



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“EFECTOS DE LOS MEDICAMENTOS CADUCOS  
EN EL PROCESO BIOLÓGICO DE LODOS  
ACTIVADOS”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

**AMBIENTAL- SUSTANCIAS Y RESIDUOS  
PELIGROSOS**

**P R E S E N T A:**

**ING. CIV. EDSON ALBERTO MATIAS GONZÁLEZ**



**T U T O R A:**

**DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ**

**2009**



---

---

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: **Dr. Buitrón Méndez Germán.**

Secretario: **Dr. González Barceló Oscar.**

Vocal: **Dra. Fernández Villagómez Georgina.**

1er. Suplente: **M en C. Romero Mares Patricia.**

2do. Suplente: **Dr. Poggi Varaldo Héctor.**

Lugar donde se realizó la tesis:

**FACULTAD DE INGENIERÍA, U.N.A.M.  
EDIFICIO BERNARDO QUINTANA  
LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL.**

**TUTORA DE TESIS:**

**Dra. Fernández Villagómez Georgina**

---

**FIRMA**



*Dedicatoria*

*Con cariño a mis padres, por darme la vida y su apoyo incondicional en todo momento; gracias por enseñarme a ser una persona de bien, por guiarme por el buen camino de la vida y por enseñarme a ser una persona de valores.*

*Así mismo, agradezco a mi hermano José Luis, por ser el mejor amigo que he tenido en la vida.*

*Espero nunca decepcionarlos.*



## *Agradecimientos*

*Dios Todo poderoso, gracias por acompañarme en esta gran aventura, gracias por ser la presencia activa que me guía, me protege y me ilumina en todo momento, por ello siempre decreto: In manus tuas, Domine, commendo spiritum meum. Redemisti me Domine, Deus veritatis.*

*Alma Mater, gracias por alojarme en tus aulas y brindarme la virtud del conocimiento, así mismo agradezco al CONACYT por el patrocinio brindado.*

*Dra. Georgina Fernández Villagómez, agradezco de todo corazón su apoyo, comprensión, y consejos brindados a lo largo de este tiempo, así mismo agradezco infinitamente a la Mtra. Patricia Romero y Drs. Germán Buitrón, Oscar González y Héctor Poggi, por sus consejos brindados para la elaboración del presente trabajo.*

*Por último, pero no por eso menos importante, agradezco al personal del laboratorio de ingeniería sanitaria y ambiental del edificio Bernardo Quintana y de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria por las facilidades y consejos brindados para el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo.*

*Non Nobis Domine, Non Nobis, Sed Nomine  
Tuo Da Gloriam*



---

---

## ÍNDICE GENERAL

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
<b>LISTA DE TABLAS</b>	
<b>NOMENCLATURA</b>	
<b>RESUMEN</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1.- HISTORIA DE LOS MEDICAMENTOS.	20
1.2.- LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA EN MÉXICO.	21
1.3.- LOS MEDICAMENTOS CADUCOS EN MÉXICO, SITUACIÓN ACTUAL.	23
1.3.1.- SITUACIONES ESPECIALES DE DISPOSICIÓN.	25
1.3.2.- RUTA DE LOS MEDICAMENTOS CADUCOS DENTRO DE AMBIENTES ACUÁTICOS.	26
1.3.3.- PERCEPCIÓN DE RIESGO AMBIENTAL.	27
1.4.- DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.	33
1.5.- HIPÓTESIS DE TRABAJO.	33
1.6.- OBJETIVO GENERAL.	33
1.7.- OBJETIVOS PARTICULARES.	33
1.8.- ALCANCES.	34
<b>II. MARCO NORMATIVO</b>	
2.1.- MARCO NORMATIVO EN MÉXICO.	36
2.2.- MARCO NORMATIVO EN ARGENTINA.	38
2.3.- MARCO NORMATIVO EN ESTADOS UNIDOS.	38
2.4.- MARCO NORMATIVO EN VENEZUELA.	39
<b>III. SELECCIÓN DEL MEDICAMENTO A UTILIZAR</b>	
3.1.- SELECCIÓN DEL MEDICAMENTO A UTILIZAR.	41
3.2.- CARACTERÍSTICAS DEL MEDICAMENTO A UTILIZAR.	41



<b>IV. METODOLOGÍA</b>	
<b>IV.I. DISEÑO DEL EXPERIMENTO</b>	
4.1.1.- DEFINICIÓN DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL.	45
4.1.2.- DEFINICIÓN DE LA VARIABLE DE RESPUESTA.	46
4.1.3.- DEFINICIÓN DE FACTORES Y NIVELES.	46
4.1.4.- DISEÑO EXPERIMENTAL.	46
<b>IV.II. PARÁMETROS A ANALIZAR</b>	
4.2.1.- SELECCIÓN DE PARÁMETROS.	48
4.2.2.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.	48
4.2.3.- PARÁMETROS BIOLÓGICOS.	49
4.2.4.- PARÁMETROS CINÉTICOS.	49
4.2.5.- ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODO.	51
4.2.6.- VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO.	51
4.2.7.- RELACIÓN ALIMENTO/MICROORGANISMOS.	52
4.2.8.- TASA DE CONSUMO DE SUSTRATO.	52
4.2.9.- TASA ESPECÍFICA DE CONSUMO DE SUSTRATO.	53
4.2.10.- CONSTANTE DE CONSUMO DE SUSTRATO .	54
4.2.11.- TASA DE CONSUMO DE OXÍGENO.	55
4.2.12.- TASA ESPECÍFICA DE CONSUMO DE OXÍGENO.	55
4.2.13.- CONSTANTE DE CONSUMO DE OXÍGENO.	56
<b>IV.III. MONTAJE DEL EXPERIMENTO</b>	
4.3.1.- MONTAJE DEL EXPERIMENTO.	56
4.3.2.- OBTENCIÓN DE AGUA RESIDUAL.	57
4.3.3.- OBTENCIÓN DE BIOMASA.	57
4.3.4.- OPERACIÓN DEL REACTOR.	58



## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1.- RESULTADOS.	60
5.1.1.- RESUMEN DE LA DINÁMICA DE LOS DIVERSOS PARÁMETROS ANALIZADOS.	60
5.1.2.- RESUMEN DE LA DINÁMICA DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA SELECCIONADAS.	62
5.1.3.- RESUMEN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.	64
5.2.- DISCUSIÓN.	65
5.2.1.- VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO.	65
5.2.2.- CONCENTRACIÓN SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN EL LICOR DE MEZCLA	68
5.2.3.- CONCENTRACIÓN SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN EL LICOR DE MEZCLA.	70
5.2.4.- EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA MEDIDA COMO DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO.	71
5.2.5.- TASA DE CONSUMO DE OXÍGENO.	73
5.2.6.- TASA DE CONSUMO DE SUSTRATO.	74
5.2.7.- TASA ESPECÍFICA DE CONSUMO DE OXÍGENO.	76
5.2.8.- TASA ESPECÍFICA DE CONSUMO DE SUSTRATO.	77

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.- CONCLUSIONES .	80
6.2.- RECOMENDACIONES.	81

### ANEXOS

A.1.- ANÁLISIS MICROSCÓPICO	83
A.2.- PARÁMETROS (VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO Y SÓLIDOS PRESENTES EN EL LICOR DE MEZCLA) CORRESPONDIENTES A LA CELDA TESTIGO.	92
A.3.- PARÁMETROS (VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO Y SÓLIDOS PRESENTES EN EL LICOR DE MEZCLA) CORRESPONDIENTES A LA CELDA PARA DOSIS 1. (REPETICIÓN 1).	93
A.4.- PARÁMETROS (VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO Y SÓLIDOS PRESENTES EN EL LICOR DE MEZCLA) CORRESPONDIENTES A LA CELDA PARA DOSIS 2. (REPETICIÓN 1).	96



---

---

A.5.- PARÁMETROS (VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO Y SÓLIDOS PRESENTES EN EL LICOR DE MEZCLA) CORRESPONDIENTES A LA CELDA PARA DOSIS 3. (REPETICIÓN 1). 99

A.6.- PARÁMETROS (VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO Y SÓLIDOS PRESENTES EN EL LICOR DE MEZCLA) CORRESPONDIENTES A LA CELDA PARA DOSIS 1. (REPETICIÓN 2). 102

A.7.- PARÁMETROS (VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO Y SÓLIDOS PRESENTES EN EL LICOR DE MEZCLA) CORRESPONDIENTES A LA CELDA PARA DOSIS 2. (REPETICIÓN 2). 105

A.8.- PARÁMETROS (VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO Y SÓLIDOS PRESENTES EN EL LICOR DE MEZCLA) CORRESPONDIENTES A LA CELDA PARA DOSIS 3. (REPETICIÓN 2). 108

A.9.- DIAGRAMAS DE VARIABILIDAD DE LOS DIVERSOS PARÁMETROS ANALIZADOS. 111

## **GLOSARIO**

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## **REFERENCIAS ELECTRÓNICAS**





LISTA DE FIGURAS

No.	Titulo	Pag.
1.1	Producción (cuantitativa) de medicamentos en México	22
1.2	Producción (económica) de medicamentos en México	22
1.3	Percepción de riesgo ambiental	29
1.4	Método de disposición más utilizado	30
1.5	Medicamentos más susceptibles a ser desechados a la "basura"	30
1.6	Medicamentos más susceptibles a ser desechados al "drenaje"	31
1.7	Medicamentos más susceptibles para ser desechados "regresándolos a la farmacia"	31
1.8	Medicamentos más susceptibles para ser desechados "regresándolos al fabricante"	32
1.9	Medicamentos más susceptibles para ser desechados mediante "otro" método	32
2.1	Estructura Normativa en México	36
3.1	Estructura química de tiamina	42
3.2	Estructura química de piridoxina	42
3.3	Estructura química de cianocobalamina	43
4.1	Diagrama de la unidad experimental a utilizar	45
4.2	Representación de $q$ en función de $Se$ en presencia de materia biodegradable	54
4.3	Unidad experimental	57
4.4	Proceso de obtención de lodos activados (cribado de la muestra)	58
4.5	Puesta en marcha de la unidad experimental	58
5.1	Dinámica de la concentración de oxígeno disuelto durante el ensayo de respiración correspondiente a la dosis 1 de complejo B, repetición 1.	65
5.2	Dinámica de la concentración de oxígeno disuelto durante el ensayo de respiración correspondiente a la dosis 1 de complejo B, repetición 2.	66
5.3	Dinámica de la concentración de oxígeno disuelto durante el ensayo de respiración correspondiente a la dosis 2 de complejo B, repetición 1.	66



5.4	Dinámica de la concentración de oxígeno disuelto durante el ensayo de respiración correspondiente a la dosis 2 de complejo B, repetición 2.	67
5.5	Dinámica de la concentración de oxígeno disuelto durante el ensayo de respiración correspondiente a la dosis 3 de complejo B, repetición 1.	67
5.6	Dinámica de la concentración de oxígeno disuelto durante el ensayo de respiración correspondiente a la dosis 3 de complejo B, repetición 2.	68
5.7	Dinámica de la concentración de lodo, correspondiente a la repetición 1.	69
5.8	Dinámica de la concentración de lodo, correspondiente a la repetición 2.	69
5.9	Dinámica de la concentración de biomasa, correspondiente a la repetición 1.	70
5.10	Dinámica de la concentración de biomasa correspondiente a la repetición 2.	71
5.11	Dinámica de la eficiencia de remoción de materia orgánica medida como demanda biológica de oxígeno, correspondiente a la repetición 1.	72
5.12	Dinámica de la eficiencia de remoción de materia orgánica medida como demanda biológica de oxígeno, correspondiente a la repetición 2.	72
5.13	Dinámica de la tasa de consumo de oxígeno correspondiente a la repetición 1.	73
5.14	Dinámica de la tasa de consumo de oxígeno correspondiente a la repetición 2.	74
5.15	Dinámica de la tasa de consumo de sustrato correspondiente a la repetición 1.	75
5.16	Dinámica de la tasa de consumo de sustrato correspondiente a la repetición 2.	75
5.17	Dinámica de la tasa específica de consumo de oxígeno correspondiente a la repetición 1.	76
5.18	Dinámica de la tasa específica de consumo de oxígeno correspondiente a la repetición 2.	77
5.19	Dinámica de la tasa específica de consumo de sustrato correspondiente a la repetición 1.	78
5.20	Dinámica de la tasa específica de consumo de sustrato correspondiente a la repetición 2.	78
A.1.1.1	Microflora típica presente en el licor de mezcla (celda testigo)	83



A.1.1.2	Microflora típica presente en el licor de mezcla (celda testigo)	84
A.1.2.1	Microflora típica presente en el licor de mezcla (dosis 1, repetición 1, estabilización)	85
A.1.2.2	Microflora típica presente en el licor de mezcla (dosis 1, repetición 1, estabilización)	85
A.1.2.3	Microflora típica presente en el licor de mezcla (dosis 1, repetición 1, efectos a las 24 horas)	86
A.1.2.4	Microflora típica presente en el licor de mezcla (dosis 1, repetición 1, efectos a las 24 horas)	86
A.1.3.1	Microflora típica presente en el licor de mezcla (dosis 2, repetición 1, estabilización)	87
A.1.3.2	Microflora típica presente en el licor de mezcla (dosis 2, repetición 1, estabilización)	88
A.1.3.3	Microflora típica presente en el licor de mezcla (dosis 2, repetición 1, efectos a las 24 horas)	88
A.1.3.4	Microflora típica presente en el licor de mezcla (dosis 2, repetición 1, efectos a las 24 horas)	89
A.1.4.1	Microflora típica presente en el licor de mezcla (dosis 3, repetición 1, estabilización)	90
A.1.4.2	Microflora típica presente en el licor de mezcla (dosis 3, repetición 1, estabilización)	90
A.1.4.3	Microflora típica presente en el licor de mezcla (dosis 3, repetición 1, efectos a las 24 horas)	91
A.1.4.4	Microflora típica presente en el licor de mezcla (dosis 3, repetición 1, efectos a las 24 horas)	91
A.9.1	Diagrama de variabilidad correspondiente a la velocidad de consumo de oxígeno (VCO)	111
A.9.2	Diagrama de variabilidad correspondiente a la concentración de sólidos suspendidos totales del licor de mezcla (SSTLM)	111
A.9.3	Diagrama de variabilidad correspondiente a la concentración de sólidos suspendidos volátiles del licor de mezcla (SSVLM)	112
A.9.4	Diagrama de variabilidad correspondiente a la eficiencia de remoción de materia orgánica medida como demanda biológica de oxígeno	112
A.9.5	Diagrama de variabilidad correspondiente a la tasa de consumo de oxígeno	113
A.9.6	Diagrama de variabilidad correspondiente a la tasa de consumo de sustrato	113
A.9.7	Diagrama de variabilidad correspondiente a la tasa específica de consumo de oxígeno	114
A.9.8	Diagrama de variabilidad correspondiente a la tasa específica de consumo de sustrato	114



