RESULTADOS	23
EXPERIMENTO 1	24
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 1</i>	24

<i>TABLAS DE RESULTADOS EXPERIMENTO 1</i>	24
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 1</i>	27
EXPERIMENTO 2	28
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 2</i>	28
<i>TABLAS DE RESULTADOS EXPERIMENTO 2</i>	28
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 2</i>	31
EXPERIMENTO 3	32
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 3</i>	32
<i>TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 3</i>	32
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 3</i>	35
EXPERIMENTO 4	36
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 4</i>	36
<i>TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 4</i>	36
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 4</i>	39
EXPERIMENTO 5	40
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 5</i>	40
<i>TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 5</i>	40
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 5</i>	43
EXPERIMENTO 6	44
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 6</i>	44
<i>TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 6</i>	44
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 6</i>	47
EXPERIMENTO 7	48
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 7</i>	48
<i>TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 7</i>	48
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 7</i>	51
EXPERIMENTO 8	52
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 8</i>	52
<i>TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 8</i>	52
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 8</i>	55
EXPERIMENTO 9	56
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 9</i>	56
<i>TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 9</i>	56
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 9</i>	59
EXPERIMENTO 10	60
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 10</i>	60
<i>TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 10</i>	60
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 10</i>	63
EXPERIMENTO 11	64
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 11</i>	64
<i>TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 11</i>	64
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 11</i>	67
EXPERIMENTO 12	68
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 12</i>	68
<i>TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 12</i>	68
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 12</i>	71
EXPERIMENTO 13	72
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 13</i>	72
<i>TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 13</i>	72
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 13</i>	75

EXPERIMENTO 14	76
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 14</i>	76
<i>TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 14</i>	76
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 14</i>	79
EXPERIMENTO 15	80
<i>CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 15</i>	80
<i>TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 15</i>	80
<i>REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 15</i>	83
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	84
DEGRADACIÓN DEL 50%, 80% Y 90% DE LA SUMA DE LAS ÁREAS DE TODOS LOS CONTAMINANTES	84
TABLA RESUMEN CONDICIONES DE OPERACIÓN DESFAVORABLES.....	85
6. RESULTADOS COT	86
7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.....	88
8. ESCALADO DE RESULTADOS A INSTALACIÓN INDUSTRIAL	90
9. ESTUDIO ECONÓMICO	91
PRESUPUESTO DE INVERSIONES.....	91
<i>EQUIPO</i>	91
<i>GASTOS FIJOS</i>	91
<i>GASTOS VARIABLES</i>	92
AHORRO TRAS REALIZAR LA INVERSIÓN	94
<i>IMPORTE DEL CANON DE VERTIDO</i>	94
AHORRO.....	95
AHORRO ANUAL ESTIMADO.....	95
INVERSIÓN INICIAL	96
RESUMEN GASTOS FIJOS.....	96
RESUMEN GASTOS VARIABLES	96
GASTOS TOTALES.....	96
AHORRO.....	96
RENTABILIDAD	97
10. CONCLUSIONES	98
11. BIBLIOGRAFIA.....	99
12. APÉNDICES	103
ÍNDICE FIGURAS	103
ÍNDICE TABLAS	103
ÍNDICE GRÁFICOS	106

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo es optimizar un proceso de degradación de contaminantes industriales, en este caso de la industria del cocido del corcho, mediante un tratamiento combinado de ozono con luz UV-visible.

LA INDUSTRIA DEL CORCHO

La industria corchera pone en el mercado mundial un producto ecológico, natural, renovable y reciclable que promueve la actividad económica sostenible. Este es el corcho que se obtiene del alcornoque.

Tiene múltiples usos en la industria: se utiliza como aislante, decoración, también como componente en los instrumentos de viento, pero su principal uso es el de cierre para las botellas de vino.

SACA O DESCORCHADO

Con la llegada del calor se empieza el ritual de la saca que consiste en extraer la corteza que reviste a los alcornoques. La mejor época para realizar la saca es entre mayo o junio y agosto, período que corresponde a la fase de mayor crecimiento del alcornoque. Esta extracción permite que los alcornoques crezcan de manera saludable a lo largo de su vida, que dura entre 150 y 200 años. Cada alcornoque es sometido a una media de 16 sacas.

La primera saca se realiza cuando el perímetro del tronco alcanza los 65cm, pero este corcho no es utilizado para la producción de tapones ya que su estructura es muy irregular. A esta se le denomina “corcho virgen”.

La segunda saca se realiza 9 años más tarde y esta aunque tiene una estructura más regular, es suave e igualmente impropia para la realización de tapones. Es por ello que este “corcho secundario” se utiliza como granulado para la fabricación de pavimentos.

A partir de la tercera saca es cuando se obtiene el corcho con las características ideales para la producción de tapones. A partir de este momento, cada 9 años, se podrá obtener corcho de buena calidad hasta un período aproximado de 150 años.



Figura 1: Saca o descorchado de la corteza del alcornoque

PROCESO DE REPOSO

Después de la extracción de las planchas de corcho, se procede a su estabilización. Se separan en función de la calidad y el fin al que van a ser dedicadas, como puede ser: tapones de corcho, discos o aglomerados.

Una vez separadas, se amontonan y permanecen 6 meses o más en la intemperie. De este modo, los factores atmosféricos eliminan en gran cantidad la salvia del corcho, los polifenoles se oxidan y la textura se estabiliza.

HERVIDO O COCIDO

Tras su estabilización, las planchas de corcho son cocidas en calderas abiertas de acero de 15 m³ de capacidad, utilizando leña como combustible. El corcho se sumerge durante 90 minutos en agua a una temperatura próxima a los 100°C. Este proceso se realiza para darle elasticidad, aumentar su espesor, disminuir su densidad y eliminar sustancias solubles en agua y microorganismos que puedan estar presentes. De manera que se aumenta el volumen del corcho, volviéndose más liso y suave. En esta etapa, se utiliza de 20 a 30 veces la misma agua para limpiar y restablecer las panas de corcho, con lo que al final de la semana el agua de estas balsas llegan a acumular grandes concentraciones de compuestos orgánicos, aromáticos y polifenólicos. La degradación de estos será el objeto de estudio de este proyecto.



Figura 2: Cocido del corcho

ESTABILIZADO EN BODEGA

Una vez cocidas, las planchas se apilan durante un período de dos a cuatro semanas en almacenes de humedad y temperatura controlados hasta que se secan y aplanan. Se utilizan herramientas de corte para recortar las aristas y volver rectangulares las planchas.

Una vez recortadas las aristas, se separan de acuerdo con su espesor y calidad, en función de la porosidad y de los defectos estructurales que pueda presentar. Estos factores son determinantes para decidir el uso industrial de cada plancha.



Figura 3: Separación de las planchas de corcho

PERFORACIÓN DE LOS TAPONES

Se cortan las planchas en tiras para la producción de tapones. El tamaño de los extremos de los tapones son rectificados puliéndolos. Los desperdicios son granulados y transformados en tapones de corcho aglomerados. También se pueden utilizar estos desperdicios para la producción de otros materiales aislantes y de construcción. Con ellos se intenta no desperdiciar nada.



Figura 4: Perforación de los tapones

LAVADO, DESINFECCIÓN, MARCADO Y EMBALAJE

Finalmente los tapones son sometidos a un proceso de lavado y desinfección, lavándolos en una solución acuosa de peróxido de hidrógeno (H_2O_2).

Una vez secos en hornos especiales, son impresos según las especificaciones del cliente a través de impresión a tinta o a fuego. Seguidamente son revestidos con silicona o parafina para facilitar su introducción y extracción.

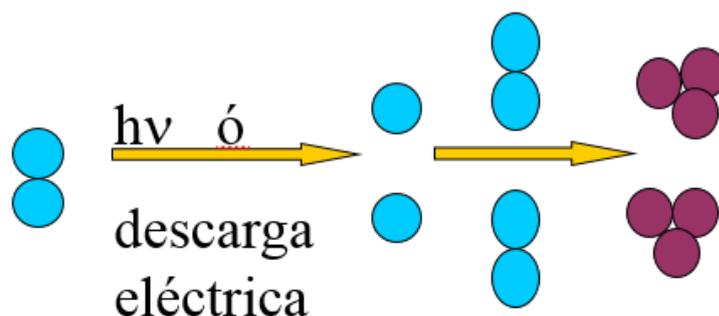
Por último son embalados y desinfectados con dióxido de azufre (SO_2).



Figura 5: Tapones terminados

GENERACIÓN DE OZONO

El ozono está formado por tres átomos de oxígeno, siendo su fórmula química O_3 . Se trata de un gas tóxico y un potente agente oxidante generado por descargas eléctricas de alto voltaje sobre corrientes de aire seco aunque también puede generarse por radiación UV ya que la puede absorber.

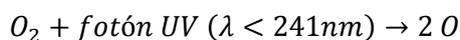


Sus características son:

Formula química	O_3
Masa molecular	48.0 g/mol
Aspecto	Gas incoloro o azulado, de olor característico
Punto de sublimación	-112°C
Punto de fusión	-193°C
Densidad relativa (agua=1)	1.6 g/cm ³
Solubilidad en agua	No es soluble

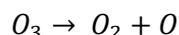
Tabla 1: Propiedades Ozono

Cuando una molécula de O_2 absorbe un fotón de luz de longitud de onda de 141 nm o menores tienen suficiente exceso de energía para disociarse.



En la ecuación anterior la molécula de oxígeno ha sido disociada fotoquímicamente o bien ha sufrido una fotólisis. Las moléculas que absorben luz sufren cambios inmediatamente en la organización de sus electrones; se dice que estas sufren temporalmente un estado excitado. Generalmente no pueden permanecer en este estado excitado y, por tanto, deben de utilizar esta energía para reaccionar fotoquímicamente o retornar a su estado fundamental.

Una vez la molécula de oxígeno se ha disociado, el átomo de oxígeno reaccionará con otra molécula de oxígeno no disociada formando de esta manera el ozono.



La irradiación del ozono en agua produce H_2O_2 (peróxido de hidrógeno), este se fotoliza a su vez creando radicales HO^* (véase ecuación 1), y reacciona con el exceso de ozono, generando también radicales (véase la ecuación 2).



Si la irradiación se produce a longitudes de onda menores que 310 nm, el método puede aprovechar la fotólisis del O_3 debido a que produce una cantidad adicional de HO^* y otros oxidantes, aumentando la eficiencia (véanse las ecuaciones 3 y 4).



Este método, como se ha dicho anteriormente, se ha aplicado a la potabilización de aguas contaminadas por las industrias corcheras, degradando los siguientes contaminantes: Ácido gálico, protocatecuico, vanílico, siríngico, sinápico, 2,4-dinitrofenol, elágico y tánico. Cabe destacar que todos ellos se han obtenido de Sigma-Aldrich, sin darles ningún tratamiento posterior. Las características de estos se explican a continuación.

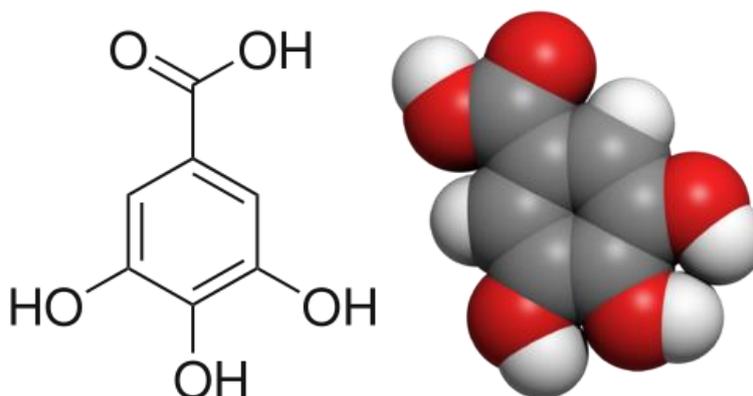
PROPIEDADES DE LOS CONTAMINANTES A DEGRADAR

ÁCIDO GÁLICO (en inglés: gallic acid)

Se trata de un ácido orgánico, también conocido con el nombre de ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico. Se puede encontrar en las agallas, en las hojas de té y en la corteza de los robles, entre otros.

Fórmula química	$C_6H_2(OH)_3COOH$
Masa molecular	170.1 g/mol
Aspecto	Cristales higroscópicos blancos
Punto de sublimación	210°C
Punto de fusión	210°C
Densidad relativa (agua=1)	1.7 g/cm ³
Solubilidad en agua	1.1 g/100 ml de agua

Tabla 2: Propiedades Ácido Gálico

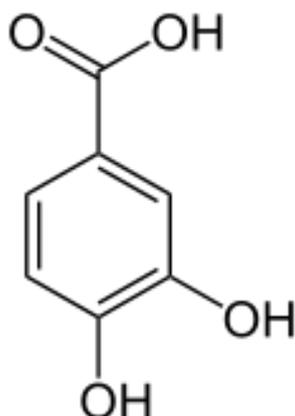


ÁCIDO PROTOCATECUICO (en inglés: protocatechuic acid)

En este caso es un ácido dihidroxibenzoico, un tipo de ácido fenólico. Se puede encontrar en forma de metabolito principal de polifenoles antioxidantes en el té verde.

Fórmula química	$C_7H_6O_4$
Masa molecular	154.1 g/mol
Aspecto	polvo
Punto de fusión	221°C
Densidad relativa (agua=1)	1.54 g/cm ³
Solubilidad en agua	1.24 g/100 ml de agua

Tabla 3: Propiedades Ácido Protocatecuico

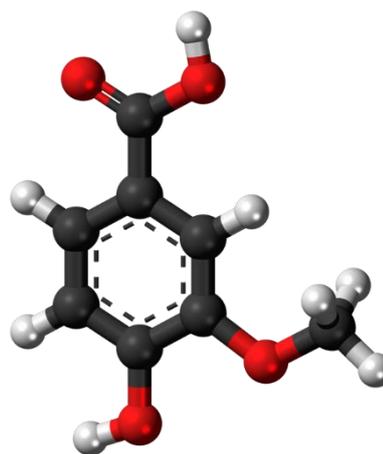
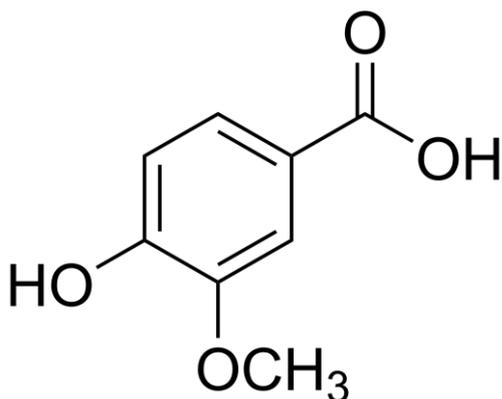


ÁCIDO VANÍLICO (en inglés: vanillic acid)

Es un ácido dihidroxibenzoico que se utiliza como agente aromatizante. Se puede encontrar en la raíz de *Angelica sinensis*, una hierba autóctona de China, que es muy utilizada en la medicina tradicional china.

Fórmula química	$C_8H_8O_4$
Masa molecular	168.14 g/mol
Aspecto	cristales blancos o amarillentos
Punto de ebullición	353.4°C a 760 mmHg
Punto de fusión	208-210°C
Densidad relativa (agua=1)	1.35 g/cm ³
Solubilidad en agua	1500 mg/l a 14°C

Tabla 4: Propiedades Ácido Vanílico

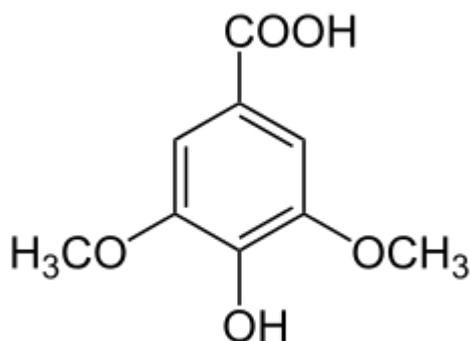


ÁCIDO SIRÍNGICO (syringic acid)

Es un compuesto químico en forma natural del ácido trihidroxibenzoico O-metilado.

Fórmula química	C ₉ H ₁₀ O ₅
Masa molecular	198.17 g/mol

Tabla 5: Propiedades Ácido Siríngico

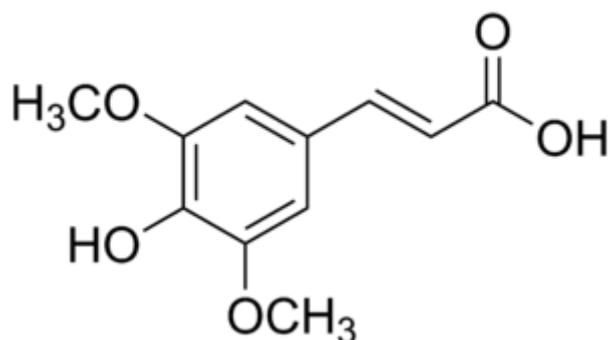


ÁCIDO SINÁPICO (sinapic acid)

Es un ácido hidroxicinámico de origen natural, de la familia de los fenilpropanoides. Se utiliza a menudo en espectrometría de masas por la capacidad que tiene para absorber la radiación láser y donar protones (H⁺).

Fórmula química	C ₁₁ H ₁₂ O ₅
Masa molecular	224.21 g/mol
Punto de fusión	205°C
Solubilidad en agua	Soluble a 20°C

Tabla 6: Propiedades Ácido Sinápico

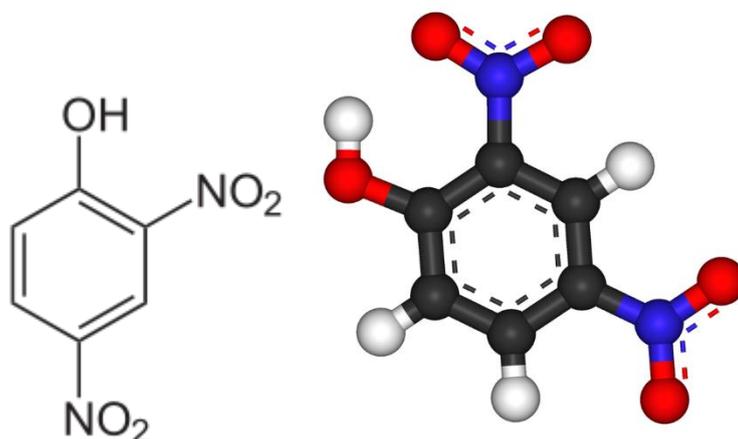


2,4-DINITROFENOL (2,4-dinitrophenol acid)

Es un agente desacoplante, ya que desacopla la cadena de electrones de la fosforilación oxidativa. Esto es debido a que el 2,4-dinitrofenol hace que los protones de la membrana sean permeables, deshaciendo la relación obligatoria entre la cadena respiratoria y la fosforilación oxidativa.

Fórmula química	C ₆ H ₄ N ₂ O ₅
Masa molecular	184.11 g/mol
Aspecto	Cristales amarillos
Punto de fusión	112°C
Densidad relativa (agua=1)	1.68g/cm ³
Densidad relativa de vapor (aire =1)	6.36g/cm ³
Solubilidad en agua	0.14 g/100ml de agua a 54.5°C

Tabla 7: Propiedades 2,4-Dinitrofenol

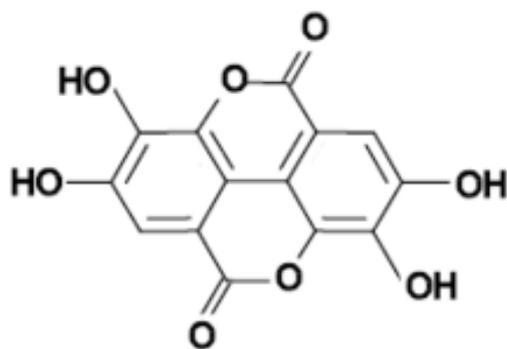


ÁCIDO ELÁGICO (ellagic acid)

El ácido elágico, es un elagitanino que se encuentra en el metabolismo secundario de los vegetales. Tiene una gran capacidad antimicrobiana, antioxidante, antimutagénica, anticarcinogénica y antiviral. Debido a todo ello, se ha estudiado su fuente de obtención y medio de extracción por métodos químicos o biotecnológicos.

