



**UNIVERSIDAD DEL MAR**

Campus Puerto Ángel

**DEGRADACIÓN DE 2-CLOROFENOL EN UN  
REACTOR ELECTROQUÍMICO TIPO FILTRO  
PRENSA FM01-LC CON ELECTRODOS DE  
DIAMANTE DOPADO CON BORO**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE:

**INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTA:

**MAYRA CASTELLANOS CRUZ**

DIRECTOR:

**DR. EVER PERALTA REYES**

Puerto Ángel, Oaxaca a Marzo 2017.

## ***DEDICADO A:***

Primeramente a dios, por darme la oportunidad de concluir esta meta ante todas las adversidades. A mis padres Florentina y Margarito por el esfuerzo que han hecho para darme la oportunidad de concluir mis estudios, además de darme el cariño, comprensión y apoyo. A mis hermanos Idalia, Angeles y Josué por el apoyo y la motivación que me brindaron, a mis sobrinos Nataly, Eduardo, Natael y Mateó que han sido mi inspiración para seguir avanzando. A mi tío José y mi tía Carmen por estar siempre pendiente de mí y decirme las palabras necesarias para seguir adelante, así mismo a mis familiares, abuelos, tíos, primos y amigos que siempre me han apoyado de alguna u otra forma. De la misma forma quiero dedicar este trabajo a mi agrupación y a cada uno de mis compañeros que a través de sus palabras me dieron la fortaleza para seguir avanzando y por último pero no menos importante a mi director de tesis el Dr. Ever Peralta Reyes, por la paciencia, la confianza y el apoyo incondicional que siempre me brindo.

## **AGRADECIMIENTO A:**

Al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP), por el apoyo otorgado mediante el rubro Apoyo para la Formación de Recursos Humanos (ID 32643, 32646 y 32651) para la realización de este trabajo a través del proyecto “Degradación electroquímica de compuestos fenólicos en una celda electroquímica” y por el financiamiento del proyecto (Oficio No. DSA/103.5/14/11350)

### **A mi director de tesis:**

Dr. Ever Peralta Reyes, por ser parte fundamental al dirigir este trabajo y compartir conmigo su conocimiento. Además de otorgarme su confianza y apoyo durante el desarrollo de esta investigación y lo más importante por brindarme su amistad.

### **A mis sinodales:**

Dra. Lina A. Bernal Martínez, Dr. Gerardo Martínez Villa, Dr. Carlos Estrada Vázquez y Dr. Alejandro Regalado Méndez, por su colaboración y aportaciones en la revisión de este trabajo, mejorando el presente documento.

### **A la UMAR:**

Por abrirme las puertas y darme la oportunidad de prepararme, brindándome un nuevo panorama para seguir avanzando, además de darme las facilidades para el desarrollo de esta investigación. A los profesores que fueron pieza fundamental a lo largo de mi formación profesional compartiendo su conocimiento, en cada clase impartida.

### **A mis amigos:**

A ellos que me acompañaron a lo largo de esta experiencia; Vicente, Lizzeth, Anyeli, Jared, Ángel, Juan Manuel, además de aquellos que se fueron sumando a lo largo de mi estancia en Puerto Ángel; Diana, Alejandra H., Cirilo, Miguel A., Alejandro y la Dr. Vianey, que siempre estuvieron apoyándome y compartiendo su tiempo, experiencias y lo más importante brindándome su amistad.