LISTA DE TABLAS

No.	Titulo	Pag.
1.1	Historia de los medicamentos	20
1.2	Producción de medicamentos en México	21
1.3	Venta de medicamentos más comunes en México, durante el periodo de diciembre de 2005 a diciembre de 2006.	23
2.1	Legislación aplicable en México en materia de medicamentos caducos	37
2.2	Legislación aplicable en Argentina en materia de medicamentos caducos	38
2.3	Legislación aplicable en Estados Unidos en materia residuos peligrosos	38
2.4	Legislación aplicable en Venezuela en materia de medicamentos caducos	39
3.1	Composición del medicamento a utilizar	41
4.1	Factor y niveles del experimento	46
4.2	Estructura del experimento	46
4.3	Asignación de las unidades experimentales a los diversos tratamientos	47
4.4	Legislación aplicable en México en materia de calidad de agua residual	48
4.5	Parámetros físicos a analizar	49
4.6	Parámetros químicos a analizar	49
4.7	Parámetros biológicos	49
4.8	Parámetros cinéticos	50
4.9	Resumen de parámetros a analizar	50
5.1	Resultados de los diversos parámetros analizados correspondientes a la primera repetición	60
5.2	Resultados de los diversos parámetros analizados correspondientes a la segunda repetición	61
5.3	Valor medio de las observaciones de las variables de respuesta (TECO y q) y de las variables comparativas	63
5.4	Significancia observada en cada prueba estadística	64
5.5	Observaciones de las variables (transformadas)	64
A.2.1	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (testigo)	92
A.2.2	Sólidos presentes en el licor de mezcla (testigo)	92
A.3.1	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 1, repetición 1, estabilización)	93



A.3.2	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 1, repetición 1, estabilización)	93
A.3.3	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 1, repetición 1, efectos a las 8 horas)	94
A.3.4	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 1, repetición 1, efectos a las 8 horas)	94
A.3.5	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 1, repetición 1, efectos a las 24 horas)	95
A.3.6	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 1, repetición 1, efectos a las 24 horas)	95
A.4.1	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 2, repetición 1, estabilización)	96
A.4.2	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 2, repetición 1, estabilización)	96
A.4.3	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 2, repetición 1, efectos a las 8 horas)	97
A.4.4	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 2, repetición 1, efectos a las 8 horas)	97
A.4.5	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 2, repetición 1, efectos a las 24 horas)	98
A.4.6	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 2, repetición 2, efectos a las 24 horas)	98
A.5.1	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 3, repetición 1, estabilización)	99
A.5.2	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 3, repetición 1, estabilización)	99
A.5.3	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 3, repetición 1, efectos a las 8 horas)	100
A.5.4	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 3, repetición 1, efectos a las 8 horas)	100
A.5.5	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 3, repetición 1, efectos a las 24 horas)	101
A.5.6	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 3, repetición 1, efectos a las 24 horas)	101
A.6.1	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 1, repetición 2, estabilización)	102
A.6.2	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 1, repetición 2, estabilización)	102



A.6.3	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 1, repetición 2, efectos a las 8 horas)	103
A.6.4	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 1, repetición 2, efectos a las 8 horas)	103
A.6.5	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 1, repetición 2, efectos a las 24 horas)	104
A.6.6	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 1, repetición 2, efectos a las 24 horas)	104
A.7.1	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 2, repetición 2, estabilización)	105
A.7.2	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 2, repetición 2, estabilización)	105
A.7.3	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 2, repetición 2, efectos a las 8 horas)	106
A.7.4	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 2, repetición 2, efectos a las 8 horas)	106
A.7.5	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 2, repetición 2, efectos a las 24 horas)	107
A.7.6	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 2, repetición 2, efectos a las 24 horas)	107
A.8.1	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 3, repetición 2, estabilización)	108
A.8.2	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 3, repetición 2, estabilización)	108
A.8.3	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 3, repetición 2, efectos a las 8 horas)	109
A.8.4	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 3, repetición 2, efectos a las 8 horas)	109
A.8.5	Velocidad de consumo de oxígeno media registrada (Dosis 3, repetición 2, efectos a las 24 horas)	110
A.8.6	Sólidos presentes en el licor de mezcla (Dosis 3, repetición 2, efectos a las 24 horas)	110



---

---

## NOMENCLATURA

**a.-** Constante de consumo de oxígeno para efectuar el metabolismo energético.

**A/M.-** Relación alimento: microorganismos.

**CFR.-** Código Federal de Regulaciones.

**DBO.-** Demanda biológica de oxígeno.

**IVL.-** Índice volumétrico de lodo.

**k.-** Constante de consumo de sustrato.

**L.-** Litro.

**mg.-** Miligramo.

**min.-** Minuto.

**O<sub>2</sub>-** Oxígeno disuelto.

**q.-** Tasa específica de consumo de sustrato.

**S<sub>e</sub>-** Demanda biológica de consumo de oxígeno del efluente.

**S<sub>o</sub>-** Demanda biológica de consumo de oxígeno del influente.

**SDF.-** Sólidos disueltos fijos presentes en el licor de mezcla.

**SDT.-** Sólidos disueltos totales presentes en el licor de mezcla.

**SDV.-** Sólidos disueltos volátiles presentes en el licor de mezcla.

**STF.-** Sólidos totales fijos presentes en el licor de mezcla.



**STT.-** Sólidos totales presentes en el licor de mezcla.

**STV.-** Sólidos totales volátiles presentes en el licor de mezcla.

**SSF.-** Sólidos suspendidos fijos presentes en el licor de mezcla.

**SST.-** Sólidos suspendidos totales presentes en el licor de mezcla.

**SSV.-** Sólidos suspendidos volátiles presentes en el licor de mezcla.

**SSVLM.-** Sólidos suspendidos volátiles presentes en el licor de mezcla.

**TCO.-** Tasa de consumo de oxígeno, que por sus siglas en ingles se denomina OUR (Oxygen Uptake Rate).

**TCS.-** Tasa de consumo de sustrato.

**TECO.-** Tasa específica de consumo de oxígeno, que por sus siglas en ingles se denomina SOUR (Specific Oxygen Uptake Rate).

**VCO.-** Velocidad de consumo de oxígeno.

$\alpha$ .- Nivel de significancia estadística.





---

---

## RESUMEN

En México, el Centro Nacional de Prevención de Desastres en su afán de regularizar la disposición de medicamentos caducos acumulados en situaciones de emergencia emitió la Guía para la disposición segura de medicamentos caducos acumulados en situaciones de emergencia siguiendo las recomendaciones emitidas por la Organización Mundial de la Salud.

En mencionados lineamientos, se indica al drenaje sanitario como método de disposición segura, sin embargo, no indican las concentraciones o cantidades de medicamentos caducos a desechar al drenaje, provocando con ello descargas indiscriminadas y posibles problemas ambientales (riesgos a las plantas de tratamiento de aguas residuales y contaminantes emergentes).

Por ello, en este trabajo se evaluaron los efectos de los medicamentos caducos (complejo B) en el proceso biológico de lodos activados utilizando modelos a nivel de laboratorio (celdas tipo Eckenfelder); considerando diversos parámetros físicos, químicos, biológicos y cinéticos, tales como: demanda biológica de oxígeno, sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla, tasa específica de consumo de oxígeno, tasa específica de consumo de sustrato, eficiencia de remoción de materia orgánica medida como demanda biológica de consumo de oxígeno, índice volumétrico de lodo, velocidad de consumo de oxígeno.

Se observó que existe un efecto inhibitorio por parte de la vitamina complejo B; ya que se logró observar; que para un tiempo de retención hidráulico de 8 horas, y una dosis de 100 mg/L de tiamina, 5 mg/L de piridoxina y 50 µg/L de cianocobalamina se presenta una disminución de 5% y 3% aproximadamente en la eficiencia de remoción de materia orgánica medida como demanda biológica de oxígeno (tanto en la primera como en la segunda repetición), así como una disminución de 95% y 30% aproximadamente en la concentración de sólidos suspendidos volátiles presentes en el licor de mezcla medidos tanto en la primera como en la segunda repetición.

Finalmente, la posible descarga de grandes cantidades de complejo B caduco en las aguas residuales que llegan a una planta de tratamiento afecta de manera desfavorable la tasa específica de consumo de oxígeno así como la tasa específica de consumo de sustrato de los microorganismos presentes en el tanque del proceso biológico de lodos activados.



---

---

## ABSTRACT

In Mexico, the National Center for Disasters Prevention in its desire of regularizing the disposition of expired drugs accumulated in emergency situations emitted the Guide for the sure disposition of expired drugs accumulated in emergency situations following the recommendations emitted by the World Organization of the Health.

In mentioned limits, it is indicated to the sewer as method of sure disposition, however, they don't indicate the concentrations or quantities of expired drugs to discard to the drainage, causing indiscriminate discharge and possible environmental problems (risks to the plants of treatment of waste waters and emergent pollutants).

For this reason, in this work the effects of the expired drugs were evaluated (vitamin complex B) in the biological process of activated sludge using models at laboratory level (cells type Eckenfelder); considering diverse physical, chemical, biological and kinetic parameters, such as: biological oxygen demand, mixed liquor volatile suspended solids, specific oxygen uptake rate, specific substrate uptake rate, efficiency of removal of matter organic measure as biological oxygen demand, sludge index volumetric, speed of oxygen uptake.

It was observed that an effect inhibitory exists on the part of the vitamin complex B; since it was possible to observe; for a hydraulic retention time of 8 hours, and a dose of 100 mg/L of thiamine, 5 mg/L of pyridoxine and 50 µg/L of cyanocobalamin it is presented a decrease of 5% and 3% approximately in the efficiency of removal of matter organic measure as biological oxygen demand (as much in the first one as in the second repetition), as well as a decrease of 95% and 30% approximately in the concentration of mixed liquor volatile suspended solids measured as much in the first one as in the second repetition.

Finally, the possible discharge of big quantities of expired vitamin complex B in the waste waters that arrive to a treatment plant it affects in an unfavorable way the specific oxygen uptake rate and the specific substrate uptake rate of the present microorganisms in the tank of the biological process of activated sludge.



# Capítulo I

## INTRODUCCIÓN



## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1.- HISTORIA DE LOS MEDICAMENTOS.

Los medicamentos son parte del devenir de la humanidad, ya que desde siempre, el ser humano buscó una explicación a los fenómenos y una solución a sus males. El pensamiento mágico, más acentuado en las tribus y en las más antiguas civilizaciones, hizo importante el poder de los conjuros y la influencia de los dioses sobre las pócimas. (Jácome, 2003)

Es así, que la historia moderna de los medicamentos se desarrolla con Paracelso (año 1493), pasando por Karl Scheele (año 1773), Sertürner (año 1806), Hoffman año (1897), Banting y Best (1921), Alexander Fleming (año 1928) y Howard Florey y Boris Chain (año 1939) y en 1943 durante la Segunda Guerra Mundial se inicia la industrialización de los medicamentos; como se muestra a continuación en la Tabla 1.1. (Modificado de Jácome, 2003)

**Tabla 1.1**  
**Historia de los medicamentos**

<b>Año (d.C.)</b>	<b>Acontecimiento</b>
1493	Paracelso introduce algunas sustancias inorgánicas en terapéutica.
1773	Karl Scheele descubre los ácidos grasos de las plantas.
1806	Frederick Sertürner obtiene la morfina.
1897	Félix Hoffman desarrolla el ácido salicílico (aspirina)
1921	Frederick Banting y Charles Best asimilan la insulina.
1928	Alexander Fleming descubre la penicilina
1939	Howard Florey asimila y purifica la penicilina.
1943	Con la Segunda Guerra Mundial se inicia la industrialización de los medicamentos



## 1.2.- LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA EN MÉXICO.

Actualmente en México, la industria farmacéutica ocupa un lugar preponderante para el desarrollo de la economía y salud del país; ya que dicho ramo reportó durante el último Censo Económico (emitido en el año 2004) efectuado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática una producción total a nivel nacional de 88'547,254 (miles de pesos), ver Tabla 1.2.

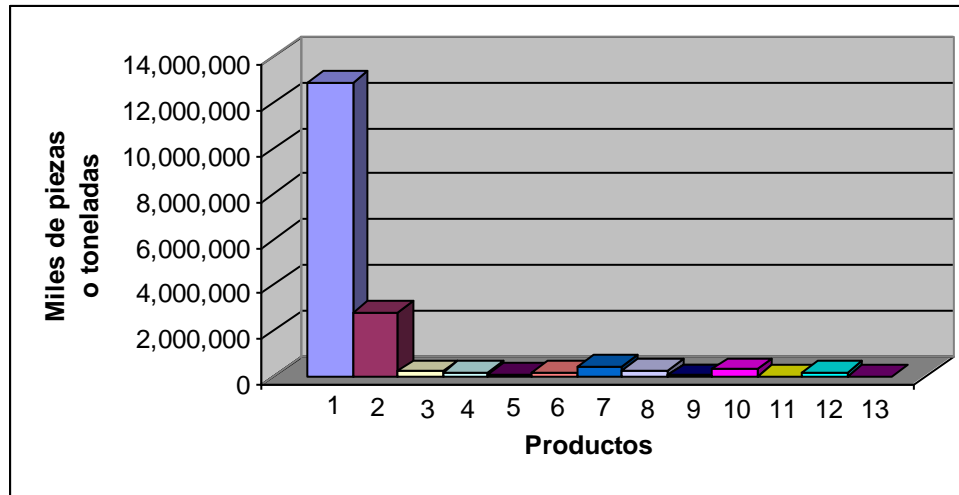
**Tabla 1.2**  
**Producción de medicamentos en México**

No.	Clase de actividad, familia y productos elaborados	Producción		Producción	
		Unidad de Medida	Cantidad	Unidad de medida	Cantidad
1	Producción de medicamentos de uso humano con acción específica	Miles de Piezas	12,875,759	Miles de pesos	27,356,765
2	Medicamentos de uso humano con acción especializada	Miles de Piezas	2,814,624	Miles de pesos	43,396,607
3	Anticonceptivos	Miles de Piezas	201,699	Miles de pesos	1,159,615
4	Hormonas	Miles de Piezas	141,983	Miles de pesos	2,514,928
5	Vacunas	Piezas	69,167	Miles de pesos	187,492
6	Otros tipos de medicamentos de uso humano	Toneladas	184,222	Miles de pesos	606,150
7	Complementos alimenticios	Toneladas	425,494	Miles de pesos	5,052,366
8	Medicamentos de uso veterinario	Miles de Piezas	267,907	Miles de pesos	2,177,249
9	Otros productos de uso veterinario	Miles de Piezas	31,157	Miles de pesos	655,268
10	Productos de uso humano no terapéuticos	Miles de Piezas	287,197	Miles de pesos	2,024,936
11	Productos elaborados para formulaciones farmacéuticas	-----	-----	Miles de pesos	569,096
12	Vitaminas para uso humano	Miles de Piezas	189,707	Miles de pesos	2,443,076
13	Otros productos	-----	-----	Miles de pesos	376,706

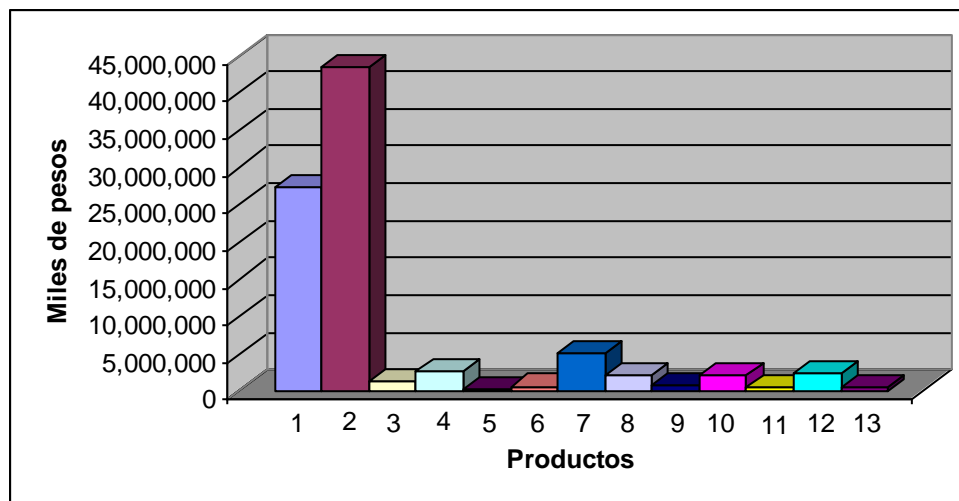
(INEGI, 2004)



Las Figuras 1.1 y 1.2 ilustran la información mostrada en la tabla anterior de forma más detallada, donde se observa que la producción de medicamentos de uso humano con acción específica representa una mayor producción (cuantitativa) que los demás productos elaborados, así mismo, los medicamentos de uso humano con acción especializada son los que reportan una mayor producción (económica).