Formula química	C ₁₄ H ₆ O ₈
Masa molecular	302.2g/mol
Punto de fusión	362°C
Densidad relativa (agua = 1)	1.67 g/cm ³
Solubilidad en agua	Insoluble en agua y ligeramente soluble en solventes orgánicos

Tabla 8: Propiedades Ácido Elágico

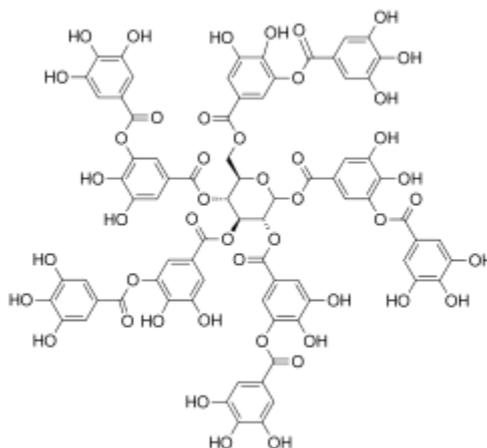


ÁCIDO TÁNICO:(tannic acid)

Se trata de un compuesto de glucosa y ácidos fenólicos. Se encuentra en las cortezas de los árboles como: zumaque, encina y abeto. Tiene un aspecto de polvo amarillento, amorfo y brillante, pero se oscurece en contacto con el aire. Cabe destacar también que es inodoro y que posee un sabor muy agrio.

Fórmula química	C ₇₆ H ₅₂ O ₄₆
Masa molecular	1701.22 g/mol
Aspecto	Sólido a 20°C, de color amarillo-marrón e inodoro
Punto de fusión	210°C
Densidad aparente	220 kg/m ³
Solubilidad en agua	250 g/l (20°C)

Tabla 9: Propiedades Ácido Tánico



VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO

Las ventajas de utilizar ozono para degradar los contaminantes presentes en aguas procedentes del cocido o hervido del corcho son múltiples:

- Es un poderoso oxidante y eficiente bactericida.
- Puede producirse fácilmente in situ por descarga eléctrica en corriente de aire, y no deja olores ni gustos residuales.
- Únicos subproductos que genera O_2 y H_2O .
- No produce Trihalometanos (THM) u otros compuestos clorados.
- Mejora el gusto, el color, las características de filtración y la biodegradabilidad de las aguas.
- Es un buen pretratamiento para procesos biológicos y versátil para técnicas combinadas.
- Se puede tratar agua con alto fondo de absorción de luz UV.
- La eficiencia es superior a la de utilizar únicamente O_3 o luz UV directa.
- El reactor no necesita ser de cuarzo debido a que se puede irradiar con luz UV-B (280-330 nm).

Sin embargo también presenta algunos inconvenientes como son:

- Desde el punto de vista operacional y de ingeniería, su uso no es trivial. Involucra procesos de transferencia de una fase gaseosa a una acuosa, existiendo limitaciones de transferencia de masa.
- El proceso requiere eficiente agitación, haciendo necesario el uso de difusores, mezcladores en línea, venturis y torres de contacto.
- Altos costes de inversión para su utilización.

2. MATERIALES Y MÉTODOS DE LABORATORIO

Este apartado se dividirá en equipos de reacción, equipos de análisis y materiales y/o métodos de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

- **ESPÁTULAS Y VIDRIOS DE RELOJ** con los que se cogen los contaminantes para posteriormente pesarlos.



Figura 6: Espátulas y vidrios de reloj

- **MATRACES AFORADOS** de 1 y 2 litros en los que se preparan las disoluciones



Figura 7: Matraces aforados

- **VASOS DE PRECIPITADO** que se utilizarán para introducir las disoluciones y poder ajustar su pH.



Figura 8: Vasos de precipitado

- **FILTROS MILIPORE** de 0.45 μm . Se utilizará para eliminar las impurezas de la disolución y permitir el paso de esta a través de sus poros en este caso los poros tendrán un diámetro de 0.45 μm .



Figura 9: Filtros milipore de 0.45 μm

- **JERINGUILLA** para sacar las muestras del reactor.

- **LÁMPARA DE XÉNON (UV-VISIBLE)** con ella se consigue una mejor purificación del agua a tratar.



Figura 10: Reactor encamisado de vidrio y lámpara de Xénon (UV-visible)

- **CRONÓMETRO** se utilizará para llevar un control de tiempo sobre los intervalos de toma de muestra.

EQUIPOS DE ANÁLISIS

- **BÁSCULA DE PRECISIÓN** en la que se pesará la cantidad deseada de cada contaminante.



Figura 11: Básculas de precisión

- El **pH-metro** es un instrumento muy utilizado en los laboratorios químicos modernos, que se emplea para estimar el carácter ácido o básico de una sustancia, es decir, medir su pH. Este sigue una función logarítmica relacionada con la concentración de cationes de hidrógeno (H^+):

$$pH = - \log [H^+]$$

De esta manera se consigue establecer una escala de acidez. Cuando el valor del pH es 7, la disolución es neutra. Si el valor es superior a 7, la disolución es básica y por el contrario, si el valor es inferior a 7, la disolución es ácida.

Los pH-metros están formados por dos electrodos que se insertan en la disolución. Uno de ellos es de mercurio (Hg) o cloruro de mercurio (HgCl), mientras que el otro es de vidrio. La parte polarizable se llena con ácido clorhídrico (HCl) 0,1M saturado con cloruro de plata (AgCl). El voltaje que se genera en esta parte es constante, ya que su pH se mantiene en 7. De modo que la determinación del pH consistirá en la medida del potencial que se genera a través de la membrana de vidrio que separa las dos disoluciones con diferente concentración de protones.

Para pasar esta medida a un amplificador, el alambre que se sumerge en el interior debe de ser de plata o de cloruro de plata (Ag/AgCl)

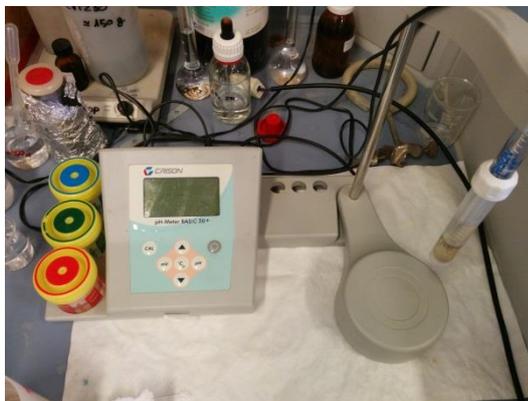


Figura 12: pH-metro

- Para **ajustar el pH** al valor que se desea en cada caso, se utilizarán disoluciones de sosa (NaOH) y ácido sulfúrico (H_2SO_4)

- **CROMATÓGRAFO DE LÍQUIDOS DE ULTRA-ALTA EFICACIA O HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY (MERCK-HITACHI D-7000 HPLC)** equipado con un detector Diode Array y automuestreador. Se trata de una técnica con la que se consigue separar, identificar y cuantificar los componentes de una mezcla compleja. Para separarlos, este instrumento utiliza la diferente distribución de los componentes entre dos fases inmiscibles, es decir, una fase móvil y una estacionaria. La fase estacionaria estará retenida dentro de una columna cromatográfica. El compuesto pasa por dicha columna mediante un bombeo a alta presión, de manera que cada componente de la disolución tendrá un tiempo de retención dentro de la columna diferente debido a las interacciones químicas o físicas con la fase estacionaria. Con ello se consigue identificar los contaminantes presentes en la disolución después de tratarlos con el ozonizador. Cabe destacar que los disolventes utilizados serán agua (H_2O), metanol (CH_3OH) y acetonitrilo (CH_3CN).



Figura 13: HPLC

- **EQUIPO (SHIMADZU) DE DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)**

Este método se basa en una oxidación catalítica a 680 °C. Se genera una combustión a causa de la alta temperatura en la que se obtiene agua vaporizada que se elimina posteriormente mediante una condensación, también a causa de esta combustión se obtiene carbono orgánico e inorgánico que se oxida a CO₂. El dióxido de carbono generado se transporta a través de una corriente de aire que se mide en un detector de infrarrojos no dispersivo (NDIR). Gracias a ello se consigue calcular el carbono total (CT). El carbono inorgánico (CI), que está formado por dióxido de carbono disuelto, carbonatos y bicarbonatos, se obtiene mediante la acidificación de las muestras con ácido fosfórico. Por tanto el carbono orgánico total (COT) se puede obtener por diferencia de los dos anteriores.



Figura 14: Equipo de determinación del carbono orgánico total (COT)

EQUIPOS DE REACCIÓN

- **OZONIZADOR** de laboratorio (Ozogas T.R.C.E. 4000) con un reactor encamisado de cuarzo de un litro de capacidad que permite acoplarle una lámpara de inmersión axial. En este caso la lámpara será Lámpara de Xénon (visible-UV). El ozono (O_3) es una molécula triatómica que contiene tres átomos de oxígeno (O_2). De este modo, el ozonizador se encargará de generar ozono a partir de descargar eléctricas sobre el oxígeno gaseoso con ello se consigue obtener unas propiedades oxidativas y desinfectantes adecuadas para la depuración de aguas, la purificación o para el tratamiento de algunas enfermedades.



Figura 15: Ozonizador

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental se ha seguido partiendo de un diseño experimental Dohelert con tres factores o variables (pH, cantidad de O₃ y concentración de contaminantes) y tres puntos centrales.

Variables	min	max	Niveles	Central
X1 [O ₃] (mg/min)	0,2	1	5	0,6
X2 pH	3	12	7	7,5
X3 [cont] (mg/L)	1	6	3	3,5

Tabla 10: Variables a tener en cuenta en la matriz Dohelert

En primer lugar se han preparado las respectivas disoluciones de concentraciones: 3'5, 6 y 1 mg/l. Estas se han preparado pesando cada contaminante por separado, utilizando un vidrio de reloj y una espátula (13), mediante el uso de una báscula (15). Seguidamente, se van mezclando en un matraz aforado de 2 litros (13), disolviéndolo con agua ultrapura. Una vez esté preparada la disolución, se coloca en su interior un imán y se deja 24 horas en un agitador magnético. Al día siguiente, se podrá empezar a ajustar el pH de la disolución mediante un pH-metro (véase página 16), puesto que cada experimento deberá seguir las especificaciones de la matriz Dohelert. Dichas especificación se detallan a continuación:

Número experimento	Valores codificados			Valores experimentales		
	X1 (5 niveles)	X2 (7 niveles)	X3 (3 niveles)	X1 (5 niveles) [O ₃]	X2 (7 niveles) pH	X3 (3 niveles) [cont]
1	0,000	0,000	0,000	0,6	7,5	3,5
2	1,000	0,000	0,000	1	7,5	3,5
3	0,500	0,866	0,000	0,8	12	3,5
4	0,500	0,289	0,817	0,8	9	6
5	-1,000	0,000	0,000	0,2	7,5	3,5
6	-0,500	-0,866	0,000	0,4	3	3,5
7	-0,500	-0,289	-0,817	0,4	6	1
8	0,500	-0,866	0,000	0,8	3	3,5
9	0,500	-0,289	-0,817	0,8	6	1
10	-0,500	0,866	0,000	0,4	12	3,5
11	0,000	0,577	-0,817	0,6	10,5	1
12	-0,500	0,289	0,817	0,4	9	6
13	0,000	-0,577	0,817	0,6	4,5	6
14	0,000	0,000	0,000	0,6	7,5	3,5
15	0,000	0,000	0,000	0,6	7,5	3,5

Tabla 11: Matriz Dohelert

Para ajustar las disoluciones al pH adecuado, se utiliza sosa (NaOH) para aumentar el pH y ácido sulfúrico (H₂SO₄) para disminuirlo. En caso de que sea necesario aumentar o disminuir una pequeña cantidad, se diluirá el ácido o la sosa utilizando agua ultrapura.

A continuación se degradarán los contaminantes presentes en la disolución utilizando el ozonizador (véase página 19) y la luz UV-visible (véase página 15). Lo primero que se debe hacer es preparar los materiales que se necesitan para el proceso. Estos son, una jeringuilla (véase página 14) para extraer la disolución que se va degradando del reactor (véase página 15), un filtro milipore de 0.45um (véase página 14) que se utilizará cada vez que se extraiga una muestra del reactor para eliminar posibles impurezas y cápsulas de vidrio donde poner las muestras para posteriormente tratarlas con el HPLC (véase página 17). Para poner en marcha el ozonizador, primero se enciende el oxígeno y se comprueba que el caudalímetro se encuentre por debajo de 10Nm³/h.

Se debe tener en cuenta que como se va a trabajar con una lámpara de Xénon (UV-visible) (véase página 15), ésta se va a calentar mucho y se deberá tener un sistema de refrigeración. Debido a ello, como se tiene un reactor encamisado, se refrigerará la camisa con agua de red.

Seguidamente se ajusta el nivel al que tiene que trabajar el ozonizador según la matriz Dohelert y se echa la muestra en su interior (250 ml + ácido o sosa para ajustar el pH). Se enciende el oxígeno aportando burbujeo a la muestra, el ozonizador y finalmente la lámpara UV-visible. Por último se pondrá en marcha el cronómetro para empezar a coger muestras a un tiempo determinado (según la matriz, los tiempos en los que se cogen las muestras serán: tiempo inicial, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 15, 20 y 30 minutos).

Una vez se tengan todas las muestras, se para la lámpara, el ozonizador y se saca la disolución restante del reactor sin detener el burbujeo de oxígeno, de manera que si se parase, toda la disolución caería. A esta disolución se le debe medir el pH.

En la siguiente tabla se detallan los diferentes ensayos que se van a llevar a cabo seguidamente, la mayoría se realizan únicamente al inicio y al final, adicionalmente a los 5 minutos se realizan tomas de muestras para realizar ensayos de fluorimetría y espectrofotometría y en los tiempos indicados se toman muestras para el HPLC, que permite realizar el seguimiento de la degradación de los contaminantes.

t(min)	pH	DQO	TOC	HPLC	Fluorímetro	Espectofotómetro
0						
1						
2						
3						
4						
5						
8						
10						
15						
20						
30						

Tabla 12: Tiempo de muestreo y ensayos llevados a cabo

Debido al dimensionamiento del estudio, en este caso sólo se va a hablar de los resultados obtenidos en el HPLC, COT y pH.

Como se puede observar en el apartado de resultados, dos de los contaminantes (Ácido Elágico y Ácido Tánico) no aparecen debido a que las moléculas de dichos compuestos tienen un diámetro superior al de los poros del filtro.

Los ensayos de fluorimetría tienen como objeto determinar el momento de desaparición de los compuestos que no se pueden seguir mediante HPLC (Ácido Elágico y Ácido Tánico). La completa desaparición de la fluorescencia de las muestras tratadas confirma también la desaparición de estos compuestos.

A partir de los datos de las áreas que se han obtenido en los cromatogramas de las muestras tratadas a distintos tiempos, se puede calcular la concentración de los contaminantes después de un tiempo determinado, ya que se conoce la concentración inicial, el área inicial y el área después de un determinado momento.

4. RESULTADOS

A continuación se detallan todos los resultados obtenidos en los ensayos de HPLC y COT (véase página 18).

A partir del área y la concentración inicial de cada experimento detallada en la matriz Dohelert, se puede calcular la concentración a tiempo n de la manera que sigue:

$$C = \frac{(\text{área} * C_0)}{\text{área}} \left(\frac{mg}{L} \right)$$

A partir de esta concentración se calcula la relación $\frac{C}{C_0}$. Finalmente, se representa la relación $\frac{C}{C_0}$ frente al tiempo, donde se puede observar la evolución en la degradación de cada compuesto. Este procedimiento se realiza para cada contaminante y se representan todos juntos de manera que se pueda realizar una adecuada comparación.

En cuanto a COT (véase página 18) lo que se hace es medirlo al inicio y al final de cada experimento y se calcula el % eliminado. Cuya representación se puede observar posteriormente.

EXPERIMENTO 1

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 1

Condiciones de operación		
c0	3,5	mg/l
O3	0,6	mg/ min
pH	7,5	

Tabla 13: Condiciones de operación experimento 1

TABLAS DE RESULTADOS EXPERIMENTO 1

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	113513,318	3,500	1,000
1	26114,030	0,805	0,230
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 14: Resultados Ácido Gálico experimento 1

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	295463,672	3,500	1,000
1	51410,636	0,609	0,174
2	9359,951	0,111	0,032
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 15: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 1

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	122899,095	3,500	1,000
1	59510,103	1,695	0,484
2	17114,154	0,487	0,139
3	1156,559	0,033	0,009
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 16: Resultados Ácido Vanílico experimento 1

Siríngico			
t(min)	área	c	c/c0
0	150481,285	3,500	1,000
1	48629,225	1,131	0,323
2	3430,407	0,080	0,023
3	2697,395	0,063	0,018
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 17: Resultados Ácido Siríngico experimento 1

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	299567,350	3,500	1,000
1	43322,770	0,506	0,145
2	5514,251	0,064	0,018
3	1021,696	0,012	0,003
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

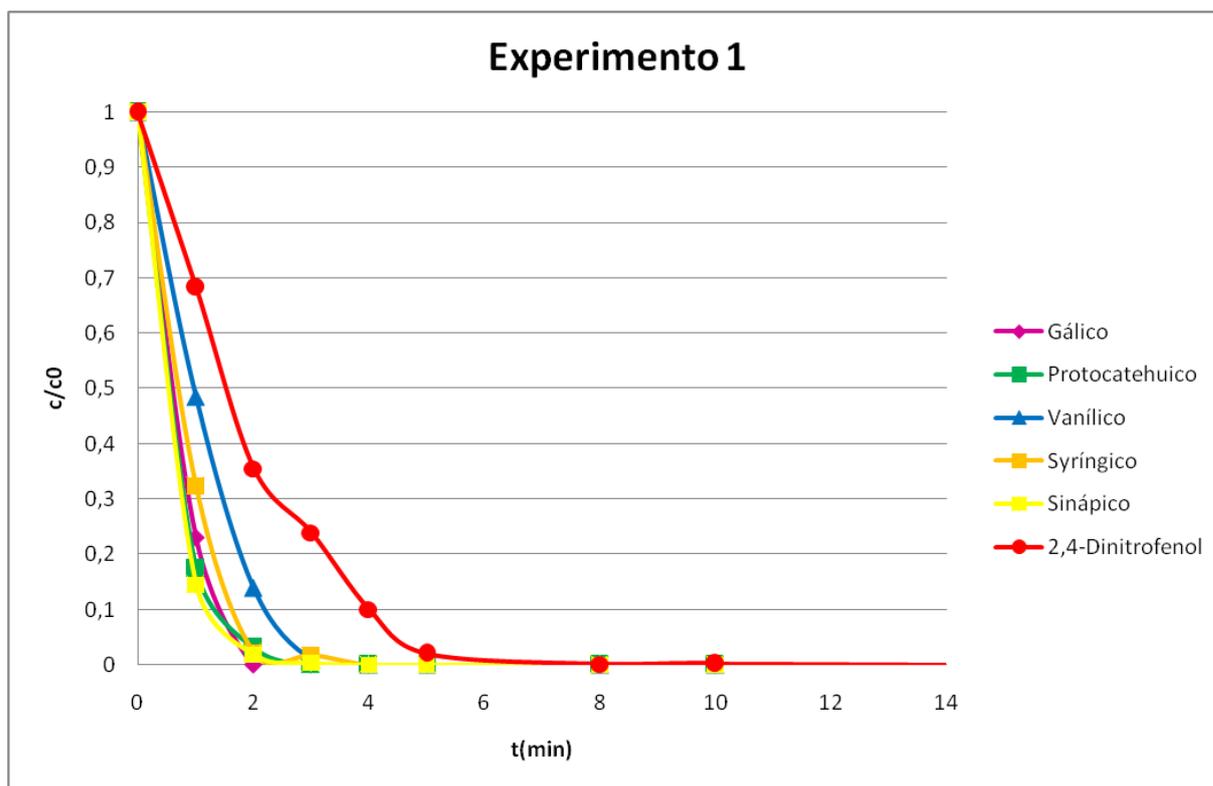
Tabla 18: Resultados Ácido Sinápico experimento 1

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	161916,369	3,500	1,000
1	110506,766	2,389	0,682
2	57496,671	1,243	0,355
3	38738,385	0,837	0,239
4	16275,802	0,352	0,101
5	3328,753	0,072	0,021
8	212,740	0,005	0,001
10	437,780	0,009	0,003
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 19: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 1

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 1

Condiciones de operación		
c0	3,5	mg/l
O3	0,6	mg/ min
pH	7,5	



Gráfica 1: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 1

Con un pH básico de 7,5, una concentración de contaminante de 3,5 mg contaminante/l y una concentración de ozono de 0,6 mg O₃/min, se puede decir que el 2,4-Dinitrofenol es el compuesto que más tarda en degradarse, seguido del Ácido Vanílico y el Ácido Syríntrico.

