

ÍNDICE DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
LISTA DE TABLAS	xii
LISTA DE FIGURAS	xvi
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xxi
CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2	
OBJETIVOS	6
2.1. General	6
2.2. Específicos	6
CAPÍTULO 3	
HIPÓTESIS	8
CAPÍTULO 4	
ANTECEDENTES	9

CAPÍTULO 5

MARCO TEÓRICO	14
5.1. El suelo	14
5.1.1. Definición geológica de suelo	14
5.1.2. Clasificación de los suelos	15
5.2. Contaminación de suelos	17
5.2.1. Sitios contaminados en México	18
5.2.2. Contaminantes persistentes en México	20
5.2.3. Los plaguicidas	21
5.3. Surfactantes	26
5.3.1. Definición de surfactante	26
5.3.2. Clasificación de surfactantes	27
5.3.2.1. Surfactante SDS (Dodecil Sulfato de Sodio)	29
5.4. Restauración de suelos contaminados	30
5.4.1. Técnicas de restauración	30
5.4.2. Lavado de suelos contaminados	43
5.4.2.1 Estimación de costos de lavado de suelos	46
5.5. Proceso de mezclado para el método de lavado de suelos contaminados	49
5.5.1. Vaso de agitación	49
5.5.2. Deflectores	51
5.5.3. Impulsores	54
5.5.3.1. Impulsores de tipo Axial	57

5.5.3.2. Impulsores de tipo Radial	59
--	----

CAPÍTULO 6

SUSPENSIÓN DE SÓLIDOS	64
6.1. Estados de suspensión de sólidos	65
6.1.1. Suspensión total o completa	65
6.1.2. Suspensión de tipo homogénea	70
6.2. Franjas de partículas sólidas en el fondo o en esquinas	70

CAPÍTULO 7

METODOLOGÍA	71
7.1. Suelo tratado	71
7.1.1 Generación de suelo contaminado con plaguicida 2,4-D	71
7.2. Caracterización del suelo	72
7.3. Procedimiento general del proceso de mejoramiento de suelos contaminados mediante lavado con surfactantes y el uso de impulsores en un tanque de agitación	76
7.4. Dosificaciones en el proceso de lavado con la ayuda mecánica de impulsores	77

7.4.1. Dosificaciones utilizadas por corrida de lavado en la fase de determinación de tiempo óptimo	78
7.4.2. Dosificaciones utilizadas por corrida de lavado en la fase de determinación de concentración óptima de suelo	79
7.4.3. Dosificaciones empleadas por corrida de lavado en la determinación de velocidad óptima de lavado	79
7.5. Análisis de las muestras	80
7.6. Impulsor utilizado	80
7.7. Equipo de agitación	81

CAPÍTULO 8

MATERIALES	82
8.1. Materiales de laboratorio	82
8.2. Equipo de laboratorio	83
8.3. Sustancias empleadas	84

CAPÍTULO 9

RESULTADOS Y ANÁLISIS	.....	85
9.1. Caracterización del suelo	.....	85
9.2. Determinación de tiempo Óptimo	.....	87
9.3. Pruebas de lavado a velocidad constante		
con variaciones en la relación suelo/agua	.....	89
9.4. Pruebas de lavado a concentración de		
suelo constante con variaciones de velocidad	.....	95

CAPÍTULO 10

ESCALAMIENTO	.....	102
10.1 Semejanza Geométrica	.....	102
10.2 Número de Reynolds	.....	104
10.3 Número de Potencia	.....	104
10.4 Número de flujo del impulsor	.....	105
10.5 Consumo de potencia y energía asociada		
al proceso como parámetros de escalamiento	.....	108
10.6 Velocidad mínima de agitación	.....	113

CAPÍTULO 11

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
11.1. Conclusiones	117
11.2. Recomendaciones	123

APENDICE A

Normatividad Ecológica que regula a los plaguicidas	124
Leyes Federales de Protección al ambiente	124
Reglamentos Federales en materia ambiental	132
Normas Oficiales Mexicanas que Regulan a los Plaguicidas	133

APENDICE B

Caracterización de Suelo	147
Determinación del Tiempo Óptimo	148
Determinación de Velocidad Óptima	152
Determinación de Concentración Óptima	153
Consumo de potencia por unidad de volumen en la determinación de tiempo y concentración óptima de lavado	155
Consumo de potencia por unidad de volumen en la determinación de la velocidad óptima de lavado	156

REFERENCIAS	.....	157
Referencias de Tablas	.....	166
Referencias de Figuras	.....	167

ÍNDICE DE TABLAS

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
5.1 Categorías de suelos en México de acuerdo a la Clasificación Internacional	16
5.2 Clasificación de Plaguicidas en base a diferentes criterios	22
5.9 Estimado de costos de ejecución del proceso de lavado de suelos	47
5.10 Energía asociada, prueba para la determinación de concentración óptima.	48
5.11 Energía asociada, prueba para la determinación de velocidad óptima.	48
7.1 Mallas empleadas para la prueba granulométrica del suelo	75
7.2 Impulsor Lightnin	80
8.1 Materiales de Laboratorio	82
8.2 Equipo de Laboratorio	83
8.3 Sustancias empleadas	84
10.1 Valores de N_Q para impulsores usados con más frecuencia en procesos de mezclado	106