**Fig. 1.1**  
**Producción (cuantitativa) de medicamentos en México**  
(INEGI, 2004)



**Fig. 1.2**  
**Producción (económica) de medicamentos en México**  
(INEGI, 2004)

Así mismo, el mercado nacional mexicano registra una venta de medicamentos al por menor de 8,087 millones de dólares, tal como lo indica Tabla No. 1.3.



Tabla No. 1.3  
Venta de medicamentos más comunes en México,  
durante el periodo de diciembre de 2005 a diciembre de 2006.

Medicamento o acción terapéutica	Venta Registrada (Millones de dólares)	Incremento de venta al por menor
Cardiovascular	780	14
Sistema nervioso central	1,002	9
Tracto Alimentario	1,583	13
Respiratorio	842	-5
Antiinfeccioso sistémico	1,063	-1
Músculo-esquelético	662	11
Antineoplástico + antiinmunológico	62	11
Hormonas sexuales	651	14
Agentes sanguíneos	155	9
Dermatológicos	461	11
Órgano sensorial	188	9
Agentes para diagnóstico	22	15
Hormonas sistemáticas	166	17
Otros vehículos	385	15
Soluciones hospitalarias	9	-10
Parasitología	63	7
<b>Total</b>	<b>8,087</b>	<b>8</b>

(Modificada: IMS, 2006)

### 1.3.- LOS MEDICAMENTOS CADUCOS EN MÉXICO, SITUACIÓN ACTUAL.

Como se observó, la industria farmacéutica juega un papel primordial para el desarrollo del país, desafortunadamente, a diario, cientos de medicamentos que ya no son utilizados en las casas, consultorios o farmacias van a dar al drenaje municipal o a la basura; lo que representa un grave riesgo de contaminación ambiental, en virtud de que se puede generar resistencia microbiana (en el caso de antibióticos y agentes antimicrobianos), desencadenar alergias, intoxicar a la fauna y contaminar los mantos acuíferos. (Gómez, 2007)

Lo anterior posiblemente se deba a que la mayoría de los fármacos que se expenden en cápsulas o comprimidos suelen retener entre el 70 y el 80% de su potencia original por unos 10 años si se les mantienen en su envase o contenedor original, en condiciones adecuadas de conservación (temperatura no superior a 25° C y sin luz directa); ello a que existen estudios que demuestran que algunos medicamentos caducos pierden potencia a lo largo del tiempo, desde sólo el 5 al 50 por ciento o más (aunque la mayor parte de las veces mucho menos del 50%). Incluso 10 años después de la fecha de caducidad, la mayor parte de los medicamentos tienen todavía mucha de su potencia. (Debesa *et. al.*, 2004)



Así mismo, representa un grave problema social, ya que los medicamentos caducos que van a dar al depósito municipal de basura son recolectados, manipulados, consumidos y vendidos sin ningún control sanitario al público en general, lo que fomenta el crecimiento de la venta ilegal de medicamentos, y es que la población en su afán de conseguir estas sustancias a un menor costo los adquieren en tianguis y en el mercado informal, lo que representa un grave riesgo para la salud ya que al tratarse de medicamentos caducos o robados sin un manejo adecuado pueden llegar a ser altamente tóxicos y provocar efectos adversos desde leves hasta la muerte. (Simón, 2005)

Aunado a lo anterior, la venta anual de medicamentos de manera ilegal o “pirata” en México representa un problema empresarial, ya que dicha venta varía entre 850 y mil 700 millones de dólares, lo que significa entre 10 y 20 por ciento de las ventas del mercado legal. (NOTIMEX, 2007)

Todo ello, debido al manejo inadecuado de estos residuos, ya que en México solamente 30% de las medicinas que caducan son destruidas conforme a las normas internacionales. (Gómez, 2007)

Lo anterior se debe a que la legislación mexicana no obliga al sector farmacéutico a tratar este tipo de residuos, es decir, este sector industrial no cumple con uno de los principios éticos sociales más importantes, el de la *responsabilidad*, mismo que indica lo siguiente: *aquél que produce un daño a otra persona o a la sociedad en su conjunto, deberá compensar los daños que produce, es decir, “quien contamina paga”*. Los gastos derivados de un determinado daño ambiental deberán pagarlos aquél que lo produce y no deben recaer sobre terceras personas. Este principio está presente en todo derecho internacional y muy especialmente en la política ambiental internacional y en la particular de muchos países. (Crespo *et. al.*, 2006)

Por ello, la Comisión Dictaminadora del Senado de la República de la LX Legislatura del H. Congreso de la Unión considera necesario señalar que las medicinas caducas representan un serio problema para el país, ya que conforme a los datos manejados por la Asociación Nacional de Farmacias de México (ANAFARMEX), de la cantidad total de medicamentos producidos al año, 10 por ciento caducan en ese mismo periodo. De estas, 60 por ciento son sometidas a un proceso de manejo de residuos farmacéuticos, mientras el 40 por ciento restante se queda en las farmacias y en los hogares de los pacientes, situación que propicia que éstas sean desechadas de manera inadecuada y, por lo tanto, originen los problemas antes mencionados relacionados con su comercialización ilegal y contaminación, constituyéndose así en un importante riesgo sanitario para la población de México. (Senado de la República, 2006)





### 1.3.1.- SITUACIONES ESPECIALES DE DISPOSICIÓN.

Como se mencionó en el apartado anterior, actualmente en México (y también en otros países en vías de desarrollo) se disponen de manera incorrecta los medicamentos caducos (generados en los hogares, consultorios, etc.); pero existe una situación preocupante y alarmante a nivel mundial, y es la debida a la disposición inadecuada de grandes cantidades de medicamentos caducos durante situaciones de emergencia.

Es decir; la población en su afán de apoyar las acciones humanitarias durante situaciones de emergencia, proporciona medicamentos que presentan una fecha de caducidad muy próxima o incluso, ya caducos, generando de esta manera problemas para su disposición, en virtud de que se recolectan grandes cantidades de medicamentos caducos. A continuación se presentan algunos de los tantos casos registrados (OMS, 1999):

**Eritrea (1989).**- Durante la guerra de independencia, y pese a la cuidadosa redacción de las solicitudes, se recibieron numerosos donativos inapropiados. A título de ejemplo cabe citar: siete camiones cargados de tabletas de aspirina caducadas a cuya incineración hubo que dedicar seis meses; un contenedor completamente lleno de medicamentos de acción cardiovascular que no habían sido solicitados y cuyo plazo de conservación caducaba a los dos meses; y 30 000 botellas de medio litro de una infusión de aminoácidos caducada que no hubo forma de evacuar en los alrededores de un asentamiento a causa del olor.

**Federación de Rusia (1992).**- La producción farmacéutica rusa ha disminuido muy por debajo del nivel alcanzado en 1990, por lo que las autoridades acogen de buen grado los donativos de medicamentos. Sin embargo, el entusiasmo inicial se ha desvanecido algo al conocerse la naturaleza de algunos de esos donativos. Entre los ejemplos de artículos donados cabe citar: 189 000 frascos de jarabe contra la tos a base de dextrometorfán; pentoxifilina y clonidina como únicos fármacos antihipertensivos; triantereno y espironolactona como diuréticos; enzimas pancreáticas y preparaciones de bismuto como únicos fármacos de acción gastrointestinal.

**Ex Yugoslavia (1994, 1995).**- De todos los medicamentos donados en 1994 a la oficina de campo establecida por la OMS en Zagreb, el 15% era totalmente inapropiado para el uso y el 30% era innecesario. A fines de 1995 había en un almacén de Mostar 340 toneladas de medicamentos caducados, la mayor parte de los cuales habían sido donados por diferentes países europeos



**Rwanda (1994).**- Se donaron grandes cantidades de un antibiótico de avanzada a campos de refugiados en Rwanda. La donación se efectuó a granel por conducto de instituciones benéficas. El personal local que se ocupaba de los refugiados no estaba acostumbrado a utilizar el fármaco; la mayor parte del donativo fue retirado; el resto creó problemas de eliminación.

Por ello, el Centro Nacional de Prevención de Desastres, en base a la información de la Organización Mundial de la Salud, emitió la **“Guía para la disposición segura de medicamentos caducos acumulados en situaciones de emergencia”**, misma que aprueba como método de disposición final el descargar al drenaje diversos tipos de medicamentos, tales como jarabes, soluciones intravenosas, vitaminas, antibióticos, lípidos, etc. Desafortunadamente dicho documento no menciona nada con respecto a las concentraciones o cantidades permisibles a desechar, lo que provoca que sean descargadas indiscriminadamente al drenaje grandes cantidades de medicinas; sin embargo, éste método de disposición conlleva a otros problemas ambientales (mismos que han sido recientemente detectados), tales como los que se mencionan en el apartado 1.3.2.

### **1.3.2.- RUTA DE LOS MEDICAMENTOS CADUCOS DENTRO DE AMBIENTES ACUÁTICOS.**

Principalmente, existen dos destinos o caminos principales de los fármacos dentro de ambientes acuáticos; el primero de ellos es pensado por el **uso normal de las medicinas**, y el segundo es pensado por la **disposición de medicamentos sin uso o caducos**. (Ahel *et.al.*, 2008, Al-Ahmad *et.al.*, 1999, Al-Ahmad *et.al.*, 2000, Bagnati *et.al.*, 2004, Bonerz *et.al.*, 2004., Bound *et.al.*, 2006, Bound *et. al.*, 2006, Clara *et.al.*, 2005, Ellis J.B., 2006, Jones *et.al.*, 2002, Kronberg *et.al.*, 2007, Kummerer *et.al.*, 2004); mismas que a continuación se analizan:

**a).- Uso normal de las medicinas.-** Cuando una medicina es ingerida, una porción del ingrediente activo pasa por el cuerpo sin ningún cambio. La cantidad excretada es dependiendo el tipo de medicamento y del paciente. Ésta entonces viaja por el sistema de drenaje llegando a la planta de tratamiento de aguas residuales; donde algo del activo es removido por el proceso de tratamiento (de nuevo, esto varía dependiendo del tipo de medicamento y facilidades de tratamiento) antes de la descarga del efluente final al interior de cuerpos de aguas receptores.

**b).- Disposición de medicamentos sin uso o caducos.-** En algunos países (Reino Unido, p ej.) las instrucciones de los fabricantes usualmente recomiendan que los pacientes regresen las medicinas no usadas a las farmacias; sin embargo son dispuestas junto con los residuos domésticos, siendo común que sean eliminados a través del fregadero o drenaje. Las medicinas así dispuestas entran a la corriente de aguas residuales domésticos, llegando a las



plantas de tratamiento en una forma no modificada, es decir, sin tener metabolismo en el cuerpo y puede por consiguiente contribuir a la contaminación desproporcionada del ambiente.

### 1.3.3.- PERCEPCIÓN DE RIESGO AMBIENTAL.

Como se mencionó en el apartado 1.3, actualmente en México, cientos de medicamentos sin uso van a dar al drenaje municipal o la basura, por tal motivo se efectuó la encuesta titulada **“Encuesta sobre riesgo ambiental”** con el objeto de determinar la percepción de riesgo ambiental que presenta la comunidad con respecto a los medicamentos caducos, así como determinar el tipo de medicamento más susceptible a caducar en los hogares.

Cabe hacer mención, que el método utilizado para efectuar mencionada encuesta fue del tipo *entrevista personal*, y el muestreo fue del tipo *irrestricta aleatoria*, ya que no se llevó a cabo una estratificación de la población encuestada, por ello, los puntos de muestreo fueron centros (sin estratificación) de aglomeración de elementos (personas), entre los cuales se puede citar la Plaza del Zócalo de la Ciudad de México.

Para tratar de minimizar los errores del tipo *no de muestreo* (no respuesta, respuesta inexacta y/o sesgo de selección), la encuesta se diseñó con preguntas abiertas y cerradas, distribuidas en 5 campos fundamentales, mismos que se muestran a continuación, cabe hacer mención, que la estructura fundamental de dicha encuesta fue obtenida de Bound *et. al.*, 2005.