EXPERIMENTO 2

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 2

Condiciones de operación		
c0	3,5	mg/l
O3	1	mg/min
pH	7,5	

Tabla 20: Condiciones de operación experimento 2

TABLAS DE RESULTADOS EXPERIMENTO 2

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	71282,077	3,500	1,000
1	4458,230	0,219	0,063
2	1331,062	0,065	0,019
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 21: Resultados Ácido Gálico experimento 2

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	216107,908	3,500	1,000
1	9354,614	0,152	0,043
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 22: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 2

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	97859,759	3,500	1,000
1	7862,820	0,281	0,080
2	611,792	0,022	0,006
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 23: Resultados Ácido Vanílico experimento 2

Siríntrico			
t(min)	área	c	c/c0
0	101247,501	3,500	1,000
1	7135,591	0,247	0,070
2	426,666	0,015	0,004
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 24: Resultados Ácido Siríntrico experimento 2

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	166046,993	3,500	1,000
1	3906,377	0,082	0,024
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

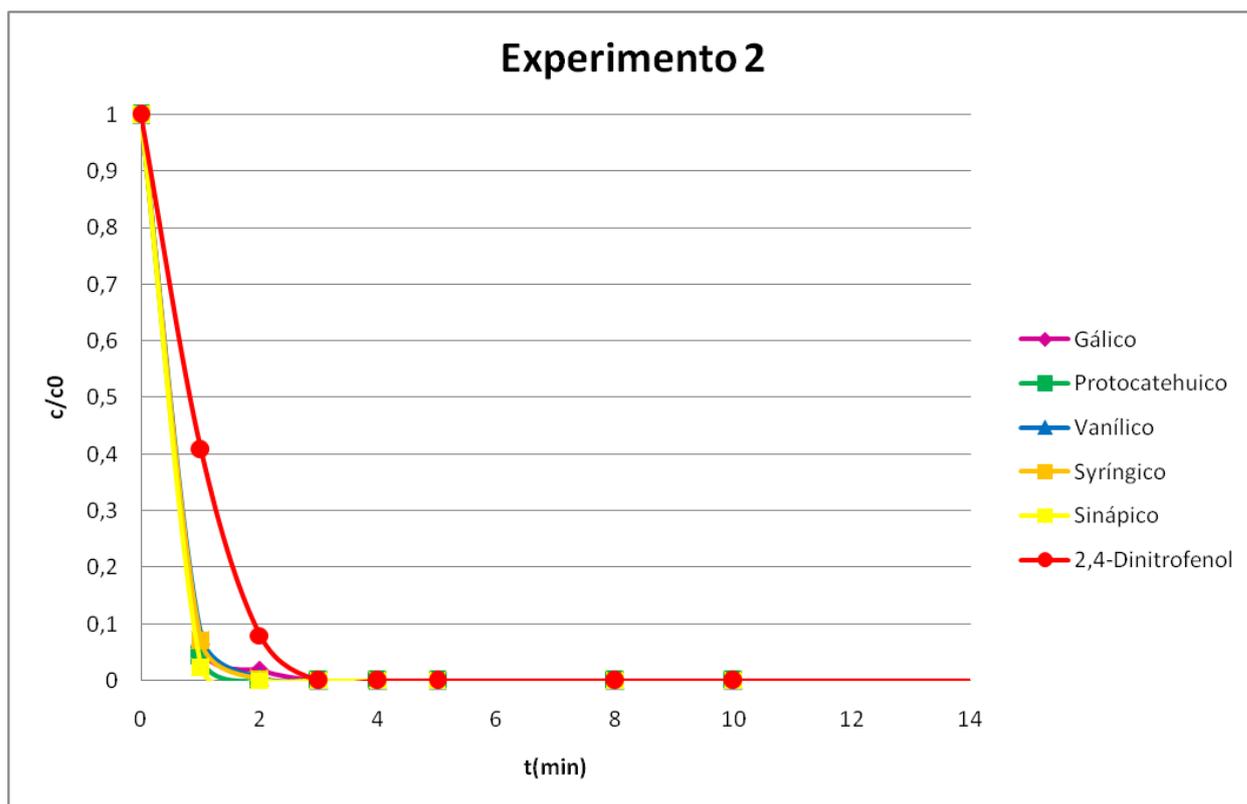
Tabla 25: Resultados Ácido Sinápico experimento 2

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	115091,711	3,500	1,000
1	46956,225	1,428	0,408
2	9154,593	0,278	0,080
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 26: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 2

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 2

Condiciones de operación		
cO	3,5	mg/l
O3	1	mg/min
pH	7,5	



Gráfica 2: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 2

En el experimento 2 las condiciones de operación prácticamente son las mismas que en el experimento 1 pero en este caso la concentración de ozono es de 1 mg O₃/min. La concentración de contaminante es la misma, 3'5 mg contaminante/l y se mantienen el pH básico de 7'5. Con esta leve variación (aumento de la concentración de ozono) se observa que la velocidad de degradación de todos los contaminantes es mucho más rápida y siguen casi un mismo patrón. Sin embargo, el 2,4-Dinitrofenol sigue siendo el que mayores dificultades tiene para degradarse.

EXPERIMENTO 3

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 3

Condiciones de operación		
c0	3,5	mg/l
O3	0,8	mg/min
pH	12	

Tabla 27: Condiciones de operación experimento 3

TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 3

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	0,000	0,000	0,000
1	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 28: Resultados Ácido Gálico experimento 3

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	80961,024	3,500	1,000
1	8884,997	0,384	0,110
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 29: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 3

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	39339,073	3,500	1,000
1	16366,498	1,456	0,416
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 30: Resultados Ácido Vanílico experimento 3

Siríntrico			
t(min)	área	c	c/c0
0	40756,237	3,500	1,000
1	3777,736	0,324	0,093
2	2845,779	0,244	0,070
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 31: Resultados Ácido Siríntrico experimento 3

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	134313,168	3,500	1,000
1	7802,715	0,203	0,058
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

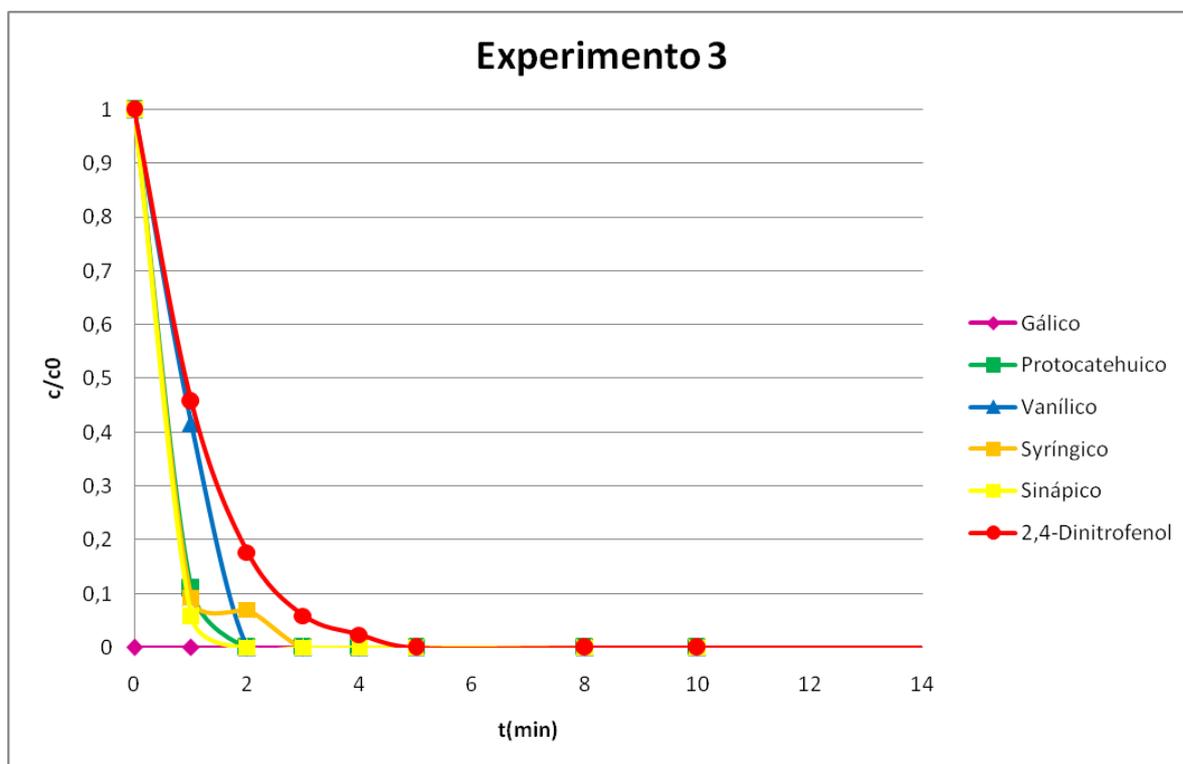
Tabla 32: Resultados Ácido Sinápico experimento 3

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	161932,728	3,500	1,000
1	74019,493	1,600	0,457
2	28704,784	0,620	0,177
3	9661,861	0,209	0,060
4	3850,867	0,083	0,024
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 33: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 3

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 3

Condiciones de operación		
c0	3,5	mg/l
O3	0,8	mg/min
pH	12	



Gráfica 3: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 3

El experimento 3 mantiene la concentración de contaminante en 3'5 mg contaminante/l, pero la concentración de ozono varía a 0'8 mg O₃/min y se aumenta el pH la basicidad de la disolución en un pH de 12. Para estas condiciones de operación se puede observar como el Ácido Gálico se degradara de inmediato y los compuestos 2,4-Dinitrofenol y el Ácido Vanílico son los que más dificultades tienen para hacerlo. El aumento del pH no parece favorecer el experimento.

EXPERIMENTO 4

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 4

Condiciones de operación		
c0	6	mg/l
O3	0,8	mg/min
pH	9	

Tabla 34: Condiciones de operación experimento 4

TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 4

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	268477,044	6,000	1,000
1	16815,137	0,376	0,063
2	9723,905	0,217	0,036
3	5038,134	0,113	0,019
4	4182,303	0,093	0,016
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 35: Resultados Ácido Gálico experimento 4

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	700170,541	6,000	1,000
1	84618,762	0,725	0,121
2	18306,656	0,157	0,026
3	4516,693	0,039	0,006
4	11488,968	0,098	0,016
5	1739,330	0,015	0,002
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 36: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 4

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	324750,969	6,000	1,000
1	26487,087	0,489	0,082
2	4958,116	0,092	0,015
3	2405,832	0,044	0,007
4	1548,345	0,029	0,005
5	1271,713	0,023	0,004
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 37: Resultados Ácido Vanílico experimento 4

Siríngico			
t(min)	área	c	c/c0
0	362969,632	6,000	1,000
1	109015,436	1,802	0,300
2	21138,282	0,349	0,058
3	4123,254	0,068	0,011
4	1904,174	0,031	0,005
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 38: Resultados Ácido Siríngico experimento 4

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	490799,997	6,000	1,000
1	28042,916	0,343	0,057
2	5718,428	0,070	0,012
3	2310,166	0,028	0,005
4	3033,404	0,037	0,006
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

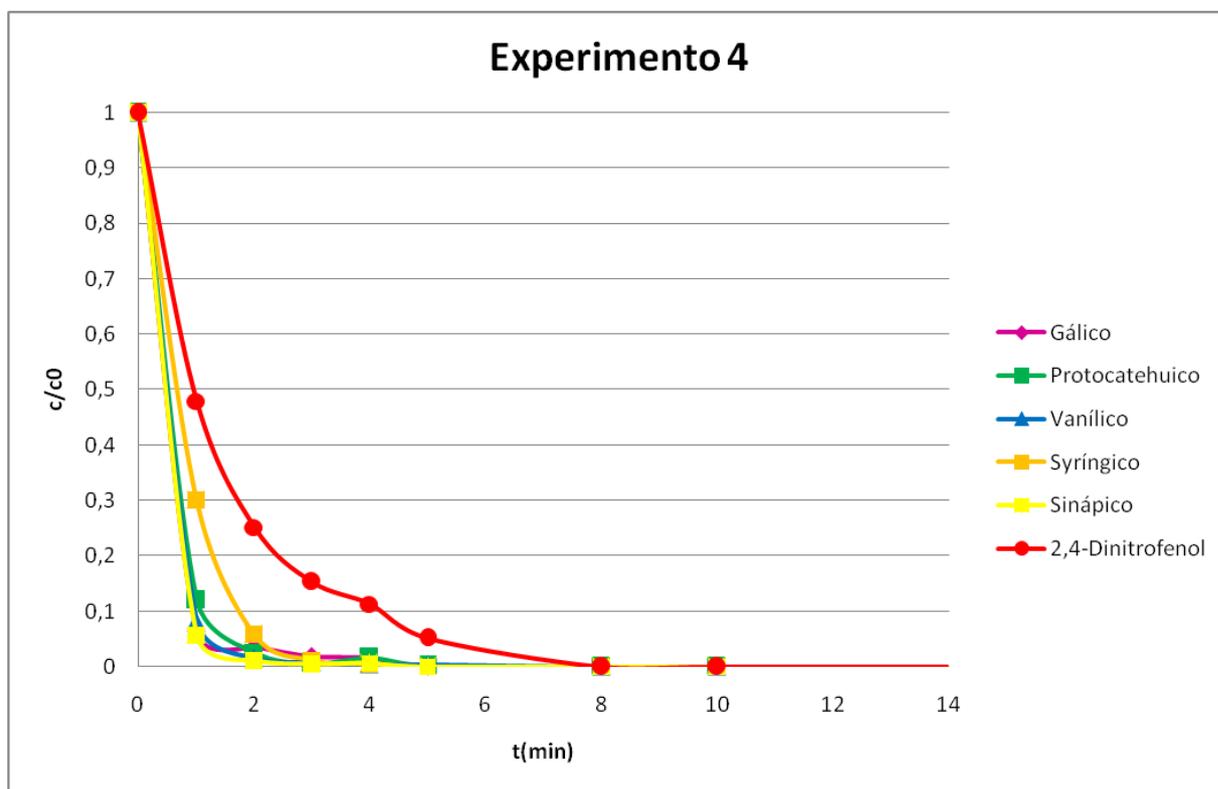
Tabla 39: Resultados Ácido Sinápico experimento 4

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	287117,427	6,000	1,000
1	137587,701	2,875	0,479
2	72228,957	1,509	0,252
3	44063,518	0,921	0,153
4	32453,931	0,678	0,113h
5	15021,392	0,314	0,052
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 40: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 4

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 4

Condiciones de operación		
cO	6	mg/l
O3	0,8	mg/min
pH	9	



Gráfica 4: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 4

En el caso del experimento 4, la concentración de ozono se mantiene igual que la del experimento 3, 0,8 mg O₃/l, pero las demás condiciones de operación presentan una leve variación. La concentración de contaminante en este caso es de 6 mg contaminante/l y el pH de la disolución es de 9. Se mantiene el carácter básico. Con estas nuevas condiciones se observa que los contaminantes tardan más tiempo en degradarse que en las condiciones anteriores. Hasta pasados 5 minutos, la mayoría de ellos no se han degradado. Por tanto, el aumento de concentración de los contaminantes no favorecen el proceso degradativo.

EXPERIMENTO 5

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 5

Condiciones de operación		
c0	3,5	mg/l
O3	0,2	mg/min
pH	7,5	

Tabla 41: Condiciones de operación experimento 5

TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 5

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	118933,084	3,500	1,000
1	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 42: Resultados Ácido Gálico experimento 5

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	411901,901	3,500	1,000
1	161708,353	1,374	0,393
2	28048,571	0,238	0,068
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 43: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 5

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	152734,300	3,500	1,000
1	89108,050	2,042	0,583
2	7222,713	0,166	0,047
3	2498,520	0,057	0,016
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 44: Resultados Ácido Vanílico experimento 5

Siríngico			
t(min)	área	c	c/c0
0	176958,872	3,500	1,000
1	116296,510	2,300	0,657
2	6728,928	0,133	0,038
3	2092,850	0,041	0,012
4	5005,417	0,099	0,028
5	1247,206	0,025	0,007
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 45: Resultados Ácido Siríngico experimento 5

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	345201,219	3,500	1,000
1	47590,991	0,483	0,138
2	7700,815	0,078	0,022
3	1117,879	0,011	0,003
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

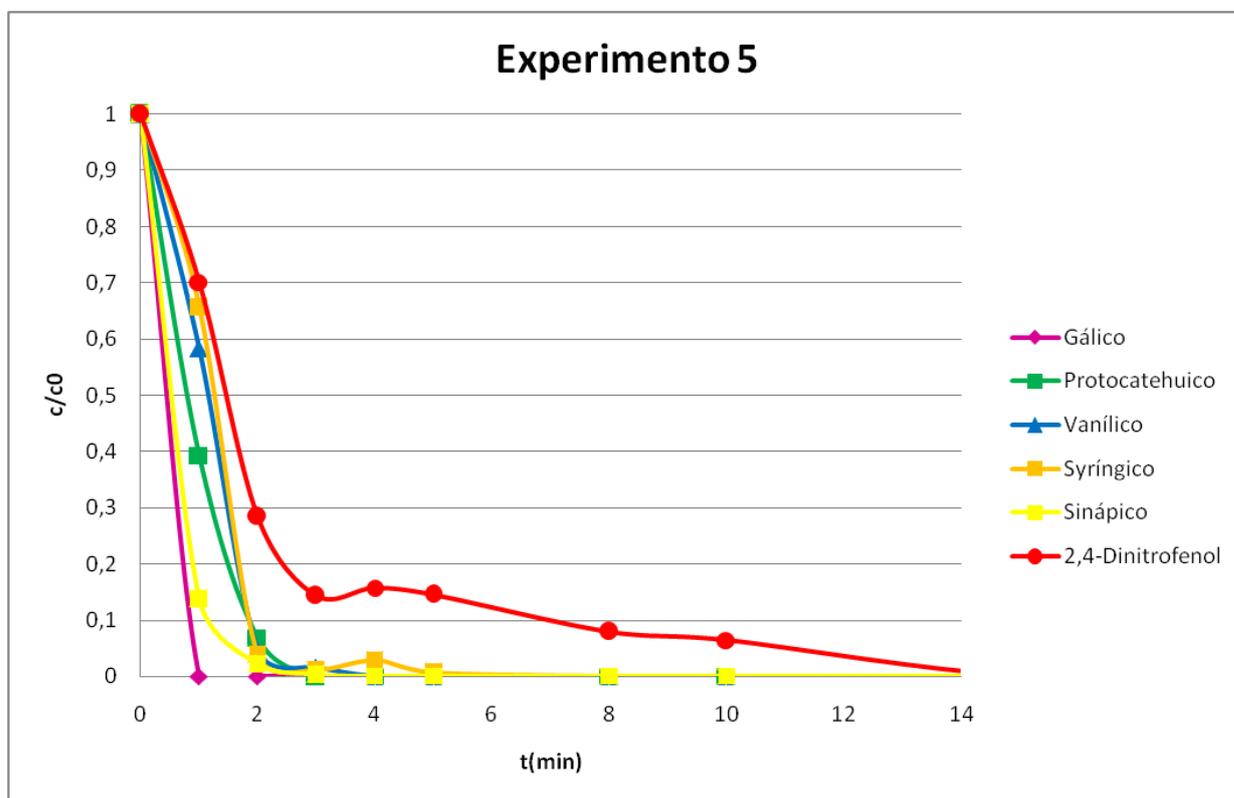
Tabla 46: Resultados Ácido Sinápico experimento 5

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	205806,417	3,500	1,000
1	144240,995	2,453	0,701
2	58415,688	0,993	0,284
3	29589,550	0,503	0,144
4	32305,117	0,549	0,157
5	29935,307	0,509	0,145
8	16298,125	0,277	0,079
10	13229,419	0,225	0,064
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 47: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 5

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 5

Condiciones de operación		
c0	3,5	mg/l
O3	0,2	mg/min
pH	7,5	



Gráfica 5: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 5

En el experimento 5 la concentración de contaminante vuelve a ser de 3,5 mg contaminante/l y la de ozono de 0,2 mg O_3 /l (disminuye respecto a los experimentos anteriores). El pH vuelve a ser de 7,5. Con ello observamos que el 2,4-Dinitrofenol, pasados 14 minutos, no llega a degradarse. Los demás compuestos se degradan prácticamente por completo pasados los 5 minutos. El Ácido Gálico es el compuesto con mayor velocidad de degradación, ya que al minuto desaparece. Cabe destacar que la baja en la concentración de ozono no favorece el proceso.