10.2	Proceso de lavado a velocidad constante (1400 rpm), 10% concentración de suelo	.....	109
10.3	Proceso de lavado a velocidad constante (1400 rpm), 20% concentración de suelo	.....	109
10.4	Proceso de lavado a velocidad constante (1400 rpm), 30% concentración de suelo	.....	110
10.5	Proceso de lavado a velocidad constante (1400 rpm), 40% concentración de suelo	.....	110
10.6	Proceso de lavado a concentración constante (40%), 1200 rpm.	....	111
10.7	Proceso de lavado a concentración constante (40%), 1400 rpm	....	111
10.8	Proceso de lavado a concentración constante (40%), 1550 rpm	....	112
10.9	Proceso de lavado a concentración constante (40%), 1700 rpm	....	112
10.10	Velocidades mínimas de agitación observadas con variaciones de concentración de suelos	.....	114
10.11	Nomenclaturas necesarias para desarrollar la fórmula de correlación para predecir la velocidad mínima de agitación	....	115
10.12	Velocidades mínimas de agitación, de acuerdo a la concentración de suelo, obtenidas mediante la ecuación de Armenante	.....	116

A-1	Datos importantes para el transporte del ácido 2,4-D	139
B-1	Distribución Granulométrica	147
B-2	Primera prueba para la Determinación de Tiempo Óptimo	148
B-3	Segunda Prueba para la Determinación de Tiempo Óptimo	148
B-4	Primera Prueba a 10% Concentración de Suelo, Velocidad Constante	149
B-5	Segunda Prueba a 10% Concentración de Suelo, Velocidad Constante	149
B-6	Primera Prueba a 20% Concentración de Suelo, Velocidad Constante	149
B-7	Segunda Prueba a 20% Concentración de Suelo, Velocidad Constante	150
B-8	Primera Prueba a 30% Concentración de Suelo, Velocidad Constante	150
B-9	Segunda Prueba a 30% Concentración de Suelo, Velocidad Constante	150
B-10	Primera Prueba a 40% Concentración de Suelo, Velocidad Constante	151
B-11	Segunda Prueba a 40% Concentración de Suelo, Velocidad Constante	151
B-12	Primera Prueba Velocidad: 1200 rpm, Concentración Constante: 40% de suelo	152
B-13	Segunda Prueba Velocidad: 1200 rpm, Concentración Constante: 40% de suelo	152

B-14	Primera Prueba Velocidad: 1400 rpm, Concentración	
	Constante: 40% de suelo	152
B-15	Segunda Prueba Velocidad: 1400 rpm, Concentración	
	Constante: 40% de suelo	153
B-16	Primera Prueba Velocidad: 1550 rpm, Concentración	
	Constante: 40% de suelo	153
B-17	Segunda Prueba Velocidad: 1550 rpm, Concentración	
	Constante: 40% de suelo	153
B-18	Primera Prueba Velocidad: 1700 rpm, Concentración	
	Constante: 40% de suelo	154
B-19	Segunda Prueba Velocidad: 1700 rpm, Concentración	
	Constante: 40% de suelo	154
B-20	Consumo de potencia por unidad de volumen en la determinación de tiempo y concentración de lavado	155
B-21	Consumo de potencia por unidad de volumen en la determinación de la velocidad óptima de lavado	156

ÍNDICE DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
5.1 Distribución de Sitios Contaminados en la República Mexicana	19
5.2 Estructura química del ácido 2,4-D.	25
5.3 Estructura química del Dodecil Sulfato de Sodio	29
5.4 Proceso del método de Biorestauración <i>in situ</i> de agua y suelo	34
5.5 Proceso de Biorestauración <i>ex situ</i> en agua y suelo	35
5.6 Proceso de Fito-restauración	39
5.7 Proceso de deshalogenación catalítica	41
5.8 Proceso de restauración de agua contaminada por muros de tratamiento	42
5.9 Proceso de Lavado de Suelos Contaminados	45
5.10 Remolino formado por un impulsor de flujo axial	52
5.11 Remolino formado por un impulsor de flujo radial	52
5.12 Patrón de flujo creado por una turbina de flujo axial en un tanque de agitación con deflectores	53
5.13 Patrón de flujo creado por un impulsor de flujo radial en un tanque de agitación con deflectores	53

5.14	Diseños de turbinas por: Lightnin Co. y Post Mixing Co.	55
5.15	Propela Marina	57
5.16	Impulsor de flujo Axial de paletas inclinadas	57
5.17	Impulsor de Flujo Axial de tres cuchillas con disminución en el ancho y ángulo de cuchillas desde el centro hacia la punta	58
5.18	Impulsor de Flujo Axial de doble espiral	58
5.19	Impulsor de Flujo Radial de Paletas Planas	59
5.20	Turbina de Barras	59
5.21	Impulsor de Tipo Ancla	60
5.22	Montaje típico y patrón de flujo para impulsores de entrada lateral ...	61
5.23	Patrones de flujo; correcto e incorrecto, obtenidos de acuerdo al ángulo de posición del impulsor	62
6.1	Velocidad de agitación suave	66
6.2	Velocidad de agitación moderada	67
6.3	Velocidad de agitación vigorosa	68
6.4	Velocidad de agitación violenta	69
7.1	Equipo de Agitación	81
9.1	Curva de distribución granulométrica	86
9.2	Determinación de tiempo óptimo para el proceso de lavado de suelos contaminados con 2,4-D	88
9.3	Potencias de agitación en la determinación de la concentración óptima de suelo	90

9.4	Energías asociadas al sistema de lavado de suelos para la determinación de concentración óptima de suelo	92
9.5	Determinación de concentración óptima de suelo a velocidad constante (1400 rpm).	94
9.6	Determinación de velocidad óptima de lavado	96
9.7	Energía asociada al sistema de lavado de suelos en la determinación de velocidad óptima de agitación	98
9.8	Porcentaje de remoción obtenido en la determinación de velocidad óptima de agitación	99
10.1	Ejemplo de semejanza geométrica	103
10.2	N_{Re} contra N_Q en relación con la razón del diámetro del impulsor y el diámetro del tanque de agitación D/T	107