En la primera sección se preguntó qué tipo de medicamentos caducaban con más frecuencia en su hogar, dándosele al encuestado una lista de diez tipos de medicamentos que recomienda el Centro Nacional de Prevención de Desastres para ser desechados por el drenaje (Fernández *et. al.*, 2001); siendo estos los siguientes:

- Jarabes
- Soluciones intravenosas
- Vitaminas
- Ciertas Sales
- Aminoácidos
- Lípidos
- Glucosa
- Antibióticos
- Otro (especifique)



En la segunda sección se preguntó cuál era el nombre del tipo o tipos de medicamentos que había mencionado anteriormente, dándosele al encuestado la oportunidad de mencionar “no recuerdo”

En la tercera sección se preguntó el método para disponer o eliminar los medicamentos que había señalado anteriormente, dándosele al encuestado las siguientes opciones:

- Regresándolos a la farmacia
- Regresándolos al fabricante
- Arrojándolos a la basura
- Arrojándolos al lavabo/fregadero
- Otro (especifique)

En la cuarta sección se preguntó si consideraba que los medicamentos caducos (en general) pueden producir riesgos o daños al medio ambiente, dándosele al encuestado las siguientes opciones:

- Si
- Posiblemente
- No
- Desconozco

En la quinta y última sección, se solicitaba los datos personales del encuestado:

- Nombre
- Sexo
- Edad
- Grado de escolaridad
- Profesión u ocupación
- Firma (opcional)

Para el cálculo del tamaño de la muestra representativa, se utilizó la siguiente ecuación (Bound *et. al.*, 2006):

$$n = \frac{\pi (1 - \pi) z^2}{e^2} \text{----- (Ec. 1)}$$



Donde:

$n$  = tamaño de la muestra estimada requerida para la precisión deseada.

$\pi$  = proporción estimada preliminar a esta iniciativa de la población (0.5 para este caso)

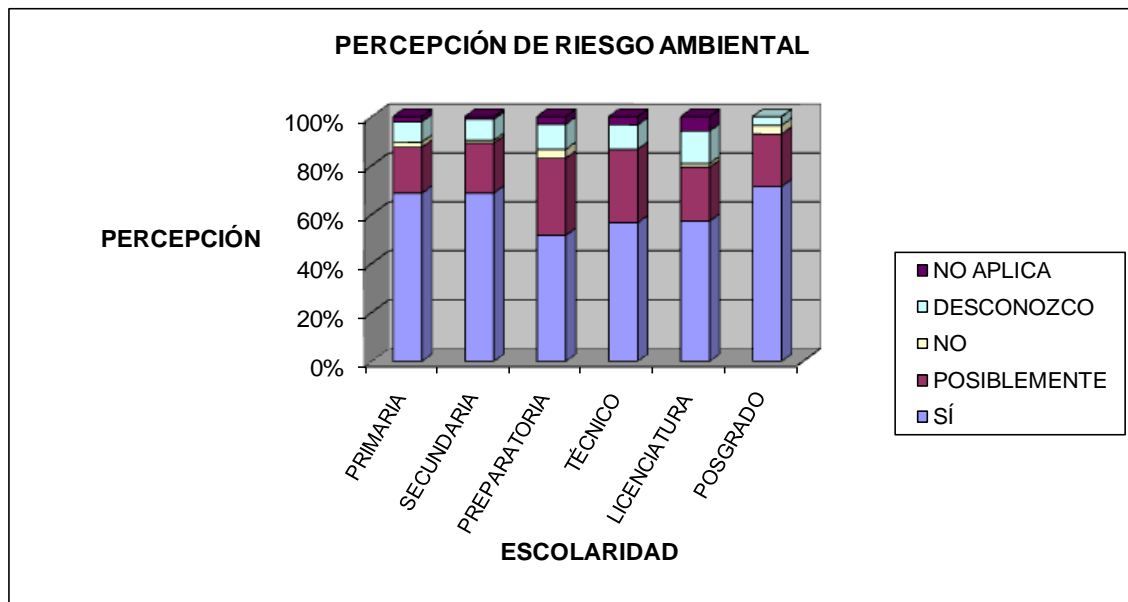
$z$  = valor del cuartil de la distribución normal estándar con un nivel de confianza (95 % para este caso)

$e$  = precisión deseada, mitad del intervalo de confianza máximo aceptable.

(0.05 para este caso)

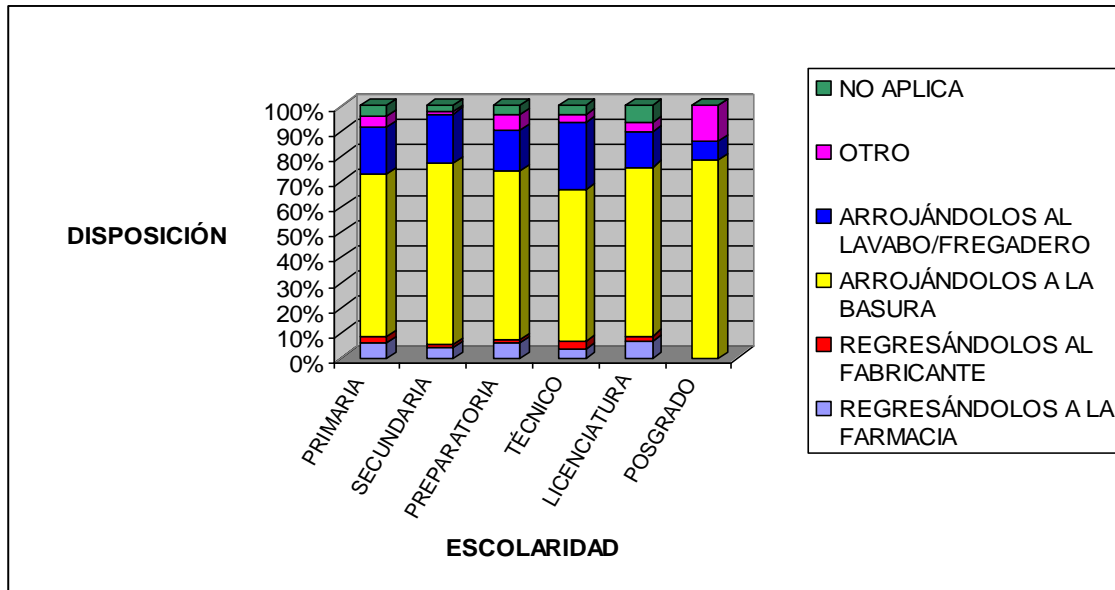
Siendo  $n = 384$ , pero se estableció en 500 el tamaño de la muestra para el presente trabajo.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos con la realización de dicha encuesta; la Figura 1.3 muestra que la gran mayoría de la población considera que los medicamentos caducos pueden generar algún tipo de riesgo o daño al medio ambiente.



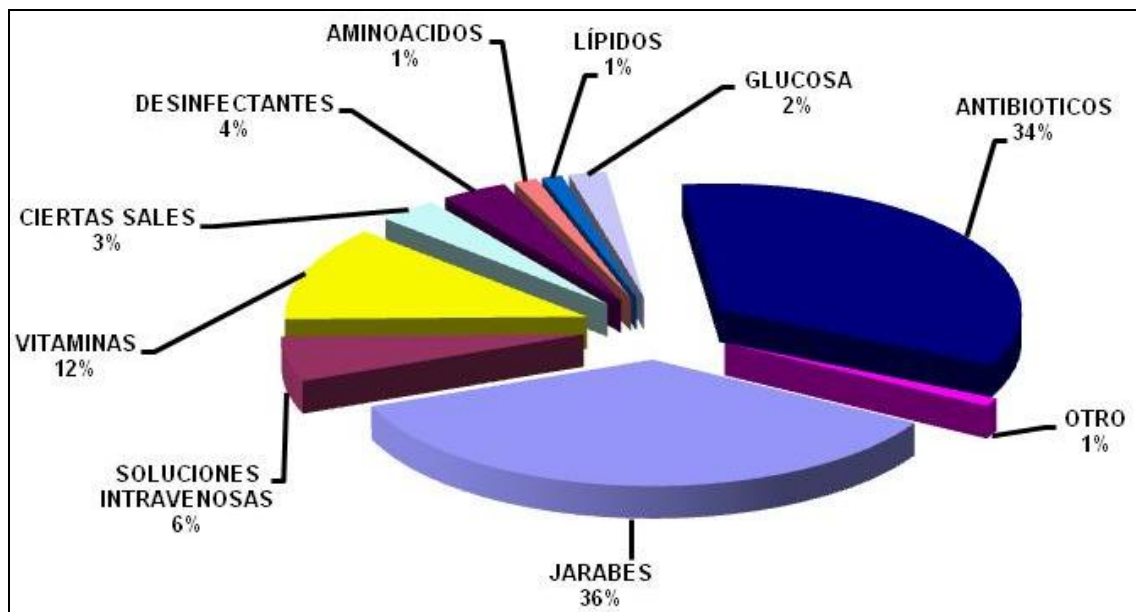
**Fig. 1.3**  
**Percepción de riesgo ambiental**

La Figura 1.4, muestra que independientemente del grado académico de la población, el método de disposición más común para desechar los medicamentos caducos es *arrojándolos a la basura*.



**Fig. 1.4**  
**Método de disposición más utilizado**

Las Figuras 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 y 1.9 indican el tipo de medicamento más susceptible para ser desechado según los diversos métodos utilizados por la población.



**Fig. 1.5**  
**Medicamentos más susceptibles para ser desechados a la "basura"**

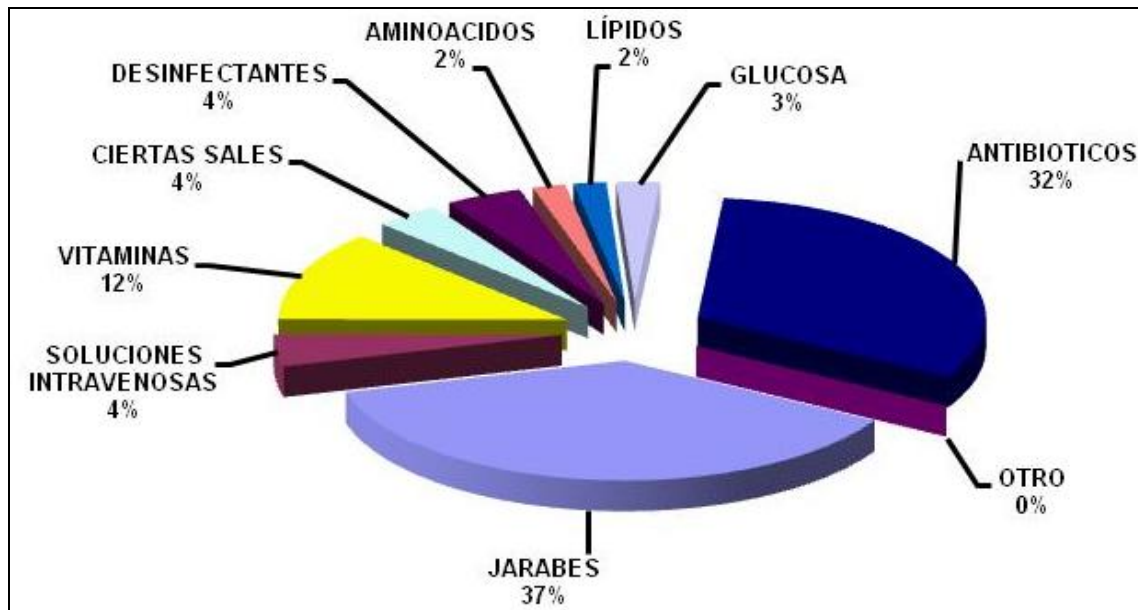


Fig. 1.6  
Medicamentos más susceptibles para ser desechados al “drenaje”

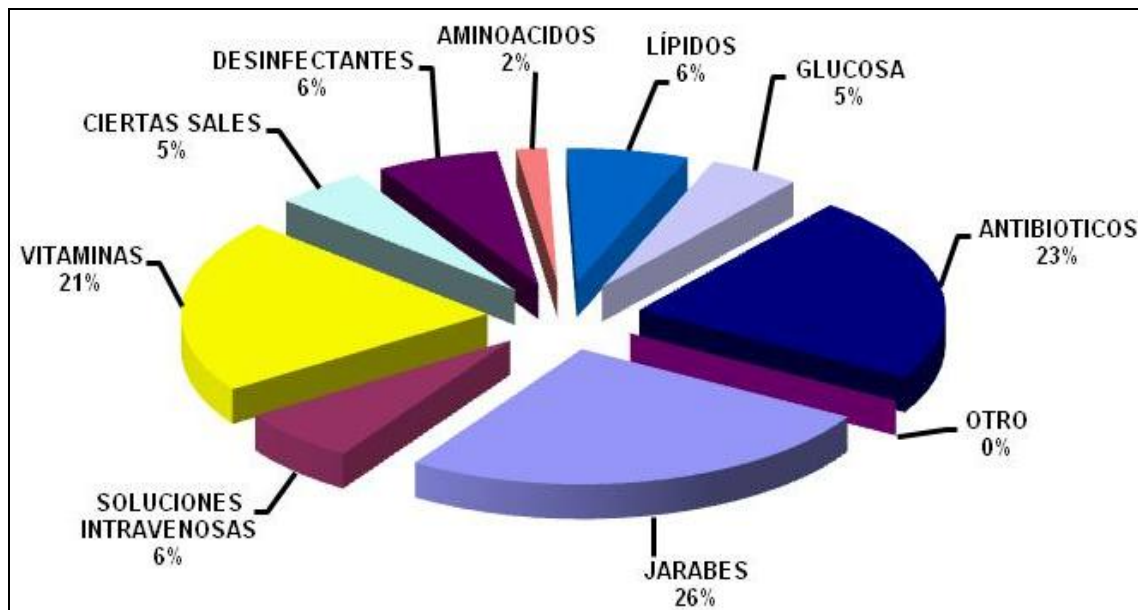
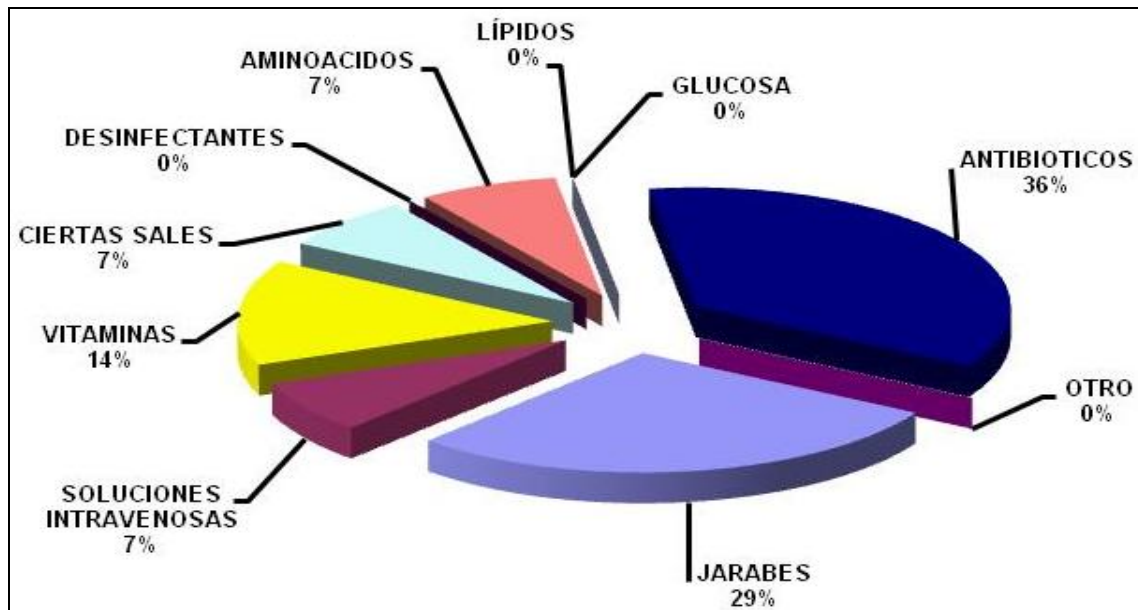
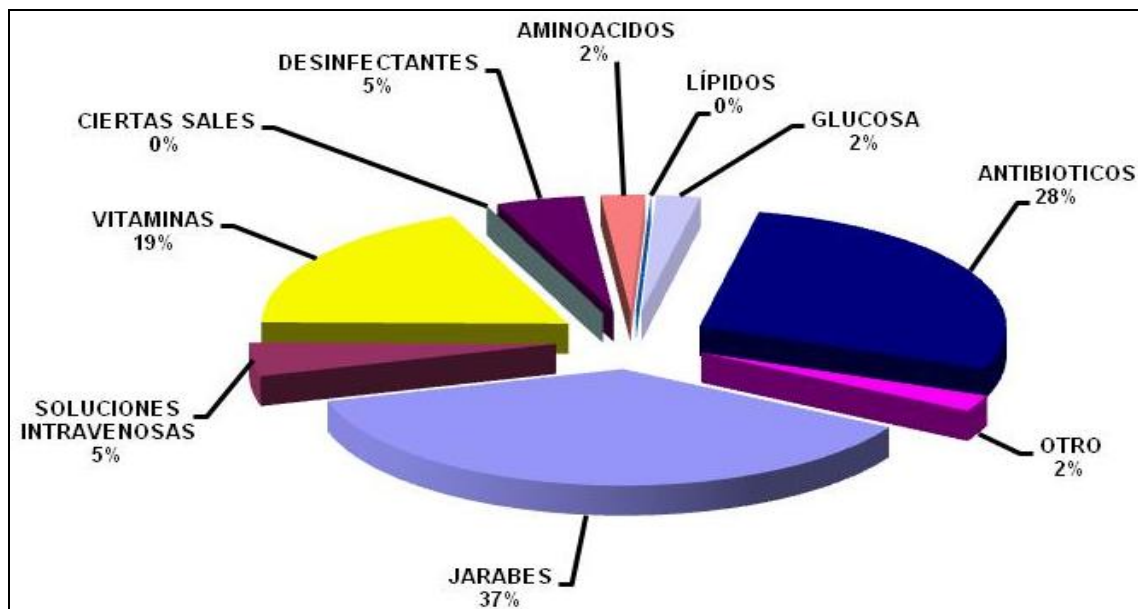