EXPERIMENTO 6

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 6

Condiciones de operación		
c0	3,5	mg/l
O3	0,4	mg/min
pH	3	

Tabla 48: Condiciones de operación experimento 6

TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 6

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	71875,710	3,500	1,000
1	53892,942	2,624	0,750
2	7193,137	0,350	0,100
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 49: Resultados Ácido Gálico experimento 6

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	264305,164	3,500	1,000
1	157760,489	2,089	0,597
2	107170,440	1,419	0,405
3	37104,564	0,491	0,140
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 50: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 6

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	104362,437	3,500	1,000
1	82195,336	2,757	0,788
2	55733,346	1,869	0,534
3	26004,401	0,872	0,249
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 51: Resultados Ácido Vanílico experimento 6

Siríngico			
t(min)	área	c	c/c0
0	109089,022	3,500	1,000
1	67686,409	2,172	0,620
2	19724,244	0,633	0,181
3	4458,839	0,143	0,041
4	2110,861	0,068	0,019
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 52: Resultados Ácido Siríngico experimento 6

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	96819,684	3,500	1,000
1	11329,822	0,410	0,117
2	4428,408	0,160	0,046
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

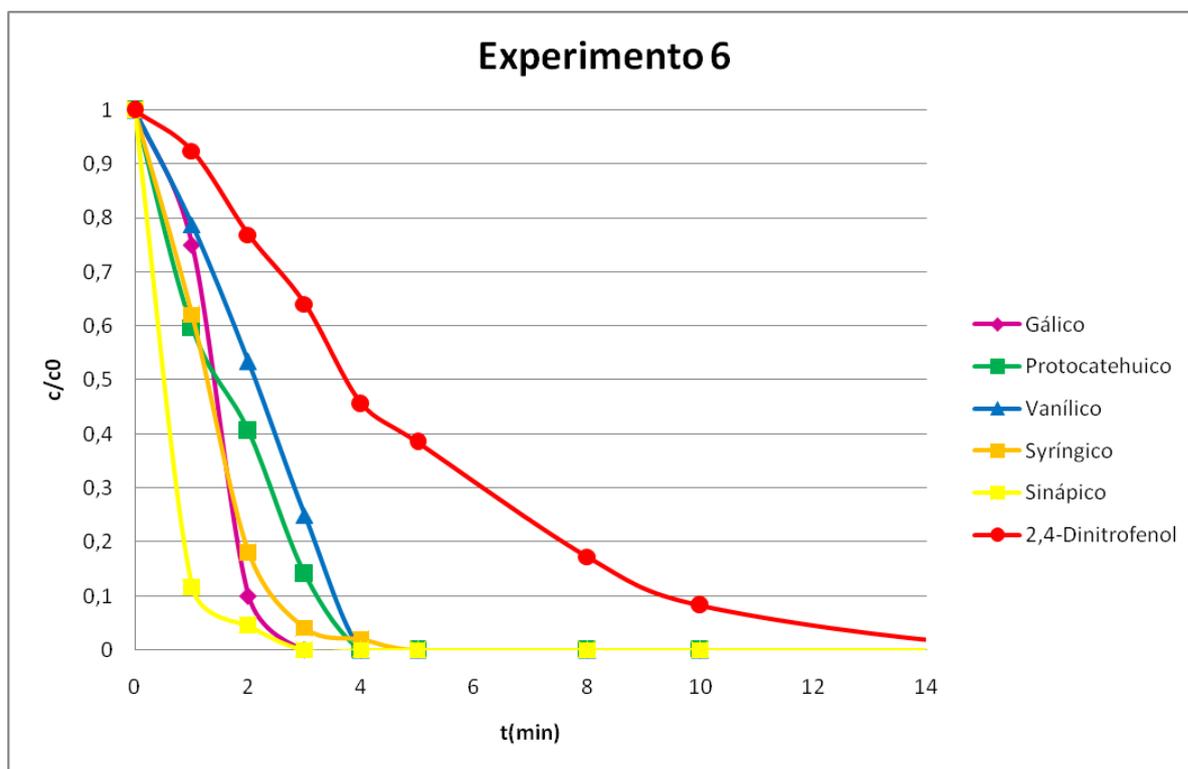
Tabla 53: Resultados Ácido Sinápico experimento 6

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	106491,220	3,500	1,000
1	98374,107	3,233	0,924
2	81874,761	2,691	0,769
3	68237,140	2,243	0,641
4	48557,770	1,596	0,456
5	40962,399	1,346	0,385
8	18383,002	0,604	0,173
10	8807,802	0,289	0,083
15	1062,369	0,035	0,010
20	726,030	0,024	0,007
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 54: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 6

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 6

Condiciones de operación		
c0	3,5	mg/l
O3	0,4	mg/min
pH	3	



Gráfica 6: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 6

Manteniendo la concentración de contaminante en 3'5 mg contaminante/l, aumentando la de ozono en 0'4 mg O₃/min y en este caso la disolución tiene un carácter ácido con un pH 3, se observa que hasta el momento es el experimento que más tarda en degradar los contaminantes. Incluso el compuesto 2,4-Dinitrofenol no llega a desaparecer pasados los 14 minutos. El Ácido Sinápico es, en este caso, el que tiene una mayor velocidad de degradación. Se aprecia que la disminución del pH desfavorece la degradación de los contaminantes por ozonización.

EXPERIMENTO 7

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 7

Condiciones de operación		
c0	1	mg/l
O3	0,4	mg/min
pH	6	

Tabla 55: Condiciones de operación experimento 7

TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 7

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	23628,118	1,000	1,000
1	4532,342	0,192	0,192
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 56: Resultados Ácido Gálico experimento 7

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	42595,157	1,000	1,000
1	11403,599	0,268	0,268
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 57: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 7

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	45517,229	1,000	1,000
1	26067,695	0,573	0,573
2	1207,640	0,027	0,027
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 58: Resultados Ácido Vanílico experimento 7

Siríntrico			
t(min)	área	c	c/c0
0	47002,783	1,000	1,000
1	23892,001	0,508	0,508
2	781,676	0,017	0,017
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 59: Resultados Ácido Siríntrico experimento 7

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	37744,283	1,000	1,000
1	406,309	0,011	0,011
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

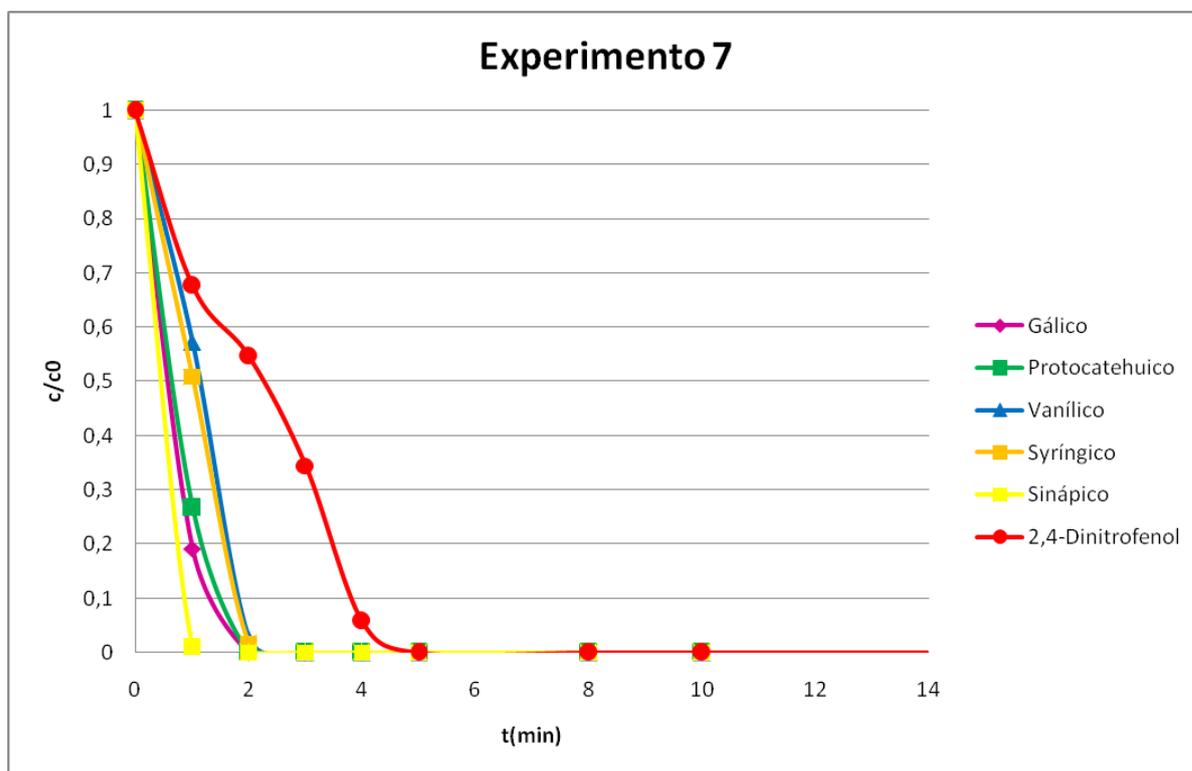
Tabla 60: Resultados Ácido Sinápico experimento 7

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	33890,280	1,000	1,000
1	22937,046	0,677	0,677
2	18530,931	0,547	0,547
3	11688,146	0,345	0,345
4	1967,214	0,058	0,058
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 61: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 7

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 7

Condiciones de operación		
c0	1	mg/l
O3	0,4	mg/min
pH	6	



Gráfica 7: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 7

En el caso del experimento 7, el pH aumenta a 6 pero manteniendo el carácter ácido, la concentración de contaminante en este caso varía a 1 mg contaminante/l y la concentración de ozono se mantiene en 0'4 mg O₃/min, igual como el experimento anterior. Se puede observar como el aumento del pH ha favorecido el proceso degradativo, sin embargo la baja concentración de ozono provoca que el 2,4-Dinitrofenol se degrade a los 5 minutos y no a los 3 minutos como en el experimento 2.

EXPERIMENTO 8

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 8

Condiciones de operación		
c0	3,5	mg/l
O3	0,8	mg/min
pH	3	

Tabla 62: Condiciones de operación experimento 8

TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 8

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	120443,963	3,500	1,000
1	85424,055	2,482	0,709
2	12372,015	0,360	0,103
3	5780,786	0,168	0,048
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 63: Resultados Ácido Gálico experimento 8

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	473881,456	3,500	1,000
1	359801,827	2,657	0,759
2	145708,433	1,076	0,307
3	21986,435	0,162	0,046
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 64: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 8

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	150386,437	3,500	1,000
1	120594,844	2,807	0,802
2	72223,511	1,681	0,480
3	26929,655	0,627	0,179
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 65: Resultados Ácido Vanílico experimento 8

Siríngico			
t(min)	área	c	c/c0
0	174579,581	3,500	1,000
1	96018,730	1,925	0,550
2	11608,849	0,233	0,066
3	2030,696	0,041	0,012
4	3176,773	0,064	0,018
5	933,928	0,019	0,005
8	929,647	0,019	0,005
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 66: Resultados Ácido Siríngico experimento 8

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	280637,746	3,500	1,000
1	20422,748	0,255	0,073
2	3939,369	0,049	0,014
3	3777,219	0,047	0,013
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

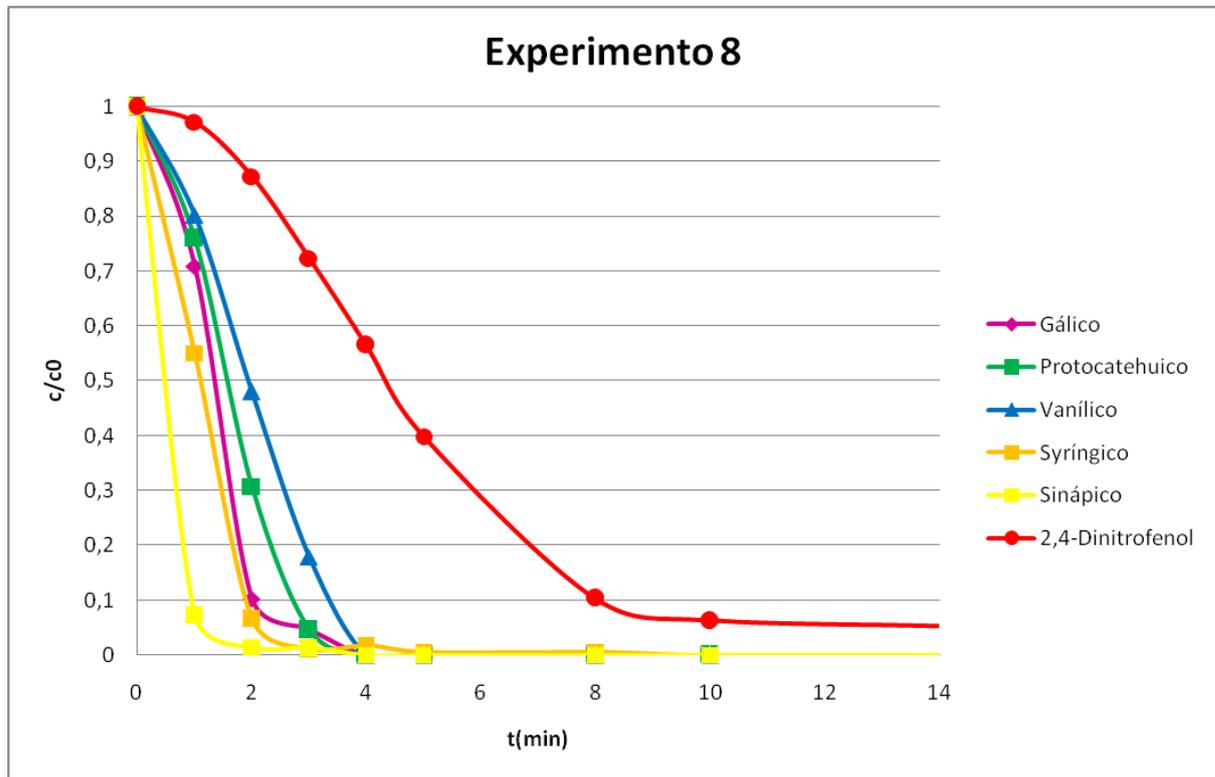
Tabla 67: Resultados Ácido Sinápico experimento 8

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	185215,773	3,500	1,000
1	179947,856	3,400	0,972
2	161537,985	3,053	0,872
3	134029,769	2,533	0,724
4	104575,979	1,976	0,565
5	73773,536	1,394	0,398
8	19261,051	0,364	0,104
10	11645,019	0,220	0,063
15	9223,242	0,174	0,050
20	3012,457	0,057	0,016
30	2462,376	0,047	0,013

Tabla 68: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 8

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 8

Condiciones de operación		
cO	3,5	mg/l
O3	0,8	mg/min
pH	3	



Gráfica 8: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 8

Al experimento 8 le ocurre como al experimento 6. Con unas condiciones de operación de 3'5 mg contaminante/l, 0'8 mg O₃/min y un pH de 3 (se mantiene el carácter ácido), el compuesto 2,4-Dinitrofenol no llega a degradarse pasados los 14 minutos de experimento. Los demás contaminantes se degradan a los 5 minutos, siendo el Ácido Sinápico el que más rápido lo hace. Se puede decir que este experimento junto con el número 6, son los que peores resultados obtienen hasta el momento. Se confirma el efecto desfavorable del pH ácido en esta reacción.

EXPERIMENTO 9

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 9

Condiciones de operación		
c0	1	mg/l
O3	0,8	mg/min
pH	6	

Tabla 69: Condiciones de operación experimento 9

TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 9

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	53064,424	1,000	1,000
1	8819,318	0,166	0,166
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 70: Resultados Ácido Gálico experimento 9

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	124572,778	1,000	1,000
1	14465,896	0,116	0,116
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 71: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 9

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	62853,085	1,000	1,000
1	24759,689	0,394	0,394
2	968,474	0,015	0,015
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 72: Resultados Ácido Vanílico experimento 9

Siríntrico			
t(min)	área	c	c/c0
0	63867,507	1,000	1,000
1	19731,670	0,309	0,309
2	1542,620	0,024	0,024
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 73: Resultados Ácido Siríntrico experimento 9

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	95772,586	1,000	1,000
1	4507,355	0,047	0,047
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

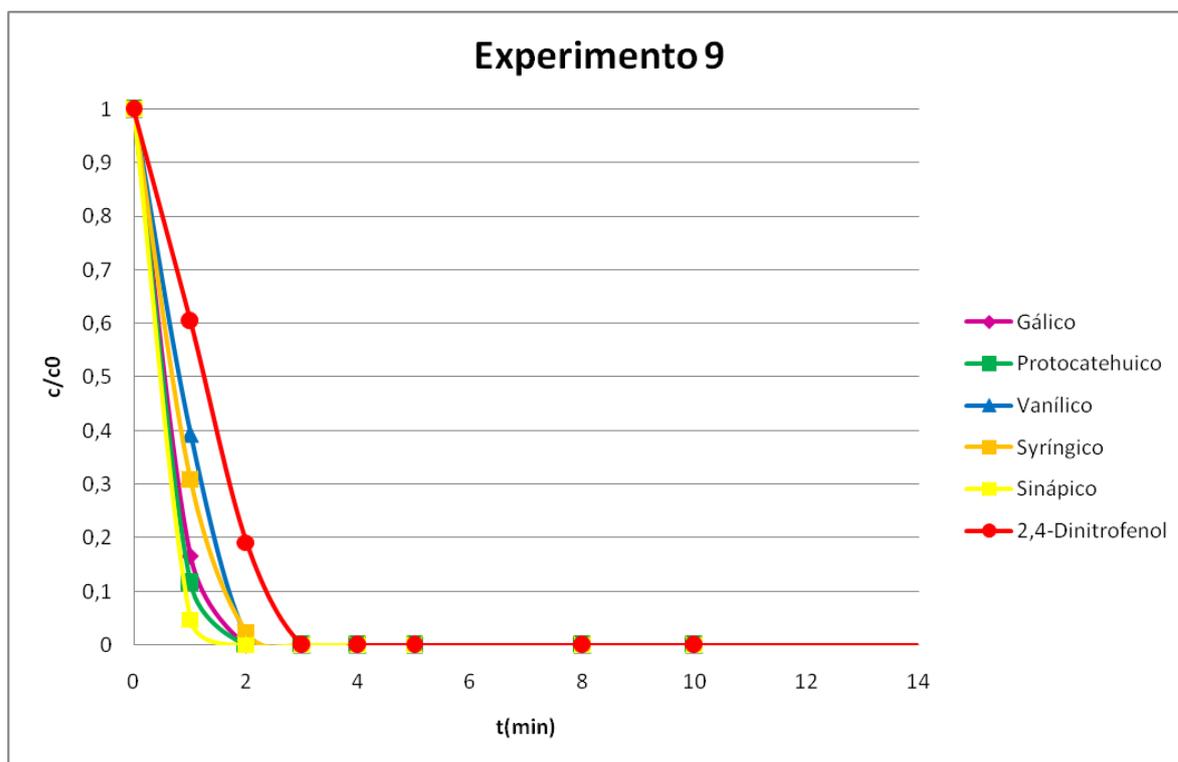
Tabla 74: Resultados Ácido Sinápico experimento 9

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	50874,816	1,000	1,000
1	30746,418	0,604	0,604
2	9772,733	0,192	0,192
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 75: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 9

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 9

Condiciones de operación		
c0	1	mg/l
O3	0,8	mg/min
pH	6	



Gráfica 9: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 9

En dicho experimento, las condiciones de operación vuelven a variar respecto a los experimentos anteriores. La concentración de contaminantes en este caso es de 1 mg contaminante/l, la de ozono es de 0'8 mg O₃/min y el pH es de 6, manteniendo el carácter ácido de la disolución. Los compuestos siguen un patrón parecido, degradándose por completo todos ellos a los 3 minutos. Sin embargo, el 2,4-Dinitrofenol sigue siendo el que más tarda en degradarse y el Ácido Sinápico el que menos. Hasta el momento, el experimento 9 es el que mejores resultados ofrece, superando los del experimento 2.