# ÍNDICE

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo I. Introducción.....	1
Capítulo II. Marco Teórico.....	4
2.1    Compuestos orgánicos y su impacto en el ambiente .....	4
2.1.1    2-Clorofenol .....	6
2.2    Procesos de degradación.....	7
2.2.1    Procesos convencionales.....	7
2.2.2    Procesos de oxidación avanzada .....	7
2.3    Procesos de oxidación electroquímica.....	9
2.3.1    Celdas electroquímicas .....	11
2.3.2    Reactores electroquímicos.....	12
2.3.2.1    Reactor FM01-LC.....	14
2.3.3    Tipo de electrodos .....	14
2.3.3.1    Electrodos de diamante dopado con boro (DDB).....	16
Capítulo III. Antecedentes.....	19
3.1    Degradación por métodos electroquímicos .....	19
3.2    Degradación de 2-Clorofenol.....	22
Capítulo IV. Justificación, Hipótesis y Objetivos.....	24
4.1    Justificación.....	24
4.2    Hipótesis .....	25
4.3    Objetivos .....	25
Capítulo V. Desarrollo Experimental .....	26
5.1    Soluciones empleadas en el estudio electroquímico.....	26
5.2    Voltamperometría cíclica.....	26
5.3    Degradación electroquímica de 2-CF.....	27
5.3.1    Reactor FM01-LC .....	29
5.3.2    Técnicas analíticas.....	30
5.3.2.1    Espectroscopía UV-Vis.....	30
5.3.2.2    Orgánico Total (COT).....	31

Capítulo VI. Resultados y discusión .....	32
6.1 Voltamperometría cíclica .....	32
6.2 Degradación electroquímica .....	33
6.2.1 Efecto de la densidad de corriente .....	33
6.2.2 Efecto de la velocidad de flujo .....	42
6.2.1 Pseudocinéticas de reacción .....	43
6.2.3 Efecto del pH .....	44
Capítulo VI. Conclusiones .....	46
Bibliografía .....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Clasificación de la EPA (1998) de los compuestos fenólicos por su toxicidad.

**Tabla 2.** Procesos convencionales para la degradación de compuestos orgánicos.

**Tabla 3.** Procesos de oxidación avanzada para la degradación de compuestos orgánicos recalcitrantes.

**Tabla 4.** Potenciales estándar de diferentes agentes oxidantes.

**Tabla 5.** Valores de la pseudocinetica de reacción.

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Celda electroquímica de tipo electrolítica con dos electrodos.

**Figura 2.** Diagrama del sistema utilizado en la oxidación electroquímica del 2-CF.

**Figura 3.** Reactor FM01-LC componentes y orden de armado.

**Figura 4.** Voltamperograma de la solución sintética de 2-CF comparada con el blanco de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

**Figura 5.** Electrólisis de 2-CF,  $[C]_0 = 1\text{mM}$  en  $0.1\text{M Na}_2\text{SO}_4$  como electrolito soporte a,  $\text{pH}_0 = 7.29$  a diferentes valores de velocidad de flujo: (a)  $Q = 0.5\text{ L/min}$ , (b)  $Q = 0.7\text{ L/min}$ , (c)  $Q = 1\text{ L/min}$  y (d)  $Q = 1.5\text{ L/min}$ .

**Figura 6.** Resultados de la electrólisis de una solución sintética 2-CF a dos diferentes valores de densidad de corriente ( $0.116 \text{ A/cm}^2$  y  $0.15 \text{ A/cm}^2$ ) y tres valores diferentes de  $Q$  ( $[C]_0 = 1\text{mM}$  de 2-CF con electrolito soporte  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  a  $0.1\text{M}$ ,  $\text{pH}_0 = 7.29$ ).

**Figura 7.** Electrólisis de 2-CF a tres diferentes velocidades de flujo ( $0.5$ ,  $1$  y  $1.5 \text{ L/min}$ ) ( $[C]_0=1\text{mM}$  con  $0.1\text{M}$   $\text{Na}_2\text{SO}_4$  como electrolito soporte a,  $\text{pH}_0 = 7.29$  con una  $j = 0.15 \text{ A/cm}^2$ ).

**Figura 8.** Efecto del pH sobre la electrólisis de 2-CF ( $[C]_0 = 1\text{mM}$  de 2-CF  $1\text{mM}$  con electrolito soporte  $0.1\text{M}$   $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $j = 0.15 \text{ A/cm}^2$  y  $Q = 1 \text{ L/min}$ ).