Fig. 1.7  
Medicamentos más susceptibles para ser desechados “regresándolos a la farmacia”



**Fig. 1.8**  
Medicamentos más susceptibles para ser desechados “regresándolos al fabricante”



**Fig. 1.9**  
Medicamentos más susceptibles para ser desechados mediante “otro” método





El método denominado “otro” consistió principalmente en disponer de los medicamentos arrojándolos al jardín, o incinerándolos en el hogar, así mismo, el parámetro “no aplica” indica aquella parte de la población que no permite que caduquen los medicamentos en su hogar, ya sea, terminando todo el tratamiento, o regalando el remanente a la beneficencia pública, antes de que éstos caduquen.

#### **1.4.- DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.**

Actualmente los medicamentos caducos son vertidos al sistema de drenaje indiscriminadamente, debido a que no presentan un manejo adecuado para su disposición final (ya que en México, la población no cuenta con la información necesaria para el manejo de dichas sustancias); lo que conlleva a que los sistemas de tratamiento biológicos de aguas residuales sufran alteraciones debido a la presencia de dichas sustancias en altas concentraciones.

#### **1.5.- HIPÓTESIS DE TRABAJO.**

La presencia de grandes cantidades de complejo B caduco en las aguas residuales que llegan a una planta de tratamiento afecta de manera desfavorable la tasa específica de consumo de oxígeno así como la tasa específica de consumo de sustrato de los microorganismos presentes en el tanque del proceso biológico de lodos activados.

#### **1.6.- OBJETIVO GENERAL.**

Evaluar los efectos de los medicamentos caducos en el proceso biológico de lodos activados utilizando modelos a nivel de laboratorio (celdas tipo Eckenfelder).

#### **1.7.- OBJETIVOS PARTICULARES.**

Definir mediante la realización de una encuesta a la población civil, el tipo de medicamento que con mayor frecuencia caduca en sus hogares, y el método utilizado para su disposición final.

Seleccionar los medicamentos aconsejables por el Centro Nacional de Prevención de Desastres para disponerlos al drenaje sanitario, considerando los de uso más frecuente entre la población.



Determinar la eficiencia del sistema debido a la presencia de la vitamina complejo B caduco considerando diversos parámetros físicos, químicos, biológicos y cinéticos, tales como: demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos en el reactor, tasa específica de consumo de oxígeno, tasa específica de consumo de sustrato, eficiencia de remoción de materia orgánica medida como demanda biológica de consumo de oxígeno, índice volumétrico de lodo, velocidad de consumo de oxígeno.

#### **1.8.- ALCANCES.**

Se seleccionará un solo medicamento caduco con tres dosis diferentes y un tiempo de retención hidráulico, asignándosele dos repeticiones; siendo el medicamento caduco seleccionado la vitamina en forma de complejo B.

La unidad experimental empleada es una celda Eckenfelder con un volumen de 20 litros, misma que será inoculada con biomasa procedente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro de la Estrella, la cual será alimentada diariamente con agua residual procedente del influente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria; por un periodo de 48 semanas aproximadamente.



## Capítulo II

# MARCO NORMATIVO



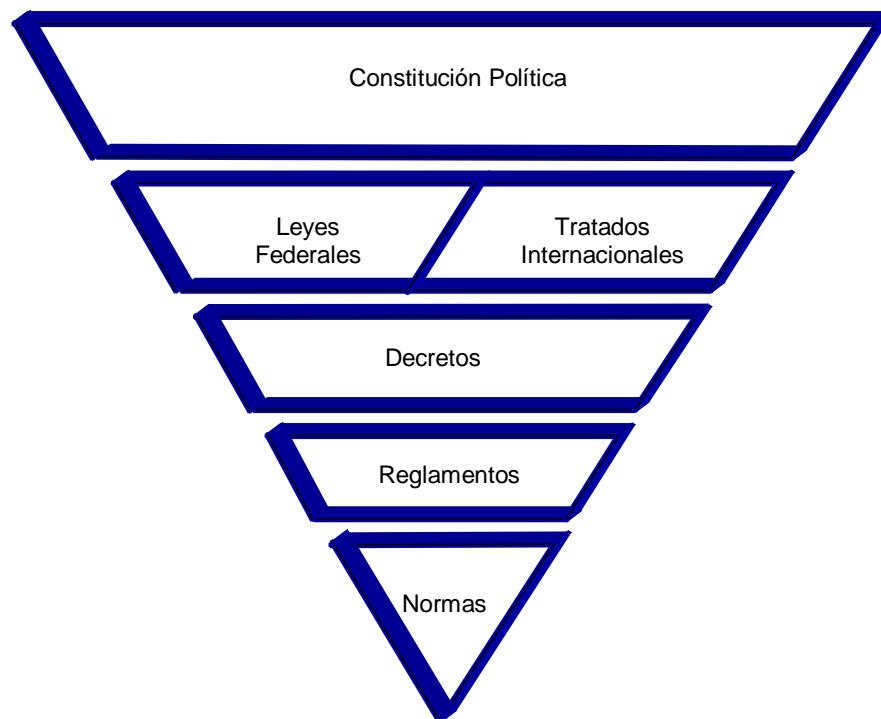
## II. MARCO NORMATIVO

### 2.1.- MARCO NORMATIVO EN MÉXICO.

En México, la norma de categoría más elevada es la constitucional. La Constitución Política, también llamada Carta Magna, Ley Suprema, Ley de Leyes, es la base de la pirámide jurídica. La jerarquía existente en México entre las normas jurídicas es la siguiente (Almada y Ornelas, 1994):

- a).- La Constitución Política.
- b).- Las leyes federales, los tratados internacionales y las leyes ordinarias.
- c).- Los decretos.
- d).- Los reglamentos.
- e).- Las normas jurídicas individualizadas.

La Figura 2.1 muestra la pirámide jurídica existente en México.



**Fig. 2.1**  
**Estructura Normativa en México**

Por lo anterior, en lo que respecta a medicamentos caducos, la normatividad aplicable en México está conformada según lo indica la Tabla 2.1.



Tabla 2.1  
Legislación aplicable en México en materia de medicamentos caducos

Norma	Fecha de Publicación	Contenido en materia de Medicamentos caducos
Ley General de Salud.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de junio de 2007.	Menciona la prohibición de la venta y suministros de medicamentos con fecha de caducidad vencida, <b>(artículo 233)</b> .
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de junio de 2007.	Define a los residuos peligrosos como: "Aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio", <b>(artículo 5)</b> .  Dentro de la definición anterior están clasificados los fármacos caducos, <b>(artículo 31)</b> .
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de julio de 2007.	Define a los residuos peligrosos como: "Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente", <b>(artículo 3)</b> .  Por tal motivo, los medicamentos caducos deben apegarse a los siguientes Títulos:  <b>Título Primero</b> (Disposiciones generales). <b>Título Cuarto</b> (Protección al ambiente). <b>Título Sexto</b> (Medidas de Control y de Seguridad y Sanciones).
Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos.	Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de noviembre de 2006.	Indica que los medicamentos caducos deben apegarse a los siguientes Títulos:  <b>Título Segundo</b> (Planes de manejo). <b>Título Cuarto</b> (Residuos peligrosos). <b>Título Quinto</b> (Importación y exportación de residuos peligrosos). <b>Título Sexto</b> (Remediación de sitios contaminados).
Norma Oficial Mexicana (NOM-052-SEMARNAT-2005).	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de junio de 2006	Los medicamentos caducos deben sujetarse al <b>Código CRETIB</b> , quedando clasificados como residuos peligrosos tóxicos, con la siguiente nomenclatura (T) RP 7/39



A continuación se indica la normatividad aplicable en materia de medicamentos caducos, que rige en otros países.

## 2.2.- MARCO NORMATIVO EN ARGENTINA.

En Argentina, la normatividad aplicable con respecto a medicamentos caducos, está integrada por la Ley Nacional de Medicamentos, en la Tabla 2.2 se indica el artículo que hace referencia a este tipo de sustancias.

**Tabla 2.2**  
**Legislación aplicable en Argentina en materia de medicamentos caducos**

<b>Norma</b>	<b>Contenido en materia de Medicamentos caducos</b>
Ley Nacional de Medicamentos	Menciona la prohibición para elaborar, fabricar, importar, exportar, distribuir, comercializar, prescribir y dispensación de productos o preparados que se presenten como medicamentos y no estuviesen legalmente reconocidos, <b>(artículo 9)</b> .

Cabe hacer mención, que para tal efecto, se deben entender por “*medicamentos ilegítimos o no legalmente reconocidos*” a aquellos vencidos. (Salde *et. al.*, 2001)

## 2.3.- MARCO NORMATIVO EN ESTADOS UNIDOS.

En Estados Unidos, la normatividad aplicable para residuos peligrosos está integrada por el Código de Regulaciones Federales (CFR, por sus siglas en inglés), donde el Título 40, denominado “Protección del ambiente”, conforma dicha legislación. La Tabla 2.3 indica la sección o parte que conforma a lo referente a residuos peligrosos en dicho código

**Tabla 2.3**  
**Legislación aplicable en Estados Unidos en materia residuos peligrosos**

<b>Norma</b>	<b>Título</b>	<b>Nombre</b>	<b>Parte</b>
CFR	40	Protección del ambiente	260 a 272

Cabe hacer mención, que en la parte 261 denominada “Identificación y listado de residuos peligrosos” no se contempla a los medicamentos caducos como residuos peligrosos.



#### 2.4.- MARCO NORMATIVO EN VENEZUELA.

En Venezuela, la normatividad aplicable con respecto a medicamentos caducos u *obsoletos*, está integrada según lo indica la Tabla 2.4

**Tabla 2.4**  
**Legislación aplicable en Venezuela en materia de medicamentos caducos**

Decreto	Titulo	Fecha de Publicación	Contenido en materia de Medicamentos caducos
2.218	Normas para la clasificación y manejo de desechos en establecimientos de salud.	23 de abril de 1992	Menciona las especificaciones de los almacenes a utilizar para depositar los medicamentos caducos ( <b>artículo 2</b> ).  Menciona la clasificación de los desechos, según su naturaleza, siendo los medicamentos vencidos del tipo "E" (desechos especiales) ( <b>artículo 5</b> ).
2.635	Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos.	03 de agosto de 1998	Incluye las características que le confieren al desecho la categoría de peligroso ( <b>artículo 6</b> ).  Incluye cinco niveles de riesgo dependiendo de su estado físico y del tipo de peligrosidad ( <b>artículo 8</b> ).  Menciona la aprobación del método de incineración para la eliminación de los medicamentos vencidos ( <b>artículo 83</b> ).

(Modificada: OPS/OMS, 1999)



## Capítulo III

# SELECCIÓN DEL MEDICAMENTO A UTILIZAR





### III. SELECCIÓN DEL MEDICAMENTO A UTILIZAR

#### 3.1.- SELECCIÓN DEL MEDICAMENTO A UTILIZAR.

Como se pudo observar en la sección 1.3.3 denominada “Percepción de riesgo ambiental”, las vitaminas son del tipo de medicamentos caducos más susceptibles para ser desechados al drenaje, destacando dentro de este grupo la vitamina denominada “complejo B”, por tal motivo, dicho medicamento será el utilizado durante el presente trabajo.

Cabe hacer mención, que dicho medicamento una vez caduco fue donado por la población civil, al laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde fue almacenado bajo condiciones normales (25° C y 1 atm), y sin contacto con luz solar.

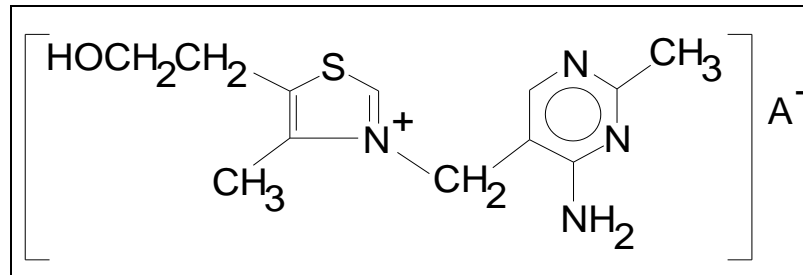
#### 3.2.- CARACTERÍSTICAS DEL MEDICAMENTO A UTILIZAR.