La menor concentración de contaminantes junto con un pH en el entorno de la neutralidad y una concentración de ozono alta favorece la reacción en este caso.

EXPERIMENTO 10

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 10

Condiciones de operación		
c0	3,5	mg/l
O3	0,4	mg/min
pH	12	

Tabla 76: Condiciones de operación experimento 10

TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 10

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	0,000	0,000	0,000
1	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 77: Resultados Ácido Gálico experimento 10

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	138989,657	3,500	1,000
1	3724,197	0,094	0,027
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 78: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 10

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	138296,300	3,500	1,000
1	49826,830	1,261	0,360
2	4334,577	0,110	0,031
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 79: Resultados Ácido Vanílico experimento 10

Siríntrico			
t(min)	área	c	c/c0
0	158908,706	3,500	1,000
1	58192,614	1,282	0,366
2	2582,929	0,057	0,016
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 80: Resultados Ácido Siríntrico experimento 10

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	263222,867	3,500	1,000
1	1064,972	0,014	0,004
2	3015,558	0,040	0,011
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

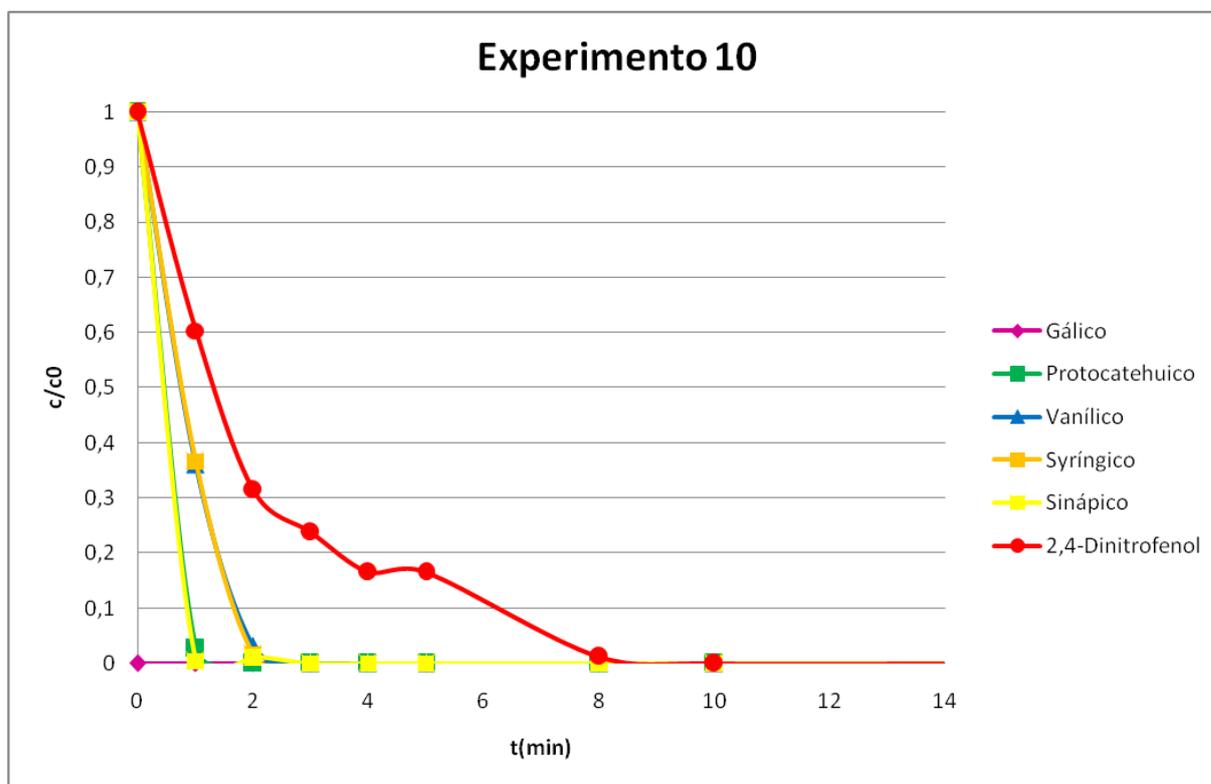
Tabla 81: Resultados Ácido Sinápico experimento 10

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	169988,660	3,500	1,000
1	102512,630	2,111	0,603
2	53467,020	1,101	0,315
3	40514,856	0,834	0,238
4	28126,504	0,579	0,165
5	28085,905	0,578	0,165
8	2186,301	0,045	0,013
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 82: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 10

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 10

Condiciones de operación		
c0	3,5	mg/l
O3	0,4	mg/min
pH	12	



Gráfica 10: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 10.

Con las siguientes condiciones de operación: un pH 12 (carácter básico), concentración de contaminantes de 3'5 mg contaminante/l y concentración de ozono de 0'4 mg O_3 /min, se observa que el Ácido Gálico se degrada por completo desde el inicio. Por otro lado, el compuesto 2,4-Dinitrofenol hasta los 8 minutos no desaparece.

Pese a que en este caso el pH es favorable, la mayor concentración de contaminantes y la cantidad de ozono más baja entorpecen el proceso.

EXPERIMENTO 11

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 11

Condiciones de operación		
c0	1	mg/l
O3	0,6	mg/min
pH	10,5	

Tabla 83: Condiciones de operación experimento 11

TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 11

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	0,000	0,000	0,000
1	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 84: Resultados Ácido Gálico experimento 11

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	54091,214	1,000	1,000
1	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 85: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 11

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	54484,670	1,000	1,000
1	2339,988	0,043	0,043
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 86: Resultados Ácido Vanílico experimento 11

Siríngico			
t(min)	área	c	c/c0
0	2525,415	1,000	1,000
1	2502,963	0,991	0,991
2	434,042	0,172	0,172
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 87: Resultados Ácido Siríngico experimento 11

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	52534,438	1,000	1,000
1	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

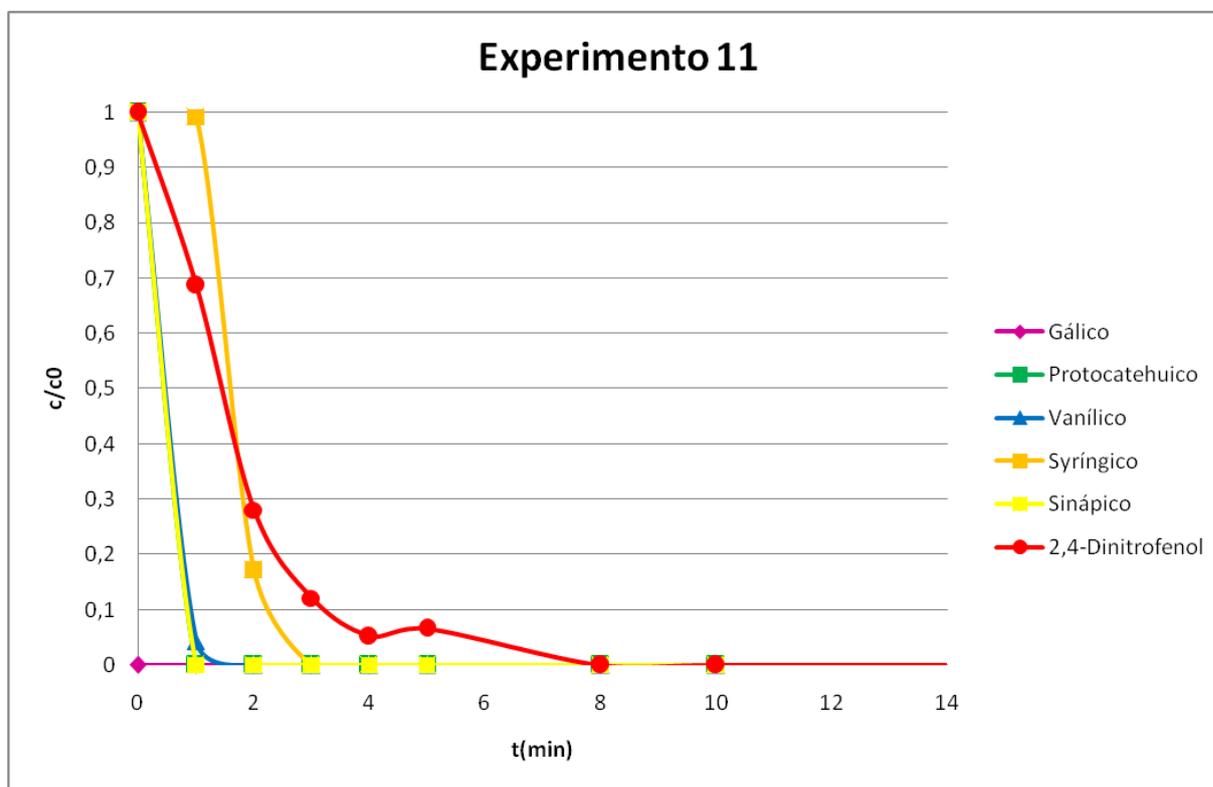
Tabla 88: Resultados Ácido Sinápico experimento 11

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	39281,085	1,000	1,000
1	26993,054	0,687	0,687
2	11031,159	0,281	0,281
3	4782,285	0,122	0,122
4	2064,504	0,053	0,053
5	2589,636	0,066	0,066
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 89: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 11

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 11

Condiciones de operación		
c0	1	mg/l
O3	0,6	mg/min
pH	10,5	



Gráfica 11: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 11

En el caso de este experimento, el Ácido Gálico es el compuesto que desde el principio desaparece, mientras que el Ácido Syríntrico y el 2,4-Dinitrofenol son los más lentos. El 2,4-Dinitrofenol sigue siendo el más lento, ya que hasta los 8 minutos no consigue desaparecer. Las condiciones de operación causantes de esta reacción son las siguientes: Concentración de contaminante de 1 mg contaminante/l, (baja) concentración de ozono de 0'6 mg O₃/min y un pH de 10,5 (disolución básica). El aumento del pH causa que el proceso degradativo se vea desfavorecido.

EXPERIMENTO 12

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 12

Condiciones de operación		
c0	6	mg/l
O3	0,4	mg/min
pH	9	

Tabla 90: Condiciones de operación experimento 12

TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 12

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	32529,815	6,000	1,000
1	8895,054	1,641	0,273
2	4527,618	0,835	0,139
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 91: Resultados Ácido Gálico experimento 12

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	281736,876	6,000	1,000
1	64742,962	1,379	0,230
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 92: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 12

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	271210,537	6,000	1,000
1	97680,708	2,161	0,360
2	15761,122	0,349	0,058
3	5463,779	0,121	0,020
4	4033,469	0,089	0,015
5	2506,666	0,055	0,009
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 93: Resultados Ácido Vanílico experimento 12

Siríngico			
t(min)	área	c	c/c0
0	367356,793	6,000	1,000
1	99755,197	1,629	0,272
2	13367,517	0,218	0,036
3	2297,174	0,038	0,006
4	2512,887	0,041	0,007
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 94: Resultados Ácido Siríngico experimento 12

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	166880,778	6,000	1,000
1	4951,030	0,178	0,030
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

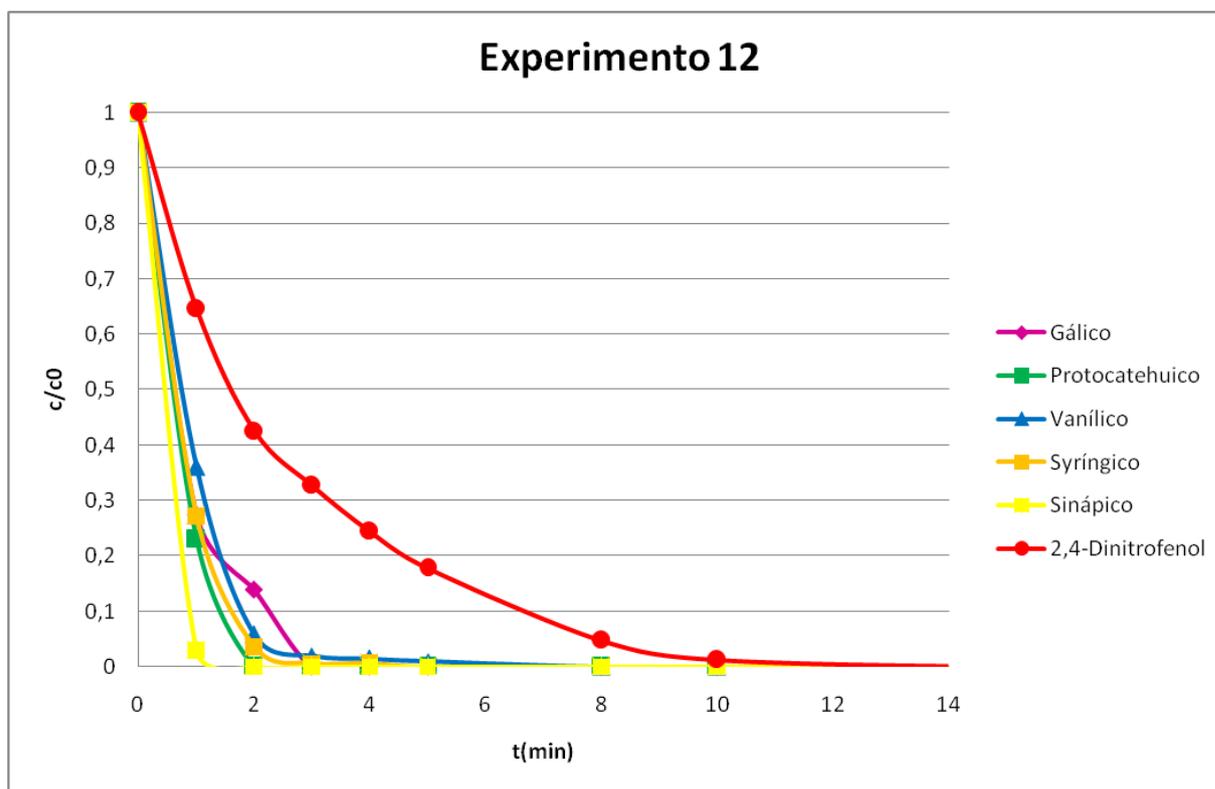
Tabla 95: Resultados Ácido Sinápico experimento 12

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	202269,630	6,000	1,000
1	130685,370	3,877	0,646
2	85956,690	2,550	0,425
3	66185,750	1,963	0,327
4	49430,450	1,466	0,244
5	35968,590	1,067	0,178
8	9767,620	0,290	0,048
10	2589,030	0,077	0,013
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 96: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 12

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 12

Condiciones de operación		
cO	6	mg/l
O3	0,4	mg/min
pH	9	



Gráfica 12: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto a tiempo para el experimento 12

Las condiciones de operación en el experimento 12 vuelven a variar. La concentración de contaminante es de 6 mg contaminante/l (muy alta), la de ozono es de 0'4mg O₃/min y el pH de 9 (disolución básica). Con estas condiciones se observa que el Ácido Sinápico es el compuesto que más rápidamente se degrada, a diferencia del 2,4-Dinitrofenol que hasta los 10 minutos aproximadamente no consigue desaparecer por completo. Los demás compuestos siguen prácticamente un mismo patrón, degradándose por completo a los 4 minutos de experimento.

Debido a ello, cabe señalar que el aumento en la concentración de contaminante, junto con un aumento en la basicidad de la disolución y una bajada en la concentración de ozono provoca un empeoramiento en el tratamiento de degradación.