Como se mencionó en la sección anterior, se utilizará complejo B para el desarrollo del presente trabajo; la Tabla 3.1 muestra la composición en cada tableta:

**Tabla 3.1**  
**Composición del medicamento a utilizar.**

Vitamina	Unidades	Contenido
B <sub>1</sub>	mg	100
B <sub>6</sub>	mg	5
B <sub>12</sub>	μg	50

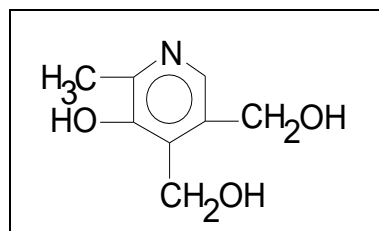
**a).- Vitamina B<sub>1</sub> (Tiamina; C<sub>12</sub>H<sub>17</sub>CIN<sub>4</sub>OS)-** La tiamina es un nombre genérico aplicado a todas las sustancias que poseen actividad de vitamina B<sub>1</sub>, independientemente del anión unido a la molécula. La porción catiónica de la molécula, que es la parte que puede ser denominada con corrección “tiamina”, está compuesta de un anillo dirimida sustituido conectado por un puente metileno al nitrógeno de un anillo tiamazol sustituido. Una fórmula estructural general es aquella en la que A es cualquier anión apropiado, si bien en general es cloruro. Además, se pueden formar sales de amonio con la amina sustituyente en el anillo pirimidina. La nomenclatura común es confusa, pero, en general, el término mono, como en mononitrato de tiamina o monofosfato de tiamina, designa la sal de amonio formada por reacción del cloruro de tiamina con el ácido clorhídrico. (Remington, 1995)



**Fig. 3.1**  
**Estructura química de tiamina**  
(Remington, 1995)

Los compuestos de tiamina suelen ser fácilmente solubles en agua o en alcohol, pero insolubles en solventes de lípidos. Son estables en solución ácida y pueden ser calentados sin que sufran descomposición, pero son inestables en solución neutra o alcalina. A pH neutro o alcalino, hay desdoblamiento del puente metileno al ser calentado en presencia de humedad. La división de la molécula tiene lugar cuantitativamente en presencia de iones de bisulfito, una reacción que se aprovecha para preparar componentes dietéticos libres de tiamina con fines de bioanálisis. En forma fosforilada, la tiamina (pirofosfato de tiamina; cocarboxilasa) sirve como grupo prostético de sistemas enzimáticos que participan en la descarboxilación de  $\alpha$ -cetoácidos. Por ejemplo el ácido pirúvico es descarboxilado para formar un residuo de dos carbonos. Éste proceso de descarboxilación es catalizado por el sistema enzimático ácido pirúvico descarboxilasa que consiste en una proteína específica, iones manganeso y difosfotiamina. (Remington, 1995)

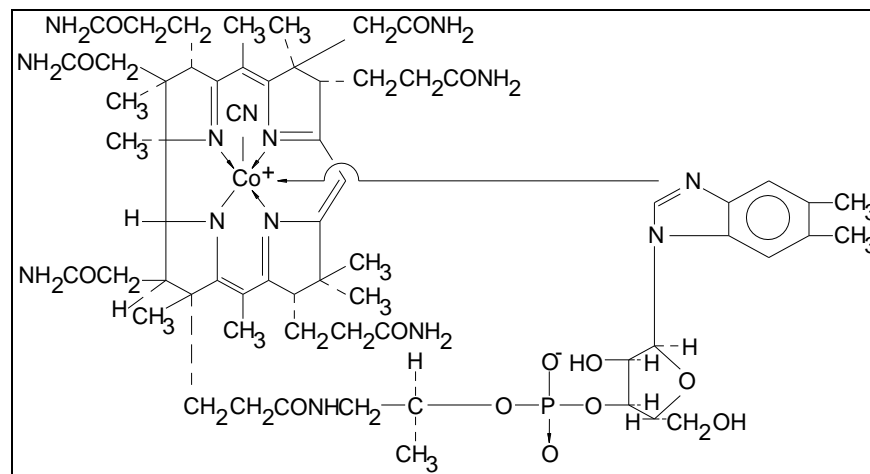
**b).- Vitamina B<sub>6</sub> (Piridoxina; C<sub>8</sub>H<sub>11</sub>NO<sub>3</sub>HCl).**- La piridoxina como base libre tiene un sabor amargo y es fácilmente soluble en agua, alcohol y acetona. Cristaliza como clorhidrato y se prepara en esta forma para uso comercial. Es una de las vitaminas más estables y en la forma de alcohol tolera el calentamiento en solución ácida o alcalina. (Remington, 1995)



**Fig. 3.2**  
**Estructura química de piridoxina**  
(Remington, 1995)

La vitamina B<sub>6</sub> en la forma de fosfato de piridoxal o fosfato de piridoxamina actúa en el metabolismo de los hidratos de carbono, las grasas y las proteínas; sus principales funciones guardan una muy estrecha relación con el metabolismo de las proteínas y los aminoácidos. La vitamina forma parte de la configuración molecular de numerosas enzimas (una coenzima), sobre todo glucógeno fosforilasa, diversas transaminasas, decarboxilasas y desaminasas. Estas últimas tres son esenciales para el anabolismo y el catabolismo de las proteínas. (Remington, 1995)

**c).- Vitamina B<sub>12</sub> (Cianocobalamina; C<sub>63</sub>H<sub>88</sub>CoN<sub>14</sub>O<sub>14</sub>P).**- Compuesto hidrosoluble complejo que cristaliza como pequeñas agujas rojas que tienen una rotación específica en solución acuosa diluida de -59°C. El compuesto es un complejo de coordinación con el cobalto, en el que éste es trivalente y tienen un número de coordinación de seis; el complejo es neutro. Está formada por dos sistemas heterocíclicos, un benzimidazol y un núcleo porfirina modificado. (Remington, 1995)



**Fig. 3.3**  
**Estructura química de cianocobalamina**  
(Remington, 1995)

La vitamina B<sub>12</sub> es uno de los factores biológicos más activos conocidos; su actividad para las bacterias se mide en términos de milimicrogramos. Dada esta sensibilidad de algunas bacterias a niveles tan bajos de la vitamina y el hecho de que los alimentos contienen concentraciones excepcionalmente bajas de ésta, los métodos microbiológicos son ampliamente utilizados. (Remington, 1995)



## Capítulo IV

# METODOLOGÍA

#### IV. METODOLOGÍA

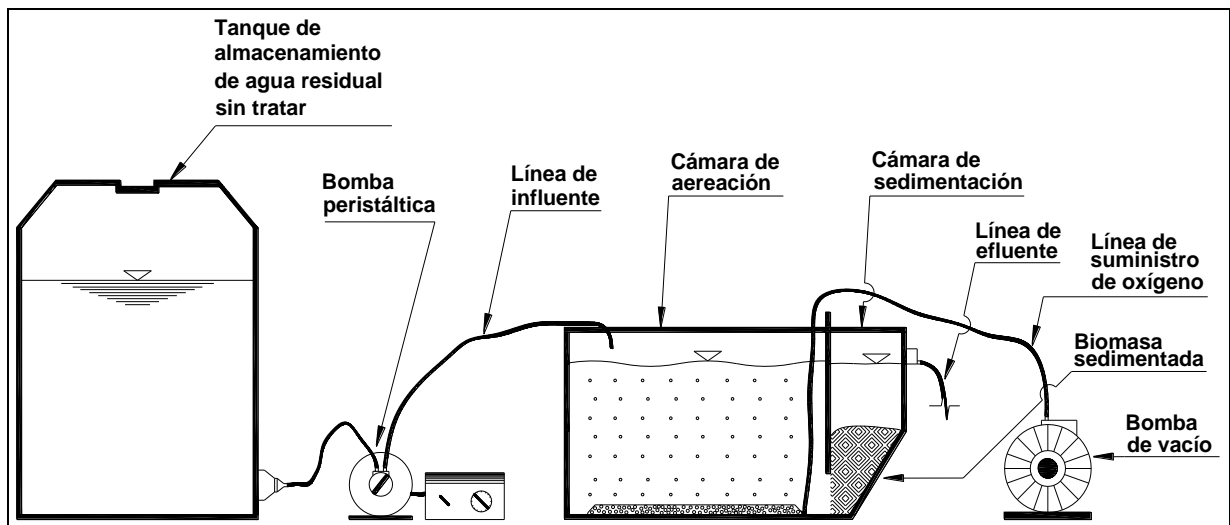
##### IV.I. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

###### 4.1.1.- DEFINICIÓN DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL.

Se utilizó como unidad experimental un reactor de flujo continuo con mezcla completa, a escala laboratorio (celda tipo Eckenfelder), con capacidad de 20 litros (ver Figura 4.1), mismo que se alimentó con agua residual procedente del influente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria.

Dicho reactor se estabilizó antes de suministrar al mismo las diversas dosis de complejo B, logrando lo anterior cuando:

- La velocidad de consumo de oxígeno del contenido del reactor permanece constante.
- La demanda biológica de oxígeno del efluente se hace estable.



**Fig. 4.1**  
**Diagrama de la unidad experimental a utilizar**  
(Ramalho, 1991)



#### 4.1.2.- DEFINICIÓN DE LA VARIABLE DE RESPUESTA.

Se establecieron como variables de respuesta la tasa específica de consumo de oxígeno (Specific Oxygen Uptake Rate, SOUR) y la tasa específica de consumo de sustrato (q), lo anterior se debe a que la hipótesis indica que dichos parámetros se ven afectados por la presencia de medicamentos caducos.

#### 4.1.3.- DEFINICIÓN DE FACTORES Y NIVELES.

Se definió un factor a emplear; siendo el complejo B. En la Tabla 4.1 se observa el factor y niveles del mismo.

**Tabla 4.1**  
**Factor y niveles del experimento**

Factor	No.	Nombre	Niveles
	1	Complejo B	Dosis 1 (50 mg/L de tiamina, 2.5 mg/L de piridoxina, 25 µg/L de cianocobalamina)
			Dosis 2 (75 mg/L de tiamina, 3.75 mg/L de piridoxina, 37.5 µg/L de cianocobalamina)
			Dosis 3 (100 mg/L de tiamina, 5 mg/L de piridoxina, 50 µg/L de cianocobalamina)

#### 4.1.4.- DISEÑO EXPERIMENTAL.

Se aplicó un diseño experimental unifactorial, completamente al azar, balanceado y completo, con dos repeticiones (para poder comprobar los supuestos del diseño, tales como: independencia de los residuales, errores normales, homogeneidad de varianzas). (Méndez y Moreno, 2003). Así pues, en la Tabla 4.2 se muestra la estructura del modelo experimental empleado:

**Tabla 4.2**  
**Estructura del experimento**

Tratamiento (niveles)		
1 (dosis 1)	2 (dosis 2)	3 (dosis 3)
y <sub>11</sub>	y <sub>21</sub>	y <sub>31</sub>
y <sub>12</sub>	y <sub>22</sub>	y <sub>32</sub>



Así pues, el modelo estadístico a utilizar es el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \text{ -----(Ec.2)}$$

Donde:

$y_{ij}$  = Observación del i-ésimo tratamiento (dosis suministrada) de la j-ésima unidad experimental.

$\mu$  = Media general, común a todas las unidades experimentales.

$\tau_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento (dosis de complejo B caduco suministrado).

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental.

$i = 1, 2, 3.$

$j = 1, 2.$

Se efectuó una aleatorización en la asignación de la unidad experimental utilizada en cada tratamiento, debido a que las unidades experimentales a emplear, presentan una cierta variabilidad entre ellas (diferente posición del difusor de aire); dicha distribución se puede observar en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3**  
**Asignación de las unidades experimentales a los diversos tratamientos**

Complejo B		
Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3
A	B	A
B	A	B

Siendo las literales A y B las diversas unidades experimentales a emplear. El análisis estadístico de las variables de respuesta se llevó a cabo mediante una tabla de análisis de variancias ANOVA (*unifactorial*), estableciendo un valor de nivel de significancia ( $\alpha$ ) del 5% (probabilidad de cometer un error tipo I, es decir, probabilidad de rechazar la hipótesis nula siendo verdadera) (Montgomery, 1991); utilizando para ello los resultados obtenidos a las 24 horas de haber sido agregado el medicamento (ver columnas (III) de la Tabla 5.1 y 5.2), ya que durante las pruebas presuntivas se observó un cambio significativo en el reactor después de mencionado lapso de tiempo, así mismo, se emplearon las pruebas de Shapiro-Wilk y de Bartlett para comprobar los supuestos del diseño experimental (normalidad de los errores y homogeneidad de varianzas respectivamente). (Méndez y Moreno, 2003).



Adicionalmente, se efectuó un análisis estadístico de diversas variables secundarias (SSTLM, SSVLM, porcentaje de remoción de materia orgánica medida como Demanda Biológica de Oxígeno, VCO, TCS y TCO) mediante una tabla de análisis de variancias ANOVA, estableciendo un valor de nivel de significancia ( $\alpha$ ) del 5%, utilizando los resultados obtenidos a las 24 horas de haber sido agregado el medicamento (ver columnas (III) de la Tabla 5.1 y 5.2).

#### IV.II. PARÁMETROS A ANALIZAR

##### 4.2.1.- SELECCIÓN DE PARÁMETROS.

Para poder evaluar los efectos que produce el complejo B caduco en el proceso biológico de lodos activados, se seleccionaron cuatro tipos de parámetros a analizar, que son los siguientes:

- Físico-Químicos
- Biológicos
- Cinéticos

##### 4.2.2.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.

Para seleccionar los parámetros físicos y químicos, se consideró la normatividad aplicable en México en materia de calidad de agua residual, misma que se muestra en la Tabla 4.4.

**Tabla 4.4**  
**Legislación aplicable en México en materia de calidad de agua residual**

Norma	Título	Fecha de Publicación
NOM-001-SEMARNAT-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997.
NOM-002-SEMARNAT-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de junio de 1998.
NOM-003-SEMARNAT-1997	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 1998.
NOM-073-ECOL-1999	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las industrias farmacéutica y farmoquímica.	Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de diciembre de 1994.





Por lo tanto, los parámetros físicos y químicos analizados se indican en las Tabla 4.5 y 4.6 respectivamente:

**Tabla 4.5**  
**Parámetros físicos a analizar**

No.	Parámetro	Unidades
1	Sólidos suspendidos totales presentes en el licor de mezcla	mg/L
2	Sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla	mg/L
3	Índice volumétrico de lodo	ml/g

**Tabla 4.6**  
**Parámetros químicos a analizar**

No.	Parámetro	Unidades
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno <sub>5</sub>	mg/L
2	Oxígeno disuelto	mg/L
3	pH	Unidades de pH

#### 4.2.3.- PARÁMETROS BIOLÓGICOS.

Para dar seguimiento de los indicadores biológicos presentes durante la operación del reactor, ya sea antes y después de la adición del complejo B caduco, se efectuarán observaciones microscópicas del licor de mezcla.

**Tabla 4.7**  
**Parámetros biológicos**

No.	Parámetro	Unidades
1	Análisis microscópico	----

#### 4.2.4.- PARÁMETROS CINÉTICOS.

Para determinar el efecto que produce el complejo B caduco a los procesos cinéticos de los microorganismos involucrados en el proceso de lodos activados, se realizarán las siguientes pruebas:



**Tabla 4.8**  
**Parámetros cinéticos**

No.	Parámetro	Unidades
1	Tasa específica de consumo de sustrato	mg/L DBO cons/ mg/L SSVLM·h
2	Velocidad de consumo de oxígeno	mg O <sub>2</sub> /d
3	Tasa de consumo de oxígeno	mg/L O <sub>2</sub> / mg/L SST·h
4	Tasa específica de consumo de oxígeno	mg/L O <sub>2</sub> / mg/L SSVLM·h

En la Tabla 4.9 se muestra la información antes mostrada de manera resumida.

**Tabla 4.9**  
**Resumen de parámetros a analizar**

No.	Parámetro	Unidades	Influyente (a)	Licor mezclado (b)	Efluente (c)
1	pH	Unidades de pH	X	X	X
2	Demanda Bioquímica de Oxígeno <sub>5</sub>	mg/L	X	---	X
3	Sólidos suspendidos totales	mg/L	---	X	---
4	Sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla	mg/L	---	X	---
5	Índice volumétrico de lodo	ml/g	---	X	---
6	Tasa de consumo de sustrato	(mg DBO cons.)/ (mg SST·h)	---	X	---
7	Tasa específica de consumo de sustrato	(mg DBO cons.)/ (mg SSVLM·h)	---	X	---
8	Velocidad de consumo de oxígeno	mg/L O <sub>2</sub> /h	---	X	---
9	Tasa de consumo de oxígeno	(mg/l O <sub>2</sub> )/ (mg/L SST·h)	---	X	---
10	Tasa específica de consumo de oxígeno	(mg/l O <sub>2</sub> )/ (mg/L SSVLM·h)	---	X	---
11	Análisis microscópico	---	---	X	---

(a) Muestra extraída del depósito de agua residual cruda.

(b) Muestra extraída del tanque de aireación.

(c) Muestra extraída del depósito de agua residual tratada.



#### 4.2.5.- ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODO.

El índice volumétrico de lodo (IVL) se define como el volumen en mililitros ocupado por 1 gramo de sólidos suspendidos del licor mezclado, después de sedimentar durante 30 minutos en una probeta graduada de 1000 ml, el IVL se utiliza típicamente para monitorear las características de sedimentación de la biomasa.

$$IVL = \frac{(\text{Volumen de biomasa sedimentada})}{(\text{Sólidos en suspensión})} = \frac{(\text{ml/L biomasa sedimentada})}{(\text{mg/L sólidos en suspensión})} \text{-----} (\text{Ec. 3})$$

#### 4.2.6.- VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO.

Para poder determinar la velocidad de consumo de oxígeno (VCO), se debe tener en cuenta tanto el consumo de oxígeno para degradar el sustrato, como el necesario para la respiración endógena, es decir, el consumo de oxígeno se define mediante:

$$\text{mg/L O}_2/\text{h} = a(S_0 - S_e) Q_0 \text{----- oxidación de sustrato-----} (\text{Ec. 4})$$

$$\text{mg/L O}_2/\text{h} = (b)(SSVLM \cdot t_h)(V) \text{----- respiración endógena -----} (\text{Ec. 5})$$

$$VCO = a(S_0 - S_e) Q_0 + (b)(SSVLM \cdot t_h)(V) = \text{mg/L O}_2/\text{h} \text{-----} (\text{Ec. 6})$$

Donde:

VCO = Velocidad de consumo de oxígeno.

S<sub>0</sub> = Demanda biológica del influente.

S<sub>e</sub> = Demanda biológica del efluente.

SSVLM = Sólidos suspendidos volátiles presentes en el licor de mezcla.

t<sub>h</sub> = Tiempo de retención hidráulico.

V = Volumen del reactor.

Q<sub>0</sub> = Gasto del influente.

a = Oxígeno requerido para llevar a cabo el metabolismo energético.

b = Oxígeno requerido para llevar a cabo la respiración endógena.

Cabe hacer mención, que para el presente trabajo no se consideró el oxígeno requerido para llevar a cabo el metabolismo endógeno, en virtud de que mencionada condición no fue favorecida, por consiguiente:

$$VCO = a(S_0 - S_e) Q_0 = \text{mg/L O}_2/\text{h} \text{-----} (\text{Ec. 7})$$



Donde:

VCO = Velocidad de consumo de oxígeno.

$S_0$  = Demanda biológica del influente.

$S_e$  = Demanda biológica del efluente.

$Q_0$  = Gasto del influente.

$a$  = Oxígeno requerido para llevar a cabo el metabolismo energético.

La expresión no incluye el oxígeno empleado en el proceso de nitrificación, ya que dicha ecuación se basa en la demanda de oxígeno de materia carbonosa. Cabe hacer mención, que la velocidad de consumo de oxígeno fue determinada de manera experimental, utilizando el método de sonda de electrodo de membrana.

#### 4.2.7.- RELACIÓN ALIMENTO/MICROORGANISMOS.

Para poder determinar la relación de alimento/microorganismos (A/M), se debe tener en cuenta el cociente de la materia orgánica del influente expresada como DBO ( $S_0$ ) y los sólidos suspendidos totales en la cámara de aeración ( $X_{v,a}$ ), es decir, este parámetro indica el cantidad de sustrato suministrado por unidad de tiempo y unidad de biomasa presente en el reactor, se define mediante:

$$A/M = \frac{S_0}{(SSVLM)(t_h)} = \frac{(\text{mg/L DBO})}{(\text{mg/L SST})(d)} \text{----- (Ec. 8)}$$

Donde:

A/M = Relación sustrato/microorganismos.

$S_0$  = Demanda biológica de oxígeno en el influente.

SSVLM = Sólidos suspendidos volátiles presentes en el licor de mezcla.

$t_h$  = Tiempo de retención hidráulico.

#### 4.2.8.- TASA DE CONSUMO DE SUSTRATO.

La tasa de consumo de sustrato se expresa por la unidad de masa de SST presente en el reactor. Esta cantidad, se define mediante:

$$TCS = \frac{(S_0 - S_e)}{(SST)(t_h)} = \frac{(\text{mg/L DBO consumida})}{(\text{mg/L SST})(h)} \text{----- (Ec. 9)}$$



Donde:

TCS = Tasa de consumo de sustrato.

$S_0$  = Demanda biológica de oxígeno del influente.

$S_e$  = Demanda biológica del efluente.

SST = Sólidos suspendidos totales presentes en el licor de mezcla.

$t_h$  = Tiempo de residencia hidráulico en el reactor.

#### 4.2.9.- TASA ESPECÍFICA DE CONSUMO DE SUSTRATO.

Normalmente, la tasa específica de consumo de sustrato se define como la cantidad de sustrato degradado por unidad de masa de SSVLM presente en el reactor. Esta cantidad, representada por  $q$ , se define mediante:

$$q = \frac{(S_0 - S_e)}{(SSVLM)(t_h)} = k S_e = \frac{(\text{mg/L DBO consumida})}{(\text{mg/L SSVLM})(h)} \text{----- (Ec. 10)}$$

Donde:

$q$  = Tasa específica de consumo de sustrato.

$S_0$  = Demanda biológica de oxígeno del influente.

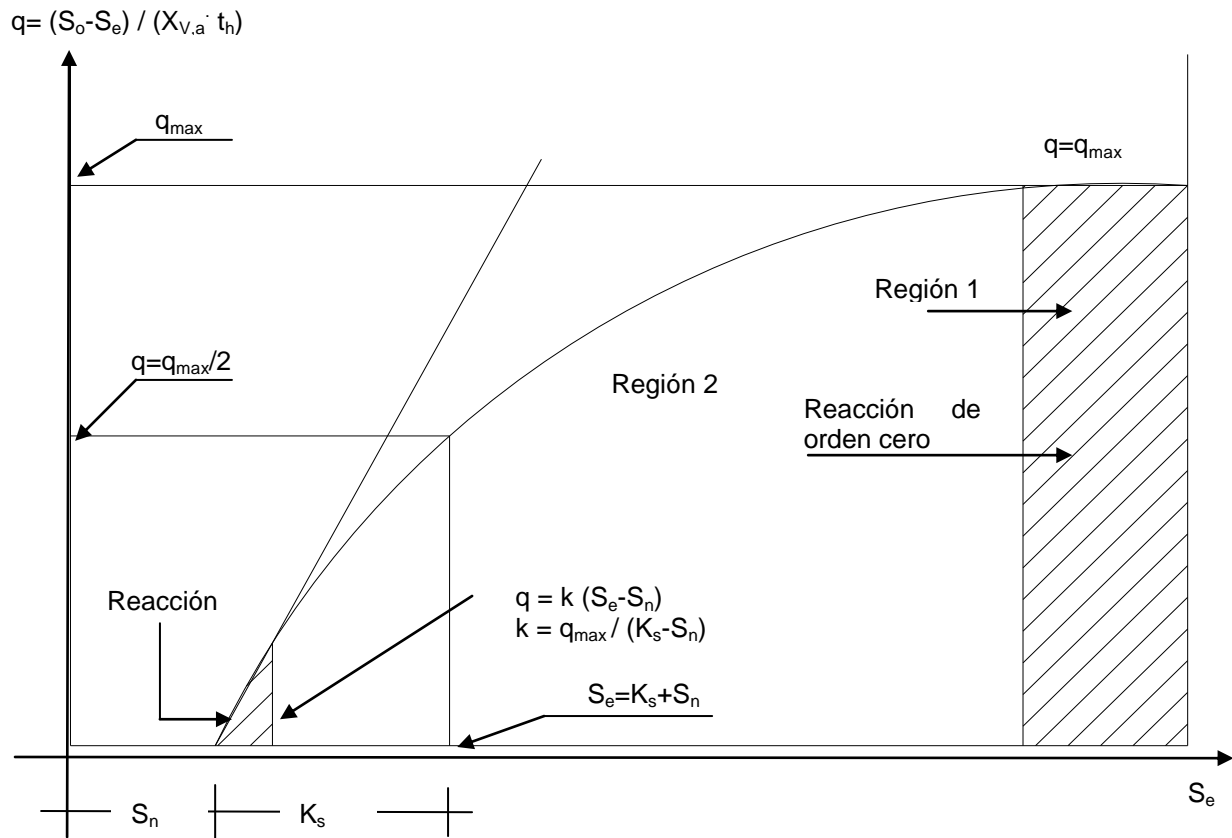
$S_e$  = Demanda biológica del efluente.

SSVLM = Sólidos suspendidos volátiles presentes en el licor de mezcla.

$t_h$  = Tiempo de residencia hidráulico en el reactor.

$k$  = Constante de velocidad de consumo.

Cabe hacer mención, que la ecuación anterior indica que la tasa específica de consumo de sustrato ( $q$ ) es proporcional a la concentración de sustrato, por lo tanto, se considerará que la cinética en el reactor es de primer orden, tal como se puede observar en la Figura 4.2.



**Fig. 4.2**

**Representación de  $q$  en función de  $S_e$  en presencia de materia biodegradable**  
(Ramalho, 1991)

#### 4.2.10.- CONSTANTE DE CONSUMO DE SUSTRATO.

De la ecuación 10, se puede deducir que la tasa de consumo de sustrato, representada por  $k$ , se define mediante:

$$k = \frac{(q)}{(S_e)} = \frac{(d^{-1})}{(\text{mg/L DBO del efluente})} \text{----- (Ec. 11)}$$

Donde:

$k$  = Tasa de consumo de sustrato.

$q$  = Tasa específica de consumo de sustrato

$S_e$  = Demanda biológica del efluente.



#### 4.2.11.- TASA DE CONSUMO DE OXÍGENO.

Para determinar la tasa de consumo de oxígeno (Oxygen Uptake Rate, OUR) se debe tener en cuenta el cociente de la velocidad de consumo de oxígeno (VCO) y los sólidos suspendidos totales presentes en el licor de mezcla (SST), este parámetro indica el consumo de oxígeno por unidad de tiempo y unidad de lodo presente en el reactor, se define mediante:

$$TCO = \frac{VCO}{SST} = \frac{(mg/L O_2/h)}{(mg/L SST)} \text{-----} (Ec.12)$$

Donde:

TCO = Tasa de consumo de oxígeno.

VCO = Velocidad de consumo de oxígeno.

SST = Sólidos suspendidos totales presentes en el licor de mezcla.

#### 4.2.12.- TASA ESPECÍFICA DE CONSUMO DE OXÍGENO.

Para poder determinar la tasa específica de consumo de oxígeno (Specific Oxigene Uptake Rate, SOUR), se debe tener en cuenta el cociente de la velocidad de consumo de oxígeno (VCO) y los sólidos suspendidos volátiles presentes en el licor de mezcla (SSVLM), es decir, este parámetro indica el consumo de oxígeno por unidad de tiempo y unidad de biomasa presente en el reactor, se define mediante:

$$TECO = \frac{VCO}{SSVLM} = \frac{(mg/L O_2/h)}{(mg/L SSVLM)} \text{-----} (Ec.13)$$

Donde:

TECO = Tasa específica de consumo de oxígeno.

VCO = Velocidad de consumo de oxígeno.

SSVLM = Sólidos suspendidos volátiles presentes en el licor de mezcla.

Es decir, la ecuación anterior es equivalente a:

$$TECO = aq \text{-----} (Ec. 14)$$



Donde:

TECO = Tasa específica de consumo de oxígeno.

a = Oxígeno requerido para llevar a cabo el metabolismo energético.

q = Tasa específica de consumo de sustrato.

#### 4.2.13.- CONSTANTE DE CONSUMO DE OXÍGENO.

Para poder determinar la constante de velocidad de consumo de oxígeno (a), debe tenerse en cuenta el cociente de la tasa específica de consumo de oxígeno (TECO) y la tasa específica de consumo de sustrato (q), se define mediante:

$$a = \frac{\text{TECO}}{q} = \frac{\left( \frac{\text{mg/L O}_2}{(h)(\text{mg SSVLM})} \right)}{\left( \frac{\text{mg/L DBO}}{(h)(\text{mg SSVLM})} \right)} = \frac{(\text{mg O}_2)}{(\text{mg DBO})} \text{----- (Ec. 15)}$$

Donde:

a = Constante de velocidad de consumo de oxígeno.

TECO = Tasa específica de consumo de oxígeno.