EXPERIMENTO 13

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 13

Condiciones de operación		
c0	6	mg/l
O3	0,6	mg/min
pH	4,5	

Tabla 97: Condiciones de operación experimento 13

TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 13

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	200441,418	6,000	1,000
1	177176,927	5,304	0,884
2	120461,088	3,606	0,601
3	19833,800	0,594	0,099
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 98: Resultados Ácido Gálico experimento 13

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	708192,085	6,000	1,000
1	498717,101	4,225	0,704
2	321379,606	2,723	0,454
3	130040,496	1,102	0,184
4	55334,702	0,469	0,078
5	24849,816	0,211	0,035
8	24756,570	0,210	0,035
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 99: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 13

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	288914,659	6,000	1,000
1	240865,888	5,002	0,834
2	180343,025	3,745	0,624
3	106153,973	2,205	0,367
4	59053,375	1,226	0,204
5	15454,920	0,321	0,053
8	1844,530	0,038	0,006
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 100: Resultados Ácido Vanílico experimento 13

Siríntrico			
t(min)	área	c	c/c0
0	325036,392	6,000	1,000
1	263165,681	4,858	0,810
2	119615,786	2,208	0,368
3	27370,595	0,505	0,084
4	7631,254	0,141	0,023
5	2788,421	0,051	0,009
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 101: Resultados Ácido Siríntrico experimento 13

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	481456,302	6,000	1,000
1	101395,378	1,264	0,211
2	15678,951	0,195	0,033
3	9247,602	0,115	0,019
4	4579,732	0,057	0,010
5	2973,482	0,037	0,006
8	2664,781	0,033	0,006
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

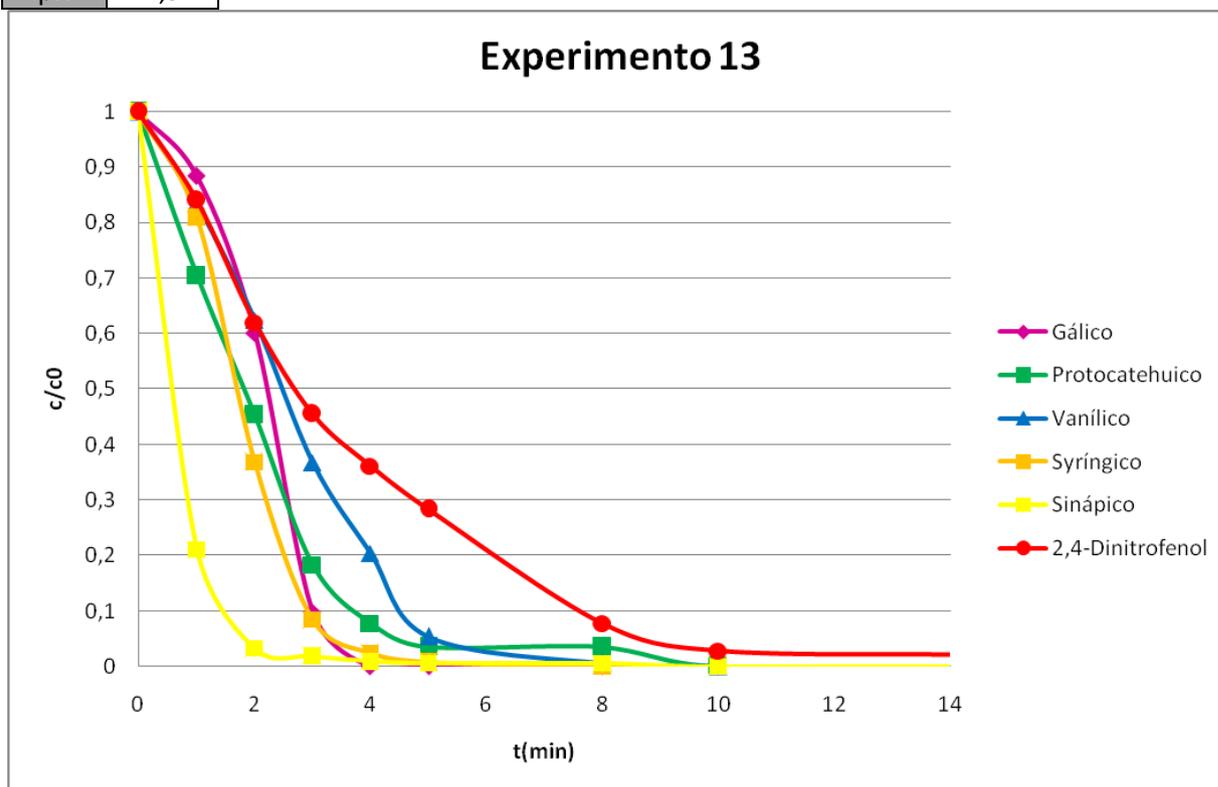
Tabla 102: Resultados Ácido Sinápico experimento 13

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	261542,309	6,000	1,000
1	219700,482	5,040	0,840
2	162223,885	3,722	0,620
3	119006,015	2,730	0,455
4	94558,089	2,169	0,362
5	74093,714	1,700	0,283
8	20327,923	0,466	0,078
10	7274,188	0,167	0,028
15	5507,820	0,126	0,021
20	3681,827	0,084	0,014
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 103: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 13

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 13

Condiciones de operación		
c0	6	mg/l
O3	0,6	mg/min
pH	4,5	



Gráfica 13: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 13

El experimento 13 es con el que peores resultados se obtiene, ya que el compuesto 2,4-Dinitrofenol no llega a degradarse pasados 14 minutos y además los demás contaminantes no se llegan a degradar hasta pasados los 10 minutos. Sin embargo, cabe destacar que el Ácido Gálico es el compuesto que más facilidad tiene para degradarse, ya que a los 4 minutos ya ha desaparecido por completo. Esto es debido a las condiciones de operación con las que se ha llevado a cabo el experimento. Estas son: la concentración de contaminante es de 6 mg contaminante/l, (alta) la de ozono es de 0'6 mg O₃/min y un pH de 4'5 (disolución de carácter ácido).

EXPERIMENTO 14

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 14

Condiciones de operación		
c0	3,5	mg/l
O3	0,6	mg/min
pH	7,5	

Tabla 104: Condiciones de operación experimento 14

TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 14

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	24278,885	3,500	1,000
1	3783,389	0,545	0,156
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 105: Resultados Ácido Gálico experimento 14

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	35659,353	3,500	1,000
1	5155,091	0,506	0,145
2	687,676	0,067	0,019
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 106: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 14

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	71206,346	3,500	1,000
1	22838,280	1,123	0,321
2	1331,800	0,065	0,019
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 107: Resultados Ácido Vanílico experimento 14

Siríntrico			
t(min)	área	c	c/c0
0	78929,481	3,500	1,000
1	20355,088	0,903	0,258
2	993,909	0,044	0,013
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 108: Resultados Ácido Siríntrico experimento 14

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	48957,857	3,500	1,000
1	5574,338	0,399	0,114
2	2050,626	0,147	0,042
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

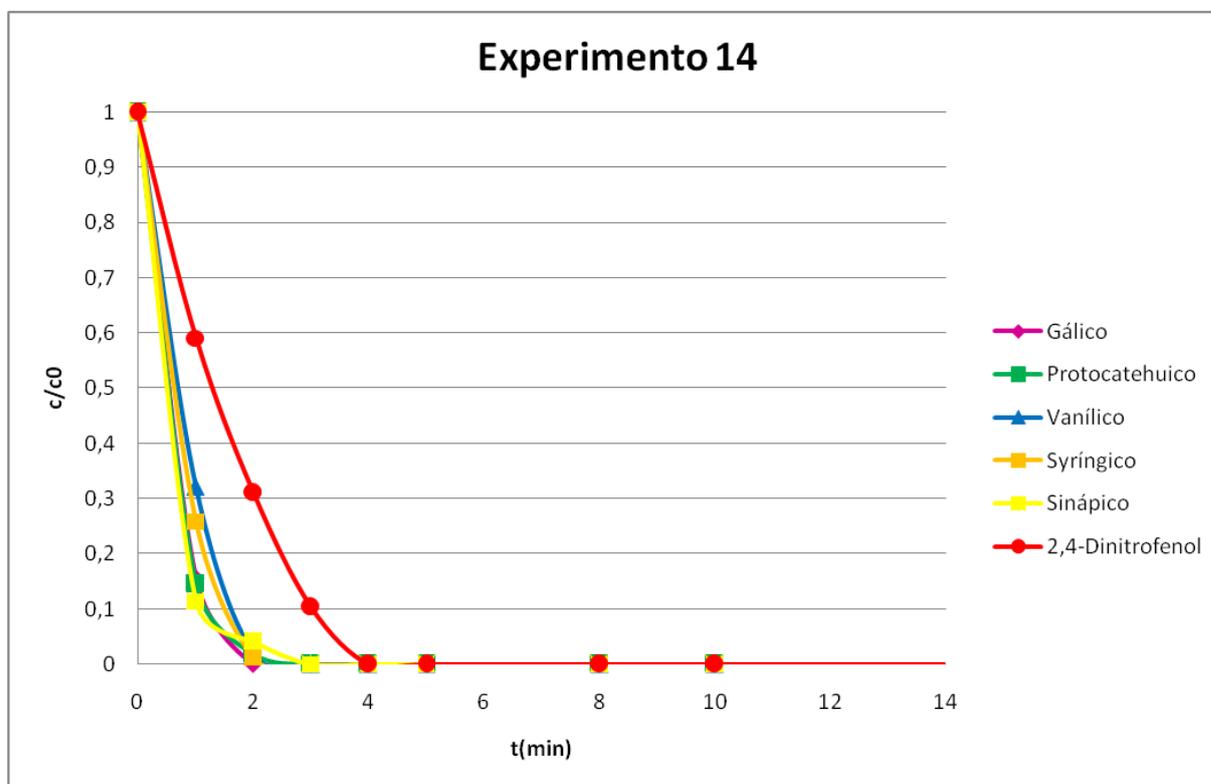
Tabla 109: Resultados Ácido Sinápico experimento 14

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	81572,117	3,500	1,000
1	48186,473	2,068	0,591
2	25319,109	1,086	0,310
3	8455,549	0,363	0,104
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 110: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 14

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 14

Condiciones de operación		
cO	3,5	mg/l
O3	0,6	mg/min
pH	7,5	



Gráfica 14: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 14

En el experimento 14 también se pueden observar resultados muy favorables, pero comparándolos con los resultados del experimento 9 (el más favorable hasta ahora) no lo son tanto, ya que el compuesto 2,4-Dinitrofenol se degrada a los 4 minutos de llevar a cabo el experimento, mientras que en el experimento 9 lo hace a los 3 minutos. Los demás contaminantes desaparecen a los 3 minutos, siendo el Ácido Gálico el que más facilidades tiene para hacerlo. Estos resultados se deben a las siguientes condiciones de operación: Concentración de contaminante de 3'5 mg contaminante/l (baja), concentración de ozono de 0'6 mg O₃/min y un pH básico de 7'5. Debido a que la concentración de ozono no es muy alta, el experimento se ve desfavorecido.

EXPERIMENTO 15

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EXPERIMENTO 15

Condiciones de operación		
c0	3,5	mg/l
O3	0,6	mg/min
pH	7,5	

Tabla 111: Condiciones de operación experimento 15

TABLAS DE RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 15

Gálico			
t(min)	área	c	c/c0
0	76276,659	3,500	1,000
1	5462,136	0,251	0,072
2	1757,722	0,081	0,023
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 112: Resultados Ácido Gálico experimento 15

Protocatecuico			
t(min)	área	c	c/c0
0	186029,588	3,500	1,000
1	24004,699	0,452	0,129
2	68,354	0,001	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 113: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 15

Vanílico			
t(min)	área	c	c/c0
0	99299,348	3,500	1,000
1	33607,049	1,185	0,338
2	3875,669	0,137	0,039
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 114: Resultados Ácido Vanílico experimento 15

Siríntrico			
t(min)	área	c	c/c0
0	103565,919	3,500	1,000
1	34797,950	1,176	0,336
2	2174,048	0,073	0,021
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 115: Resultados Ácido Siríntrico experimento 15

Sinápico			
t(min)	área	c	c/c0
0	150175,158	3,500	1,000
1	12418,027	0,289	0,083
2	6839,977	0,159	0,046
3	2595,098	0,060	0,017
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

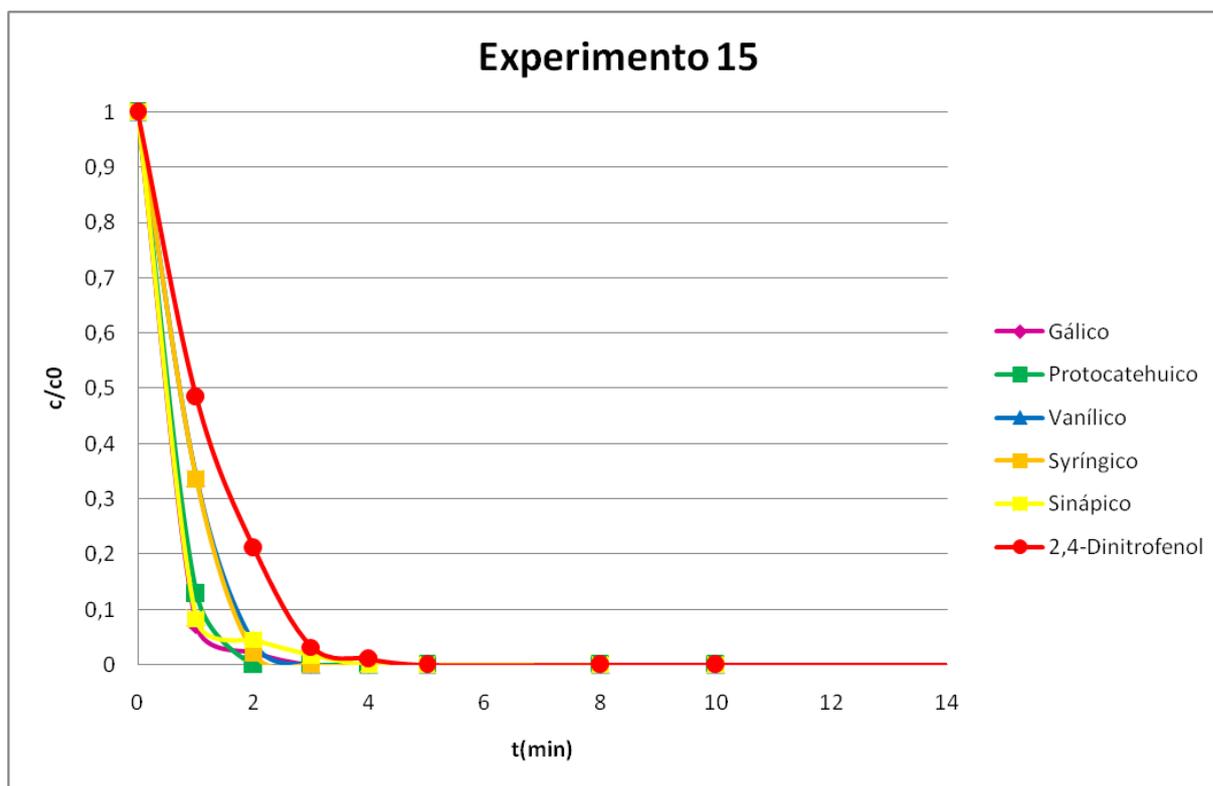
Tabla 116: Resultados Ácido Sinápico experimento 15

2,4-Dinitrofenol			
t(min)	área	c	c/c0
0	109125,740	3,500	1,000
1	52903,947	1,697	0,485
2	23071,717	0,740	0,211
3	3536,368	0,113	0,032
4	1170,077	0,038	0,011
5	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000

Tabla 117: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 15

REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 15

Condiciones de operación		
cO	3,5	mg/l
O3	0,6	mg/min
pH	7,5	



Gráfica 15: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto a tiempo para el experimento 15

El experimento 15 tiene las mismas condiciones de operación que el experimento 14, por tanto, se puede comprobar que los resultados obtenidos son muy semejantes. El compuesto 2,4-Dinitrofenol sigue siendo el que más dificultades tiene para degradarse, mientras que la mayor parte de los demás contaminantes lo hacen a los 3 minutos.

Por tanto, se puede decir que los mejores resultados se obtienen en los experimentos 2 y 9, mientras que los peores se obtiene en los experimentos 6, 8 y 13.

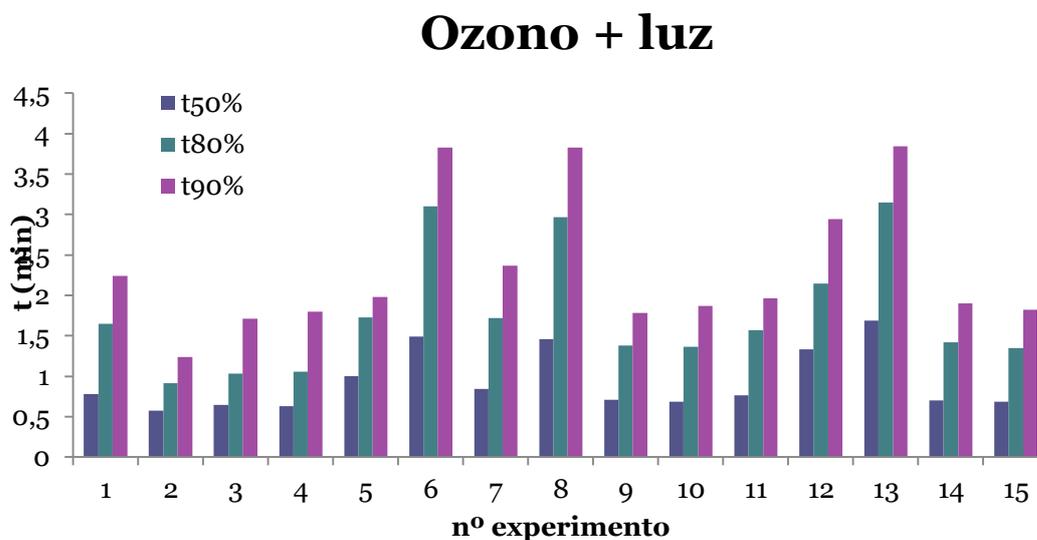
Con estos resultados se puede afirmar que la baja concentración de contaminantes seguido de la alta concentración de ozono y un pH comprendido entre 6 y 7,5, son las condiciones óptimas para degradar los contaminantes procedentes del proceso de cocido de la industria corchera.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

DEGRADACIÓN DEL 50%, 80% Y 90% DE LA SUMA DE LAS ÁREAS DE TODOS LOS CONTAMINANTES

Para tener una visión más global de estos resultados se va a calcular el tiempo que tarda en degradarse el 50%, el 80% y el 90% de la suma de las áreas de todos los contaminantes.

Los resultados se muestran en la siguiente gráfica:



Gráfica 16: Representación del tiempo que tarda en degradarse el 50%, el 80% y el 90% de la suma de las áreas de todos los contaminantes

Como se puede ver, los experimentos que tardan más en degradar los contaminantes son el 6, el 8 y el 13, que si recordamos las condiciones experimentales:

TABLA RESUMEN CONDICIONES DE OPERACIÓN DESFAVORABLES

Nº exp.	O ₃ (mg/min)	pH	[cont] (mg/L)
1	0,6	7,5	3,5
2	1	7,5	3,5
3	0,8	12,0	3,5
4	0,8	9,0	6
5	0,2	7,5	3,5
6	0,4	3,0	3,5
7	0,4	6,0	1
8	0,8	3,0	3,5
9	0,8	6,0	1
10	0,4	12,0	3,5
11	0,6	10,5	1
12	0,4	9,0	6
13	0,6	4,5	6
14	0,6	7,5	3,5
15	0,6	7,5	3,5

Tabla 118: Condiciones de operación de los experimentos que aportan peores resultados

Son los que se corresponden a los pH más ácidos y a las menores concentraciones de ozono. El aumento de concentración de los contaminantes en la disolución también influye disminuyendo la velocidad de degradación aunque menos marcadamente.

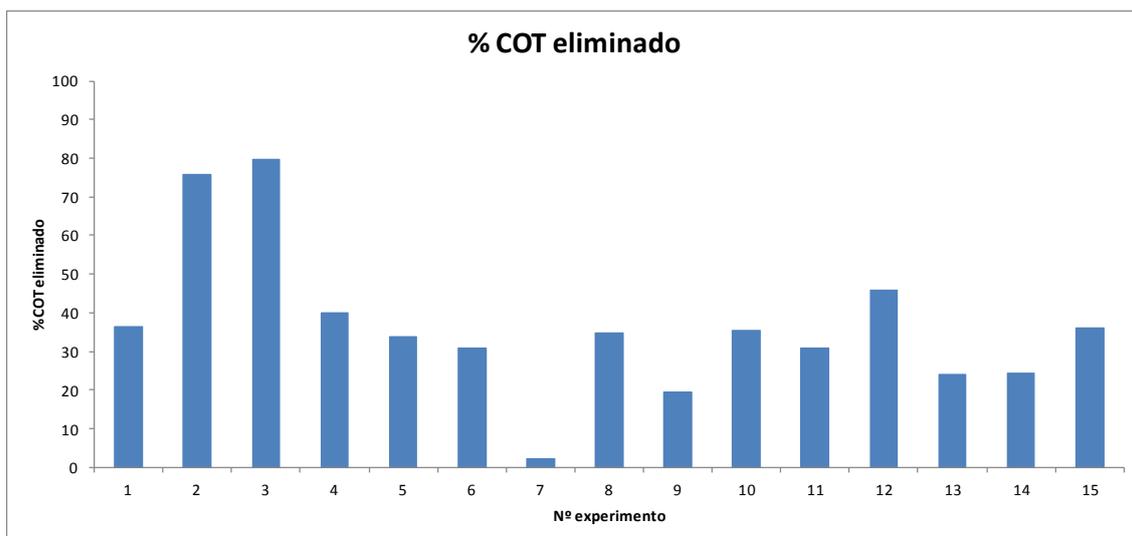
6. RESULTADOS COT

El COT (Carbono Orgánico Total) (véase página 18) se mide con el analizador de COT y se realiza mediante un equipo (Shimadzu) de determinación de COT mediante mineralización en un reactor catalítico a alta temperatura y medición del CO₂ producido mediante detector IR.

Los resultados que se han obtenido de los 15 experimentos realizados, midiéndolo al inicio y al final de cada muestra y calculando el % eliminado, han sido los siguientes:

nº experimento	TOC-LUZ		
	inicial	final	% TOC eliminado-LUZ
1	12,75	8,126	36,27
2	26,18	6,365	75,69
3	18,25	3,68	79,84
4	25,76	15,48	39,91
5	17,12	11,36	33,64
6	7,951	5,488	30,98
7	6,034	5,902	2,19
8	17,52	11,42	34,82
9	5,106	4,118	19,35
10	25,31	16,37	35,32
11	15,76	10,9	30,84
12	29,59	16,04	45,79
13	21,48	16,32	24,02
14	8,724	6,589	24,47
15	11,82	7,551	36,12

Tabla 119: %COT eliminado

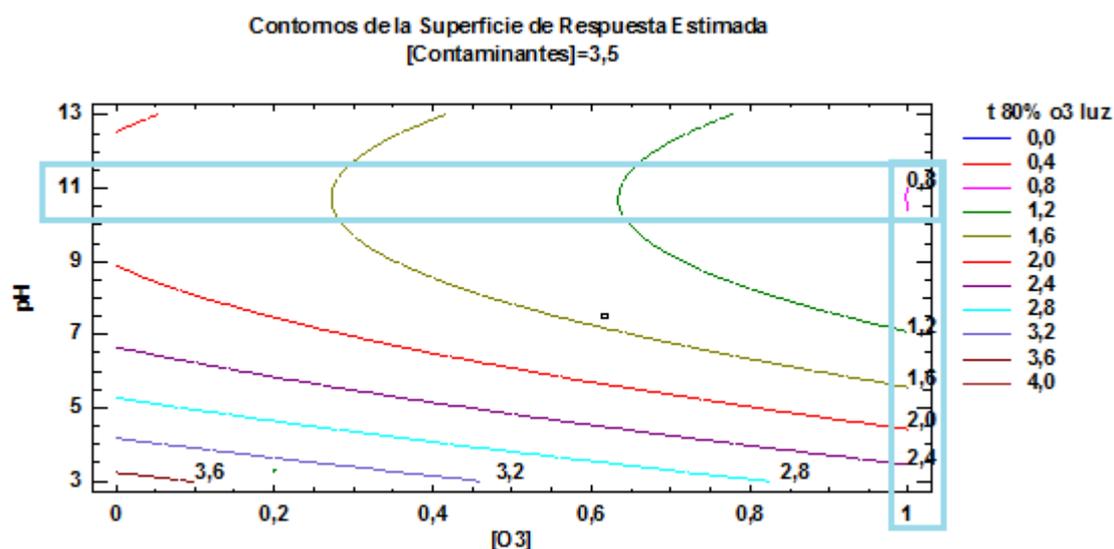


Gráfica 17: %COT eliminado

La mayor mineralización se produce en los experimentos 2 y 3 que se corresponden a combinaciones de altas dosis de ozono y pH básico, estas son las condiciones de reacción más favorables para los tratamientos de ozonización. En cuanto a la peor se corresponde al experimento 7 con pequeñas dosis de ozono y pH ácido (condiciones más desfavorables para estos tratamientos).

7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

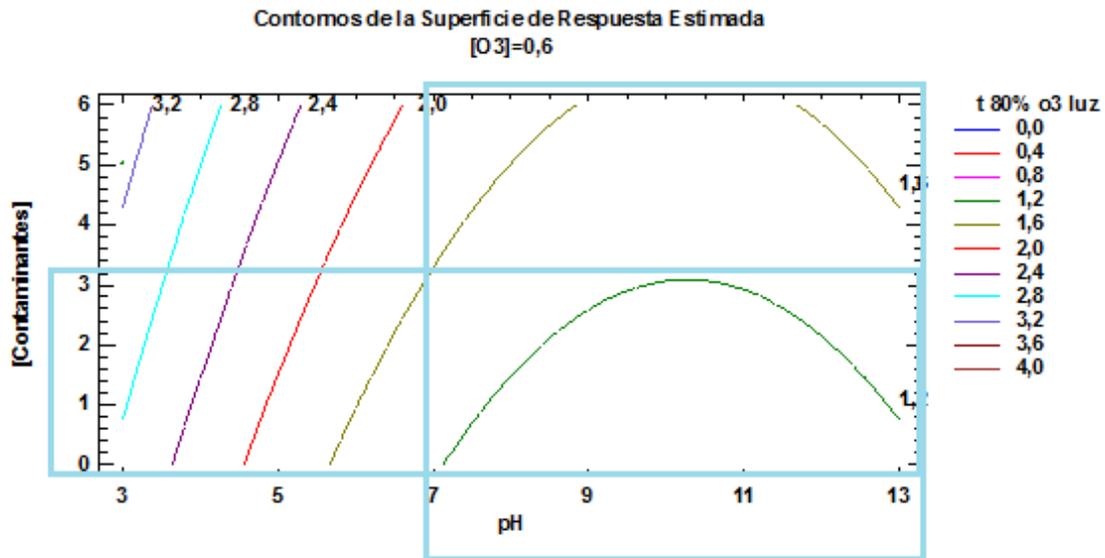
Para analizar los resultados de degradación obtenidos por HPLC se recurre a un análisis estadístico mediante superficies de respuesta partiendo de los resultados del 80% de degradación de la mezcla de contaminantes. Este análisis se ha realizado con el programa Statgraphics.



Gráfica 18: Análisis estadístico de los resultados con una concentración de contaminante fijada en 3'5 mg contaminante/l

Como se puede observar, la zona coloreada de azul corresponde a las condiciones óptimas de degradación para una concentración fijada en 3'5 mg contaminante/l. Estas óptimas condiciones de operación se corresponden con altas concentración de ozono, alrededor de 1 mg O₃/min, junto con pH básicos comprendidos entre 10 y 11 (carácter básico).

Si se realiza el análisis fijando la concentración de ozono a 0,6:



Gráfica 19: Análisis estadístico de los resultados con una concentración de ozono fijada en 0'6 mg O₃/min

Fijando en este la concentración de ozono en 0'6 mg O₃/min, las condiciones óptimas de operación para este caso son: pH comprendido entre 7 y 13 (carácter básico) y una concentración de contaminante comprendida entre los 0 y 3 mg contaminante/l (baja).

Con ello se corroboran los resultados obtenidos en el apartado anterior. Las mejores condiciones de operación para degradar los contaminantes presentes en el agua del proceso de cocido del corcho son: bajas concentraciones de contaminante, seguido de altas concentración de ozono y un pH básico.

8. ESCALADO DE RESULTADOS A INSTALACIÓN INDUSTRIAL

El objeto de este apartado es relacionar los resultados obtenidos en el laboratorio a los que deben obtenerse en una instalación industrial. Los resultados a escala de laboratorio determinan las mejores condiciones de reacción, pero para la aplicación industrial se debe hacer un escalado de las instalaciones que permita pasar de los resultados a nivel de laboratorio a la realidad esperada.

Los datos de laboratorio se relacionan en la tabla adjunta:

Volumen tratado	0.00025m ³
Volumen de oxígeno utilizado	0.0000302 m ³ O ₂ /0.00025m ³ tratado = 0.1208m ³ O ₂ /m ³ tratado
Caudal oxígeno	6 L/min
Presión	0.5-1 bar
Concentración de ozono	5 g O ₃ /h
Potencia consumida	0.059 kW/m ³

Tabla 120: Datos de laboratorio

Estos resultados de laboratorio se escalan para un tratamiento industrial con las siguientes características:

Volumen caldera ¹	15m ³
Volumen de oxígeno ²	1.812 m ³ O ₂
Caudal oxígeno	Debido a la dimensión de este estudio, el dimensionamiento y el factor de escalado de estos parámetros necesitarían un estudio específico de los mismos, excediendo el ámbito de este proyecto.
Presión	
Concentración de ozono	
Potencia consumida	

Tabla 121: Datos escalados para tratamiento industrial

¹El hervido o cocido, que tiene como fin mejorar las características del corcho, se lleva a cabo en una caldera abierta de acero inoxidable de 15m³ de capacidad, utilizando leña como combustible

²Volumen de oxígeno = $\frac{0,1208}{1} \frac{\text{m}^3\text{O}_2}{\text{m}^3 \text{tratados}} \cdot 15\text{m}^3 = 1,812\text{m}^3\text{O}_2$

El factor de escalado (la base del concepto de similitud se puede expresar con la siguiente relación lineal: $m' = k \cdot m$, donde k es el factor de escala que relaciona el valor de una variable en cada una de las escalas utilizadas) en esta relación, es unitario.

En los archivos adjuntos se detalla en plano la distribución de la planta industrial. En el cuadro de detalle del mismo se ve reflejado cada uno de los elementos que constituyen la instalación.

9. ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado se estudian los costes que se producen por metro cúbico (m³) de agua al irradiarla con luz UV y tratarla con Ozono, así como un estudio de la rentabilidad anual para el volumen medio vertido.

PRESUPUESTO DE INVERSIONES

EQUIPO

El equipo que se utiliza para la generación de Ozono es el generador OzoGas S.L, cuyas características son las siguientes:

Tensión de la alimentación	230 V
Alta tensión máxima	10 Kv
Consumo eléctrico lámpara UV-visible	300 W
Consumo eléctrico máximo	90 W
Alimentación neumática	Mediante aire comprimido u Oxígeno
Presión de aire nominal	0.5 – 1 Bar
Caudal de aire nominal	6 L/min
Máxima generación de Ozono	5 g O ₃ / h
Modo de refrigeración	Mediante agua
Coste lámpara UV-visible 300 W	150€
Coste equipo (IVA no incluido)	7300€

Tabla 122: Características equipo

GASTOS FIJOS

Se trata de todo aquello que no está relacionado con la producción del producto deseado. Como son:

GASTOS EN PERSONAL

En el que se ha tenido en cuenta la cantidad mínima necesaria para llevar a cabo el control de calidad de la empresa.

Teniendo en cuenta el boletín oficial del estado, la resolución del 12 de febrero de 2013, de la Dirección General de Empleo, en la que se publican y registran las tablas salariales para 2013 del I Convenio colectivo de Dematic Logistic Systems, SA.

Salario base Ingeniero técnico	2.161,72€
Salario anual Ingeniero técnico	30.264,05€/año
Media jornada	4h/día
Salario	15.132,02€/año

Tabla 123: Gastos en personal

GASTOS EN MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN

En el que se han destacado los gastos que tienen por objetivo, mantener o cuidar el funcionamiento los equipos utilizados para llevar a cabo el presente proyecto. Cabe destacar, que no se han tenido en cuenta la sustitución o reparación de los equipos por defecto de fábrica, ya que están cubiertos por la garantía de las empresas proveedoras.

Reparaciones	400€
Conservación	250€
Total	650€/año

Tabla 124: Gastos en mantenimiento y conservación

GASTOS VARIABLES

En este caso, los gastos variables sí que están relacionados con la producción del producto deseado, es decir, cambian en proporción a la actividad de la empresa. Estos son:

CONSUMO ENERGÉTICO

Consumo energético lámpara	300 W
Consumo energético equipo	90 W
Consumo energético total	20,5 kW
Tiempo utilizado para 1 m ³	4 h / m ³
Tarifa 3.0.2 Iberdrola	0,022083 €/kWh
Coste total /m ³	1,81 €/ m ³
Coste anual	628,07 €/año

Tabla 125: Consumo energético

$$\frac{\text{Coste total}}{\text{m}^3} = 4 \frac{\text{h}}{\text{m}^3} \cdot 20,5 \text{kW} \cdot 0,022083 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 1,81 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Coste anual del consumo energético} = 1,81 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \cdot 347 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} = 628,07 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Siendo el valor de 347 m³/año obtenido como volumen medio vertido en la industria corchera

GAS

En este apartado se va a tener en cuenta el consumo de oxígeno (distribuido por PRAXAIR) que se necesita para generar el ozono por descarga eléctrica.

Capacidad	10m ³
Presión	200 Kg/cm ²
Masa (en volumen)	10.6 Nm ²
Pureza	99%
Coste / m ³	124.16 €/ m ³
Coste anual	5.205 €/año

Tabla 126: Características gas utilizado

$$\text{Coste anual del gas} = 124'16 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \cdot 41'92 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} = 5'205 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

PRODUCTOS QUÍMICOS

Los productos químicos utilizados han sido el H₂SO₄ y la NaOH. Se han utilizado para ajustar el pH. Se han obtenido de Sigma-Aldrich

NaOH	221465-500g (SKU-Tamaño de envase); Precio: 38.50 (EUR)
Presión de vapor	<18 mmHg (20°C); 3 mmHg (37°C)
Ensayo	99%
Forma	Gránulos
Impurezas	≤0.001% N componentes
H ₂ SO ₄	320501-1L (SKU-Tamaño de envase); Precio: 79.90 (EUR)
Presión de vapor	1 mmHg (146°C)
Ensayo	95%-98%
Forma	Líquido, exento de materia suspendida o insoluble

Tabla 127: Productos químicos utilizados

Gasto total en productos químicos	1420 €/año
-----------------------------------	------------

Tabla 128: Gasto total en productos químicos

El dato del gasto total en productos químicos se ha obtenido de otros proyectos anteriores.

AHORRO TRAS REALIZAR LA INVERSIÓN

IMPORTE DEL CANON DE VERTIDO

Se trata de un tributo de Saneamiento de las Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana, que se estableció por la Ley 2/1992 el 26 de marzo. Este se exige desde 1993.

El objetivo de este es mejorar la conservación del Medio Ambiente de la Comunidad Valenciana.

TARIFA CANON DE LA ENTIDAD DE SANEAMIENTO 2015

Usos industriales: teniendo en cuenta que el calibre del contador en este caso es de 15 mm, la cuota de servicio es de 174,48 €/año y una cuota de consumo de 0,570 €/m³.

Según determina el Decreto 266/1994, de 30 de Diciembre, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el reglamento sobre el régimen económico-financiero y tributario del canon de saneamiento (DOGV nº2418 de 31 de Diciembre)

La base imponible para fijar la cuota de consumo está constituida por el volumen de agua consumida, medida o estimada, expresado en m³. La cuota del canon de saneamiento (Artículo 11 del Decreto anterior) la constituyen, la suma de la cuota de servicio y la de consumo, de acuerdo con las tarifas anteriormente indicadas. Para la cuota de consumo (Artículo 25 del Decreto anterior) se aplican coeficientes correctores que se calculan experimentalmente a partir del primer año, ya que no se disponen de datos para estimarlo. Otros coeficientes correctores se calculan según el Real Decreto 606/2003, del 23 de Mayo.

CÁLCULO DEL CANON VARIABLE CON TRATAMIENTO ADECUADO

K1 (características del vertido) = 1,09 (industria clase II: química)

K2 (grado de contaminación del vertido) = 0,5 (industrial con tratamiento adecuado)

*Antes del tratamiento se aplica un coeficiente de 2,5 por industrial sin tratamiento adecuado

K3 (calidad ambiental del medio receptor) = 1 (vertido en zona de categoría III)

*no se trata de una categoría I (aguas destinadas a la producción de agua potable, aptas para el baño y las zonas aptas para la vida de los salmónidos), ni de categoría II (zonas aptas para la vida de los ciprínidos y para la cría de moluscos o según planes hidrológicos). Por lo tanto se trata de una categoría III.

Cuota canon de saneamiento = cuota fija + cuota variable

Cuota fija = 174,48€/año

$$\frac{\text{Cuota variable}}{\text{volumen vertido}} = (K1 \cdot K2 \cdot K3) \cdot \text{cuota unitaria} = (1,09 \cdot 0,5 \cdot 1) \cdot 0,570 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 0,31065 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

(Cuando el tratamiento es adecuado)

CÁLCULO DEL CANON CON TRATAMIENTO NO ADECUADO

En el caso de que se tratase de un industrial sin tratamiento adecuado ($K_2 = 2,5$), la cuota del canon de saneamiento sería:

K_1 (características del vertido) = 1,09 (industria clase II: química)

K_2 (grado de contaminación del vertido) = 2,5 (industrial sin tratamiento adecuado)

K_3 (calidad ambiental del medio receptor) = 1 (vertido en zona de categoría III)

*no se trata de una categoría I (aguas destinadas a la producción de agua potable, aptas para el baño y las zonas aptas para la vida de los salmónidos), ni de categoría II (zonas aptas para la vida de los ciprínidos y para la cría de moluscos o según planes hidrológicos). Por lo tanto se trata de una categoría III.

Cuota canon de saneamiento = cuota fija + cuota variable

Cuota fija = 174,48€/año

$$\frac{\text{Cuota variable}}{\text{volumen vertido}} = (K_1 \cdot K_2 \cdot K_3) \cdot \text{cuota unitaria} = (1'09 \cdot 2'5 \cdot 1) \cdot 0'570 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 1'55325 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

(Cuando el tratamiento no es el adecuado)

AHORRO

Calculando ambos casos, se puede observar el ahorro que tiene la empresa con el tratamiento adecuado.

$$\begin{aligned} \frac{\text{Ahorro}}{\text{m}^3} &= \text{canon con tratamiento no adecuado} - \text{canon con tratamiento adecuado} \\ &= 1'55325 - 0'31065 = 1'2426 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

AHORRO ANUAL ESTIMADO

El ahorro calculado anteriormente es por m^3 , teniendo en cuenta que el volumen medio vertido en la industria corchera es de $347 \text{ m}^3/\text{año}$ se hace una estimación del ahorro anual.

$$\text{Ahorro anual} = 1'2426 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \cdot 347 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} = 431'18 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

INVERSIÓN INICIAL

Inversión en equipo	7300€
---------------------	-------

Tabla 129: Inversión inicial

RESUMEN GASTOS FIJOS

Personal	15.132,02€/año
Mantenimiento y conservación	650€/año
Total	15.782,02 €/año

Tabla 130: Resumen gastos fijos

RESUMEN GASTOS VARIABLES

Consumo energético	628,07 €/año
Gas	5.205 €/año
Productos químicos	1.420 €/año
Total	7.253,07 €/año

Tabla 131: Resumen gastos variables

GASTOS TOTALES

Gastos fijos	15.782,02 €/año
Gastos variables	7.253,07 €/año
Gastos totales	23.035,09 €/año

Tabla 132: Resumen gastos totales

AHORRO

Ahorro /m ³	1,2426 €/ m ³
Ahorro anual	431,18 €/año

Tabla 133: Ahorro

RENTABILIDAD

Es un indicador que mide la relación que existe entre el ahorro obtenido de una inversión y el coste de ésta, al mostrar que porcentaje de dinero invertido se ha ganado o recuperado.

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Ahorro}}{\text{Coste inversión}} \cdot 100 = \frac{431'18}{23.035'09} \cdot 100 = 1'87\%$$

Rentabilidad	1.87%
--------------	-------

Tabla 134: Rentabilidad

Esta rentabilidad, en la que además no se ha tenido en cuenta la inversión inicial, podría no llegar a ser interesante implantarla si no fuera porque en el caso de no realizar un tratamiento adecuado, y por lo tanto, realizar un vertido que incumpla las condiciones de la ley de vertido, pueden aplicarse sanciones por infracción grave por parte de las administraciones competentes.

Se entienden por infracción grave la evacuación de vertidos sin tratamiento previo, cuando éstos los requieran, o sin respetar las limitaciones especificadas en la Ley de saneamiento de las aguas residuales de la Comunidad Valenciana, que por régimen sancionador puede ir desde los 3.005,05€ hasta los 30.050,57€.

Con lo cual aunque la rentabilidad no sea muy alta y en cualquier otro caso no se consideraría realizar una inversión como la estudiada, para evitar sanciones que puedan llegar incluso al cierre de la actividad, hace que esta inversión sea necesaria, aparte de los beneficios medioambientales que supone el no emitir contaminantes a un efluente natural.

10. CONCLUSIONES

Como se ha podido observar en el seguimiento de la degradación de los contaminantes por HPLC, no se han detectado el Ácido Tánico ni el Ácido Elágico. Se cree que se eliminan con la utilización del filtro millipore de 0.45 μm de diámetro, puesto que el diámetro de las partículas de ambos ácidos son más grandes que el del poro del filtro empleado, por lo que es necesario recurrir a otras técnicas analíticas que no requieran filtrado para determinar su eliminación, como es el análisis de fluorescencia.

El compuesto 2,4-Dinitrofenol es el que más tarda en degradarse como se ha podido comprobar en todos los experimentos, mientras que el Ácido Gálico es el compuesto, por el contrario, que más rápidamente se degrada. Por tanto, haciendo una escala de la velocidad de degradación de mayor a menor, se tendría: Ácido Gálico, Ácido Protocatecuico, Ácido Sinápico, Ácido Vanílico, Ácido Siríngico y por último el 2,4-Dinitrofenol.

En cuanto a los resultados del Carbono orgánico disuelto, se puede decir que la cantidad de carbono eliminado en el experimento 3 (Concentración de O_3 de 0,8 mg/min, pH 12 y concentración de contaminante de 2,5 mg/l) es el más elevado, siendo su valor del 79,84%. Esto es debido, como se ha dicho anteriormente, a una baja concentración de contaminante, una alta concentración de ozono y un pH básico. Por el contrario, el experimento número 7 es en el que se obtiene peores resultados, siendo su valor de 2'19%. En este caso las condiciones de operación eran: Concentración de contaminante de 1mg/l, concentración de ozono de 0'4 mg/min (baja, desfavorable para el proceso) y un pH ácido de 6.

Después de observar los resultados obtenidos y realizar un análisis estadístico de los mismos, se ha podido comprobar que las condiciones óptimas para degradar dichos contaminantes en un menor tiempo posible son las siguientes: Una baja concentración de contaminante, seguida de una alta concentración de ozono y un pH básico.

Al analizar, en último lugar, la parte económica del proceso se ha obtenido un ahorro anual de 431'18€/año, cuya rentabilidad es de 1'87%. Observando estos resultados puede no ser interesante implantar el proceso si no fuera porque en el caso de no realizar un tratamiento adecuado, y por lo tanto, tener un vertido que incumple las condiciones de la ley de vertido, pueden aplicarse sanciones por infracción grave por parte de las administraciones competentes, siendo su importe de 3.005'05€ hasta los 30.050'57€ (dependiendo de la gravedad).

Con lo cual aunque la rentabilidad no sea muy alta y en cualquier otro caso no se consideraría realizar una inversión como la estudiada, para evitar sanciones que pueden llegar incluso al cierre de la actividad, hace que esta inversión sea necesaria, aparte de los beneficios medioambientales que supone el no emitir contaminantes a un efluente natural.

11. BIBLIOGRAFIA

Libros consultados:

- Baird Colin (2001). *Química ambiental*. University of Western Ontario
- Martín Galvín Rafael (1995). *Análisis de aguas y ensayos de tratamiento*. Barcelona
- Orozco Barrenetxea Carmen et al. (2003). *Contaminación ambiental, una visión desde la química*. Madrid

Artículos y revistas científicas:

- An overview of the application of Fenton oxidation to industrial wastewaters treatment, Bautista, P (Bautista, P.)[1] ; Mohedano, AF (Mohedano, A. F.)[1] ; Casas, JA (Casas, J. A.)[1] ; Zazo, JA (Zazo, J. A.)[1] ; Rodriguez, JJ (Rodriguez, J. J.)[1], JOURNAL OF CHEMICAL TECHNOLOGY AND BIOTECHNOLOGY, Volumen: 83 Número: 10 Páginas: 1323-1338
- Application of solar photocatalytic ozonation for the degradation of emerging contaminants in water in a pilot plant, Quinones, DH (Quinones, Diego H.)[1] ; Alvarez, PM (Alvarez, Pedro M.)[1] ; Rey, A (Rey, Ana)[1] ; Contreras, S (Contreras, Sandra)[2] ; Beltran, FJ (Beltran, Fernando J.)[1], CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL Volumen: 260 Páginas: 399-410
- [Study on the mechanism of ozonation of organic combination with UV radiation],_Tong, Shao-Ping; Wang, Zi; Ma, Chun-An, Huan jing ke xue= Huanjing kexue / [bian ji, Zhongguo ke xue yuan huan jing ke xue wei yuan hui "Huan jing ke xue" bian ji wei yuan hui.],Volumen:28 Número:2 Páginas:342-5
- Gallic acid degradation in aqueous solutions by UV/H₂O₂ treatment, Fenton's reagent and the photo-Fenton system, Benitez, FJ (Benitez, FJ); Real, FJ (Real, FJ); Acero, JL (Acero, JL); Leal, AI (Leal, AI); Garcia, C (Garcia, C), JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS,Volumen: 126 Número: 1-3 Páginas: 31-39
- Study of cork (from *Quercus suber* L.)-wine model interactions based on voltammetric multivariate analysis, Rocha, SM (Rocha, SM); Ganito, S (Ganito, S); Barros, A (Barros, A); Carapuca, HM (Carapuca, HM); Delgadillo, I (Delgadillo, I), ANALYTICA CHIMICA ACTA,Volumen: 528 Número: 2 Páginas: 147-156
- Purification of cork processing wastewaters by ozone, by activated sludge, and by their two sequential applications, Benitez, FJ (Benitez, FJ); Acero, JL (Acero, JL); Garcia, J (Garcia, J); Leal, AI (Leal, AI), WATER RESEARCH,Volumen: 37 Número: 17 Páginas: 4081-4090

- Lin HH, Chen JH, Huang CC, Wang CJ. (June 2007). "Apoptotic effect of 3,4-dihydroxybenzoic acid on human gastric carcinoma cells involving JNK/p38 MAPK signaling activation.". *Int J Cancer*. 120 (11): 2306–2316. (Consulta: propiedades ácido protocatecuico)
- Lesage-Meessen L, Delattre M, Haon M, Thibault JF, Ceccaldi BC, Brunerie P, Asther M (October 1996). "A two-step bioconversion process for vanillin production from ferulic acid combining *Aspergillus niger* and *Pycnoporus cinnabarinus*". *J. Biotechnol*. 50 (2–3): 107–113. (Consulta: propiedades ácido vanílico)
- Civolani C, Barghini P, Roncetti AR, Ruzzi M, Schiesser A (June 2000). "Bioconversion of ferulic acid into vanillic acid by means of a vanillate-negative mutant of *Pseudomonas fluorescens* strain BF13". *Appl. Environ. Microbiol*. 66 (6): 2311–2317. (Consulta: propiedades ácido vanílico)
- Bogert, Marston; Ehrlich, Jacob (Mar. 1919). "The synthesis of certain pyrogallol ethers, including a new acetophenetide derived from the ethyl ether of syringic acid". *Journal of the American Chemical Society* 41 (5): 798–810. (consulta: propiedades ácido siríngico)
- Beavis RC, Chait BT (1989). "Matrix-assisted laser-desorption mass spectrometry using 355 nm radiation". *Rapid Commun. Mass Spectrom*. 3 (12): 436–9. (consulta: propiedades ácido sinápico)
- Beavis RC, Chait BT (1989). "Cinnamic acid derivatives as matrices for ultraviolet laser desorption mass spectrometry of proteins". *Rapid Commun. Mass Spectrom*. 3 (12): 432–5. (consulta: propiedades ácido sinápico)
- Francisco Virgilio Cruz-Antonio, Saúl Saucedo-Pompa, Gabriela Martínez-Vazquez, Antonio Aguilera, Raúl Rodríguez y Cristóbal Noé Aguilar (2010) "Propiedades químicas e industriales del ácido elágico" *Revista científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*. (consulta: propiedades ácido elágico)
- Boletín oficial del estado (BOE), Resolución de 12 febrero de 2013, de la Dirección General de Empleo, por la que se registran y publican las tablas salariales para 2013 del I Convenio colectivo de Dematic Logistic Systems,SA. Sec. III. Pág. 16053 Núm.50 (Consulta: Salario ingeniero técnico)

- Boletín oficial del estado (BOE), Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. Pág. 22071 Núm.135 (Consulta: datos Ks)

Páginas web:

Agrupación de empresarios del corcho (Consulta: La industria del corcho)

[<http://www.asecor.com/doc/elcorcho.pdf>]

Industria corchera (Consulta: La industria del corcho y datos escalado industrial)

[<http://www.inexcor.com/>]

Ficha internacional de seguridad del ozono (Consulta: características ozono)

[<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/0a100/nspn0068.pdf>]

Empresa de fabricación de los productos químicos (Consulta: Obtención de los contaminantes utilizados y NaOH/H₂SO₄) [<https://www.sigmaaldrich.com/>]

Ficha internacional de seguridad del Ácido Gálico (Consulta: características Ácido Gálico)

[<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/1101a1200/nspn1174.pdf>]

Ficha internacional de seguridad del 2,4-Dinitrofenol (Consulta: características 2,4-Dinitrofenol)

[<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/401a500/nspn0464.pdf>]

Ficha de datos de seguridad (Consulta: características del ácido tánico)

[https://www.labbox.com/FDS/ES/ES_Tannic%20acid%20Extra%20Pure%20BP_TNAC-00T-250_FDS_20110329_LABKEM.pdf]

pH-metros y otros instrumentos de medida electroquímica (Consulta: Explicación pH-metro) [<http://www.uv.es/bertomeu/material/museo/instru/pdf/10.pdf>]

Unidad de análisis químico (Consulta: COT)

[http://www.icra.cat/files/equipament/SCT-UAQ%2005_2.pdf]

Estudio sobre la depuración de los lixiviados de vertederos de RSU con cenizas volantes zeolitizadas (Consulta: Definición factor de escalado)

[http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20028/fichero/8_ESCALADO%252F8_ESCALADO.pdf]

Estudio de vertidos procedentes del sector del corcho (Consulta: Media volumen vertido anual) [<http://www.asecor.com/doc/vertidos.pdf>]

Información de tarifas eléctricas y modalidades de contratación 2008 (Consulta: tarifa contratada) [https://www.iberdrola.es/02sica/gc/es/doc/triptico_tarifas_elect_08.pdf]

Empresa de fabricación de oxígeno (Consulta: Características oxígeno) [<http://www.praxair.es/gases/buy-liquid-oxygen-or-compressed-oxygen-gas/?tab=overview>]

Entidad de sanejament d'aigües (Consulta: tarifa canon entidad de saneamiento) [<http://www.epsar.gva.es/sanejament/docs/156.pdf>]

Entidad de sanejament d'aigües (Consulta: Ahorro) [<http://www.epsar.gva.es/sanejament/canon/canon.aspx?idtipo=61>]

12. APÉNDICES

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Saca o descorchado de la corteza del alcornoque	2
Figura 2: Cocido del corcho	3
Figura 3: Separación de las planchas de corcho	3
Figura 4: Perforación de los tapones	4
Figura 5: Tapones terminados	4
Figura 6: Espátulas y vidrios de reloj.....	13
Figura 7: Matraces aforados.....	13
Figura 8: Vasos de precipitado	14
Figura 9: Filtros milipore de 0.45um	14
Figura 10: Reactor encamisado de vidrio y lámpara de Xénon (UV-visible)	15
Figura 11: Básculas de precisión.....	15
Figura 12: pH-metro.....	16
Figura 13: HPLC.....	17
Figura 14: Equipo de determinación del carbono orgánico total (COT)	18
Figura 15: Ozonizador	19

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Propiedades Ozono	5
Tabla 2: Propiedades Ácido Gálico.....	7
Tabla 3: Propiedades Ácido Protocatecuico	7
Tabla 4: Propiedades Ácido Vanílico	8
Tabla 5: Propiedades Ácido Siríngico	9
Tabla 6: Propiedades Ácido Sinápico	9
Tabla 7: Propiedades 2,4-Dinitrofenol	10
Tabla 8: Propiedades Ácido Elágico	10
Tabla 9: Propiedades Ácido Tánico	11
Tabla 10: Variables a tener en cuenta en la matriz Dohelert.....	20
Tabla 11: Matriz Dohelert	20
Tabla 12: Tiempo de muestreo y ensayos llevados a cabo	22
Tabla 13: Condiciones de operación experimento 1	24
Tabla 14: Resultados Ácido Gálico experimento 1	24
Tabla 15: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 1.....	24
Tabla 16: Resultados Ácido Vanílico experimento 1	25
Tabla 17: Resultados Ácido Siríngico experimento 1.....	25
Tabla 18: Resultados Ácido Sinápico experimento 1	26
Tabla 19: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 1	26
Tabla 20: Condiciones de operación experimento 2	28
Tabla 21: Resultados Ácido Gálico experimento 2	28
Tabla 22: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 2.....	28
Tabla 23: Resultados Ácido Vanílico experimento 2	29
Tabla 24: Resultados Ácido Siríngico experimento 2	29

Tabla 25: Resultados Ácido Sinápico experimento 2	30
Tabla 26: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 2	30
Tabla 27: Condiciones de operación experimento 3	32
Tabla 28: Resultados Ácido Gálico experimento 3	32
Tabla 29: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 3.....	32
Tabla 30: Resultados Ácido Vanílico experimento 3	33
Tabla 31: Resultados Ácido Siríngico experimento 3	33
Tabla 32: Resultados Ácido Sinápico experimento 3	34
Tabla 33: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 3	34
Tabla 34: Condiciones de operación experimento 4	36
Tabla 35: Resultados Ácido Gálico experimento 4	36
Tabla 36: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 4.....	36
Tabla 37: Resultados Ácido Vanílico experimento 4.....	37
Tabla 38: Resultados Ácido Siríngico experimento 4.....	37
Tabla 39: Resultados Ácido Sinápico experimento 4	38
Tabla 40: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 4.....	38
Tabla 41: Condiciones de operación experimento 5	40
Tabla 42: Resultados Ácido Gálico experimento 5	40
Tabla 43: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 5.....	40
Tabla 44: Resultados Ácido Vanílico experimento 5.....	41
Tabla 45: Resultados Ácido Siríngico experimento 5.....	41
Tabla 46: Resultados Ácido Sinápico experimento 5	42
Tabla 47: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 5.....	42
Tabla 48: Condiciones de operación experimento 6	44
Tabla 49: Resultados Ácido Gálico experimento 6	44
Tabla 50: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 6.....	44
Tabla 51: Resultados Ácido Vanílico experimento 6.....	45
Tabla 52: Resultados Ácido Siríngico experimento 6.....	45
Tabla 53: Resultados Ácido Sinápico experimento 6	46
Tabla 54: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 6.....	46
Tabla 55: Condiciones de operación experimento 7	48
Tabla 56: Resultados Ácido Gálico experimento 7	48
Tabla 57: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 7.....	48
Tabla 58: Resultados Ácido Vanílico experimento 7.....	49
Tabla 59: Resultados Ácido Siríngico experimento 7	49
Tabla 60: Resultados Ácido Sinápico experimento 7	50
Tabla 61: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 7.....	50
Tabla 62: Condiciones de operación experimento 8	52
Tabla 63: Resultados Ácido Gálico experimento 8	52
Tabla 64: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 8.....	52
Tabla 65: Resultados Ácido Vanílico experimento 8.....	53
Tabla 66: Resultados Ácido Siríngico experimento 8.....	53
Tabla 67: Resultados Ácido Sinápico experimento 8	54
Tabla 68: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 8.....	54

Tabla 69: Condiciones de operación experimento 9	56
Tabla 70: Resultados Ácido Gálico experimento 9	56
Tabla 71: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 9.....	56
Tabla 72: Resultados Ácido Vanílico experimento 9.....	57
<i>Tabla 73: Resultados Ácido Siríntrico experimento 9</i>	<i>57</i>
Tabla 74: Resultados Ácido Sinápico experimento 9	58
Tabla 75: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 9.....	58
Tabla 76: Condiciones de operación experimento 10	60
Tabla 77: Resultados Ácido Gálico experimento 10	60
Tabla 78: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 10.....	60
Tabla 79: Resultados Ácido Vanílico experimento 10.....	61
Tabla 80: Resultados Ácido Siríntrico experimento 10.....	61
Tabla 81: Resultados Ácido Sinápico experimento 10	62
Tabla 82: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 10.....	62
Tabla 83: Condiciones de operación experimento 11	64
Tabla 84: Resultados Ácido Gálico experimento 11	64
Tabla 85: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 11.....	64
Tabla 86: Resultados Ácido Vanílico experimento 11.....	65
Tabla 87: Resultados Ácido Siríntrico experimento 11.....	65
Tabla 88: Resultados Ácido Sinápico experimento 11	66
Tabla 89: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 11.....	66
Tabla 90: Condiciones de operación experimento 12	68
Tabla 91: Resultados Ácido Gálico experimento 12	68
Tabla 92: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 12.....	68
Tabla 93: Resultados Ácido Vanílico experimento 12.....	69
Tabla 94: Resultados Ácido Siríntrico experimento 12.....	69
Tabla 95: Resultados Ácido Sinápico experimento 12	70
Tabla 96: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 12.....	70
Tabla 97: Condiciones de operación experimento 13	72
Tabla 98: Resultados Ácido Gálico experimento 13	72
Tabla 99: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 13.....	72
Tabla 100: Resultados Ácido Vanílico experimento 13.....	73
Tabla 101: Resultados Ácido Siríntrico experimento 13.....	73
Tabla 102: Resultados Ácido Sinápico experimento 13	74
Tabla 103: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 13.....	74
Tabla 104: Condiciones de operación experimento 14	76
Tabla 105: Resultados Ácido Gálico experimento 14.....	76
Tabla 106: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 14.....	76
<i>Tabla 107: Resultados Ácido Vanílico experimento 14</i>	<i>77</i>
Tabla 108: Resultados Ácido Siríntrico experimento 14	77
Tabla 109: Resultados Ácido Sinápico experimento 14	78
Tabla 110: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 14.....	78
Tabla 111: Condiciones de operación experimento 15	80
Tabla 112: Resultados Ácido Gálico experimento 15.....	80

Tabla 113: Resultados Ácido Protocatecuico experimento 15	80
Tabla 114: Resultados Ácido Vanílico experimento 15	81
Tabla 115: Resultados Ácido Siríngico experimento 15	81
Tabla 116: Resultados Ácido Sinápico experimento 15	82
Tabla 117: Resultados 2,4-Dinitrofenol experimento 15	82
Tabla 118: Condiciones de operación de los experimentos que aportan peores resultados	85
Tabla 119: %COT eliminado.....	86
Tabla 120: Datos de laboratorio	90
Tabla 121: Datos escalados para tratamiento industrial	90
Tabla 122: Características equipo.....	91
Tabla 123: Gastos en personal	91
Tabla 124: Gastos en mantenimiento y conservación	92
Tabla 125: Consumo energético	92
Tabla 126: Características gas utilizado	93
Tabla 127: Productos químicos utilizados.....	93
Tabla 128: Gasto total en productos químicos.....	93
Tabla 129: Inversión inicial	96
Tabla 130: Resumen gastos fijos.....	96
Tabla 131: Resumen gastos variables	96
Tabla 132: Resumen gastos totales	96
Tabla 133: Ahorro	96
Tabla 134: Rentabilidad.....	97

ÍNDICE GRÁFICOS

Gráfica 1: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 1	27
Gráfica 2: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 2	31
Gráfica 3: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 3	35
Gráfica 4: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 4	39
Gráfica 5: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 5	43
Gráfica 6: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 6	47
Gráfica 7: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 7	51
Gráfica 8: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 8	55
Gráfica 9: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 9	59
Gráfica 10: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 10.	63

Gráfica 11: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 11	67
Gráfica 12: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 12	71
Gráfica 13: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 13	75
Gráfica 14: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 14	79
Gráfica 15: Representación de la relación entre la concentración a tiempo n y la concentración inicial respecto al tiempo para el experimento 15	83
Gráfica 16: Representación del tiempo que tarda en degradarse el 50%, el 80% y el 90% de la suma de las áreas de todos los contaminantes	84
Gráfica 17: %COT eliminado	87
Gráfica 18: Análisis estadístico de los resultados con una concentración de contaminante fijada en 3'5 mg contaminante/l	88
Gráfica 19: Análisis estadístico de los resultados con una concentración de ozono fijada en 0'6 mg O3/min	89