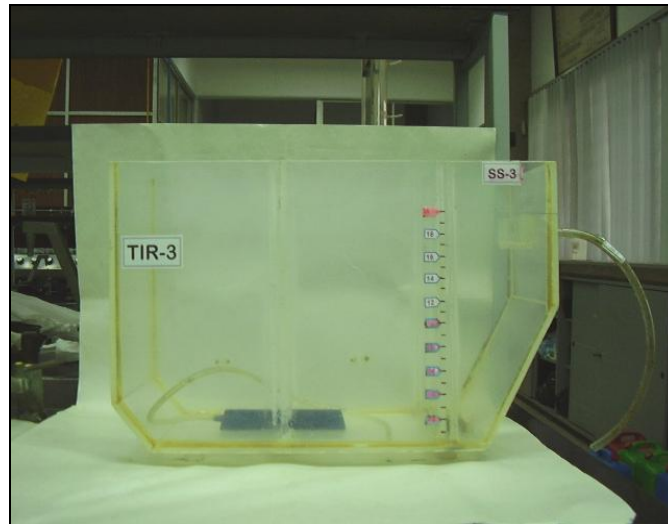
q = Tasa específica de consumo de oxígeno.

### IV.III. MONTAJE DEL EXPERIMENTO.

#### 4.3.1.- MONTAJE DEL EXPERIMENTO.

Como se mencionó en la sección 4.1.1, se utilizó un reactor de flujo continuo, a escala laboratorio (celda tipo Eckenfelder), con capacidad de 20 litros, (ver Figura 4.3) mismo que fue inoculado con lodos activados procedentes del tanque de aireación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cerro de la Estrella, y alimentado con agua residual cruda procedente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria (PTARCU). A continuación se muestra el proceso de montaje de la unidad experimental.





**Fig. 4.3**  
**Unidad experimental**

#### **4.3.2.- OBTENCIÓN DE AGUA RESIDUAL.**

Para la alimentación del reactor se utilizó agua residual cruda, misma que fue recolectada a la salida del canal aforador (canal Parshall) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria (PTARCU); lo anterior tuvo el objetivo de evitar en lo posible el azolvamiento del reactor con sólidos inorgánicos.

#### **4.3.3.- OBTENCIÓN DE BIOMASA.**

La inoculación del reactor se efectuó con biomasa (lodos activados) procedentes del tanque de aireación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cerro de la Estrella.

El proceso de obtención de biomasa consistió en la recolección de 100 litros del licor de mezcla del tanque de aireación, mismos que se dejaban sedimentar por un periodo de 30 minutos, una vez sedimentada la biomasa, se eliminaba el sobrenadante mediante sifonamiento.

Una vez sedimentada la biomasa, se cribaba la misma a través de dos tamices, uno del número 20 y otro del número 40 (0.850 y 0.425 micrómetros de abertura respectivamente) (ver Figura 4.4), para evitar en lo posible la recolección de sólidos inorgánicos de gran tamaño en la muestra.



**Fig. 4.4**  
**Proceso de obtención de lodos activados**  
**(cribado de la muestra)**

#### **4.3.4.- OPERACIÓN DEL REACTOR.**

Una vez obtenida la muestra de biomasa, se inoculó el reactor con la misma, el cual fue alimentado diariamente con agua residual cruda hasta las 24 horas posteriores de adicionar el complejo B; la Figura 4.5 muestra al reactor puesto en operación.



**Fig. 4.5**  
**Puesta en marcha de la unidad experimental**



## Capítulo V

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN



## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1.- RESULTADOS.

En la Tabla 5.1 y 5.2 se muestran los datos obtenidos como resultado del análisis llevado a cabo durante la experimentación; cabe hacer mención que los resultados mostrados son valores medios de varias mediciones realizadas en cada caso y el desglose completo de los mismos se presenta en los anexos A.2 a A.9.

#### 5.1.1.- RESUMEN DE LA DINÁMICA DE LOS DIVERSOS PARÁMETROS ANALIZADOS.

**Tabla 5.1**  
**Resultados de los diversos parámetros analizados**  
**correspondientes a la primera repetición**

Parámetro	Dosis analizada									
	Blanco	Dosis 1			Dosis 2			Dosis 3		
		(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)
pH (influyente)	7.48	7.45	7.44	7.43	7.48	7.38	7.39	7.48	7.37	7.46
pH (licor de mezcla)	7.43	7.39	7.38	7.33	7.39	7.26	7.36	7.40	7.20	7.34
pH (efluente)	7.33	7.33	7.32	7.32	7.14	7.31	7.31	7.33	7.26	7.31
DBO <sub>5</sub> influente (mg/L)	200.00	215.00	215.00	210.00	285.00	365.00	262.50	215.00	248.00	217.50
DBO <sub>5</sub> efluente (mg/L)	12.75	11.00	10.50	10.75	19.60	23.88	12.95	12.00	15.60	22.23
SSTLM (mg/L)	2128	2074	2136	2298	1460	1344	1500	2052	1040	136
SSVLM (mg/L)	358.00	352.00	324.00	298.00	232.00	212.00	176.00	388.00	140.00	22.00
IVL (ml/g)	123.46	191.03	285.58	335.24	187.47	217.46	191.31	175.44	134.62	390.63
Porcentaje de eficiencia de remoción de materia orgánica medida como DBO	94.13	95.00	95.00	94.89	92.91	93.46	95.07	94.42	93.71	89.78
VCO (mg/L O <sub>2</sub> /h)	13.52	14.18	17.43	6.79	12.19	15.03	14.26	11.03	14.24	8.54
A/M (mg/L DBO)//(mg/L SSVLM·d)	0.29	0.31	0.30	0.28	0.56	0.83	0.53	0.31	0.72	4.82
TCS (mg/L DBO cons.)//(mg/L SSTLM·h)	0.0112	0.0121	0.0120	0.0109	0.0218	0.0320	0.0210	0.0124	0.0279	0.1803
q (mg/L DBO cons.)//(mg/L SSVLM·h)	0.0662	0.0730	0.0770	0.0837	0.1404	0.2139	0.1885	0.0654	0.2075	1.4085
k	0.1350	0.1621	0.1759	0.1881	0.1616	0.2156	0.3493	0.1308	0.3192	1.5404
TCO (mg/L O <sub>2</sub> /)/(mg/L SSTLM·h)	0.0064	0.0066	0.0093	0.0030	0.0084	0.0113	0.0096	0.0054	0.0137	0.0630
TECO (mg/L O <sub>2</sub> /)/(mg/L SSVLM·h)	0.0380	0.0424	0.0538	0.0226	0.0559	0.0756	0.0861	0.0284	0.1017	0.4848
a (mg/L O <sub>2</sub> /)/(mg/L DBO cons)	0.5548	0.5850	0.6989	0.2713	0.3520	0.3527	0.4569	0.4346	0.4901	0.3432



**Tabla 5.2**  
**Resultados de los diversos parámetros analizados**  
**correspondientes a la segunda repetición**

Parámetro	Dosis analizada									
	Blanco	Dosis 1			Dosis 2			Dosis 3		
		(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)
pH (influyente)	7.48	7.45	7.44	7.46	7.86	7.88	7.93	7.66	7.42	7.65
pH (licor de mezcla)	7.43	7.39	7.39	7.41	7.72	7.18	7.20	7.42	7.25	7.16
pH (efluente)	7.33	7.35	7.34	7.35	7.69	7.25	7.37	7.24	7.26	7.35
DBO <sub>5</sub> influente (mg/L)	200.00	200.00	215.00	200.00	277.50	253.00	220.00	215.00	313.00	280.00
DBO <sub>5</sub> efluente (mg/L)	12.75	15.00	13.00	13.00	15.70	13.10	13.00	10.75	19.50	22.95
SSTLM (mg/L)	2128	2204	2516	2456	2232	2676	2892	2016	1680	1040
SSVLM (mg/L)	358.00	476.00	408.00	664.00	276.00	344.00	376.00	212.00	244.00	148.00
IVL (ml/g)	123.46	98.51	131.16	130.29	289.79	261.58	284.55	234.77	218.68	198.96
Porcentaje de eficiencia de remoción de materia orgánica medida como DBO	94.13	92.84	94.09	93.50	93.51	94.82	94.09	94.76	93.81	91.80
VCO (mg/L O <sub>2</sub> /h)	13.52	14.50	12.92	12.68	14.01	13.15	9.66	13.93	20.21	29.61
A/M (mg/L DBO)//(mg/L SSVLM d)	0.29	0.28	0.25	0.24	0.37	0.28	0.23	0.33	0.56	0.81
TCS (mg/L DBO cons.)//(mg/L SSTLM h)	0.0112	0.0108	0.0099	0.0095	0.0147	0.0112	0.0089	0.0131	0.0218	0.0309
q (mg/L DBO cons.)//(mg/L SSVLM h)	0.0662	0.0528	0.0613	0.0354	0.1210	0.0871	0.0678	0.1384	0.1486	0.2171
k	0.1350	0.0849	0.0980	0.0663	0.1611	0.1807	0.1244	0.2023	0.1722	0.2084
TCO (mg/L O <sub>2</sub> )//(mg/L SSTLM h)	0.0064	0.0066	0.0047	0.0053	0.0065	0.0048	0.0033	0.0064	0.0122	0.0280
TECO (mg/L O <sub>2</sub> )//(mg/L SSVLM h)	0.0380	0.0297	0.0336	0.0233	0.0508	0.0382	0.0257	0.0587	0.0828	0.1609
a (mg/L O <sub>2</sub> )//(mg/L DBO cons)	0.5548	0.6223	0.4992	0.5615	0.4179	0.4386	0.3675	0.5307	0.5575	0.9146

Notas.-

(I).- Celda estabilizada.

(II).- Efectos a las 8 horas de agregar el complejo B caduco.

(III).- Efectos a las 24 horas de agregar el complejo B caduco.

(DBO) Demanda biológica de oxígeno.

(SSTLM) Sólidos suspendidos totales en el licor de mezcla, expresado en mg/L.



(SSVLM).- Sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla, expresado en mg/L.

(IVL).- Índice volumétrico de lodo, expresado en ml/g. (Ver sección 4.2.5)

(VCO).- Velocidad de consumo de oxígeno, expresado en (mg/L O<sub>2</sub>)/(h). (Ver sección 4.2.6)

(A/M).- Relación alimento (expresado como demanda biológica de oxígeno): microorganismos, expresado en (mg/L DBO)/ (mg/L SSVLM-d). (Ver sección 4.2.7)

(TCS).- Tasa de consumo de sustrato, expresado como demanda biológica de oxígeno (Ver sección 4.2.8)

(q).- Tasa específica de consumo de sustrato expresado como demanda biológica de oxígeno, expresado en (mg DBO cons.)/ (mg SSVLM·h). (Ver sección 4.2.9)

(k).- Constante de velocidad de consumo de sustrato, expresado en (L)/(mg DBO)(d). (Ver sección 4.2.10)

(TCO).- Tasa de consumo de oxígeno. (Ver sección 4.2.11)

(TECO).- Tasa específica de consumo de oxígeno, expresado en (mg/L O<sub>2</sub>)/ (mg/L SSVLM·h). (Ver sección 4.2.12)

(a).-Constante de consumo de oxígeno para efectuar el metabolismo energético, expresado en (kg O<sub>2</sub>)/ (kg DBO). (Ver sección 4.2.13)

### **5.1.2- RESUMEN DE LA DINÁMICA DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA SELECCIONADAS.**

Como se mencionó en la sección 4.1.4, se efectuará un análisis estadístico tanto de las variables de respuesta como de las variables comparativas, utilizando los resultados obtenidos a las 24 horas de haber agregado el medicamento. En la Tabla 5.3 se muestra el valor medio de las observaciones de las variables de respuesta (TECO y q) y de las variables comparativas (secundarias) utilizadas para efectuar el análisis estadístico.



**Tabla 5.3**  
**Valor medio de las observaciones de las variables de respuesta (TECO y q)**  
**y de las variables comparativas**

Parámetro	Dosis analizada			Repetición
	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3	
TECO (mg/L O <sub>2</sub> )/ /(mg/L SSVLM·h)	0.0226	0.0861	0.4848	1
	0.0233	0.0257	0.1609	2
q (mg/L DBO cons.)/ /(mg/L SSVLM·h)	0.0837	0.1885	1.4085	1
	0.0354	0.0678	0.2171	2
VCO (mg/L O <sub>2</sub> /h)	6.79	14.26	8.54	1
	12.68	9.66	29.61	2
SSTLM (mg/L)	2298	1500	136	1
	2456	2892	1040	2
SSVLM (mg/L)	298	176	22	1
	664	376	148	2
Porcentaje de eficiencia de remoción de materia orgánica medida como DBO	94.89	95.07	89.78	1
	93.50	94.09	91.80	2
TCO (mg/L O <sub>2</sub> )/ /(mg/L SSTLM·h)	0.0030	0.0096	0.0630	1
	0.0053	0.0033	0.0280	2
TCS (mg/L DBO cons.)/ /(mg/L SSTLM·h)	0.0109	0.0210	0.1803	1
	0.0095	0.0089	0.0309	2



### 5.1.3.- RESUMEN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.

La Tabla 5.4 presenta los niveles de significancia estadística observada en cada prueba efectuada a las diversas variables de respuesta seleccionadas.

**Tabla 5.4**  
**Significancia observada en cada prueba estadística**

Parámetro	Prueba efectuada		
	F	Prueba Bartlett <sup>(a)</sup>	Prueba Shapiro-Wilk <sup>(b)</sup>
SSTLM	0.1355	0.3537	0.9098
SSVLM	0.2314	0.6854	0.8548
Eficiencia de Remoción de materia orgánica	0.0682	0.8394	0.3991
VCO	0.6162	0.3993	0.9223
TCO	0.1083	0.1397	0.6867
TCS	0.2528*	0.0834*	0.7168*
TECO	0.1085*	0.0518*	0.9727*
q	0.3627	0.0689	0.3769

Notas.-

(I).- El valor de nivel de significancia ( $\alpha$ ) seleccionado es del 5% (0.05).

(II).- \* Indica que se aplicó una transformación a los valores medios de las observaciones, (los valores transformados se muestran en la Tabla 5.5), ya que no se cumplían los supuestos del diseño, específicamente homogeneidad de varianzas. Dicha transformación fue aplicando la raíz cuadrada a las observaciones, es decir:

$$y = (x)^{0.5} \text{----- (Ec.16)}$$

**Tabla 5.5**  
**Observaciones de las variables (transformadas)**

Parámetro	Dosis analizada			Repetición
	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3	
TECO (mg/L O <sub>2</sub> .)/ /(mg/L SSVLM·h)	0.1503	0.2934	0.6962	1
	0.1526	0.1603	0.4011	2
TCS (mg/L DBO cons.)/ /(mg/L SSTLM·h)	0.1044	0.1449	0.4246	1
	0.0975	0.0943	0.1758	2

(III).- (a) Prueba utilizada para comprobar homogeneidad de varianzas. (Méndez y Moreno, 2003).

(IV).- (b) Prueba utilizada para comprobar normalidad de los errores. (Méndez y Moreno, 2003).



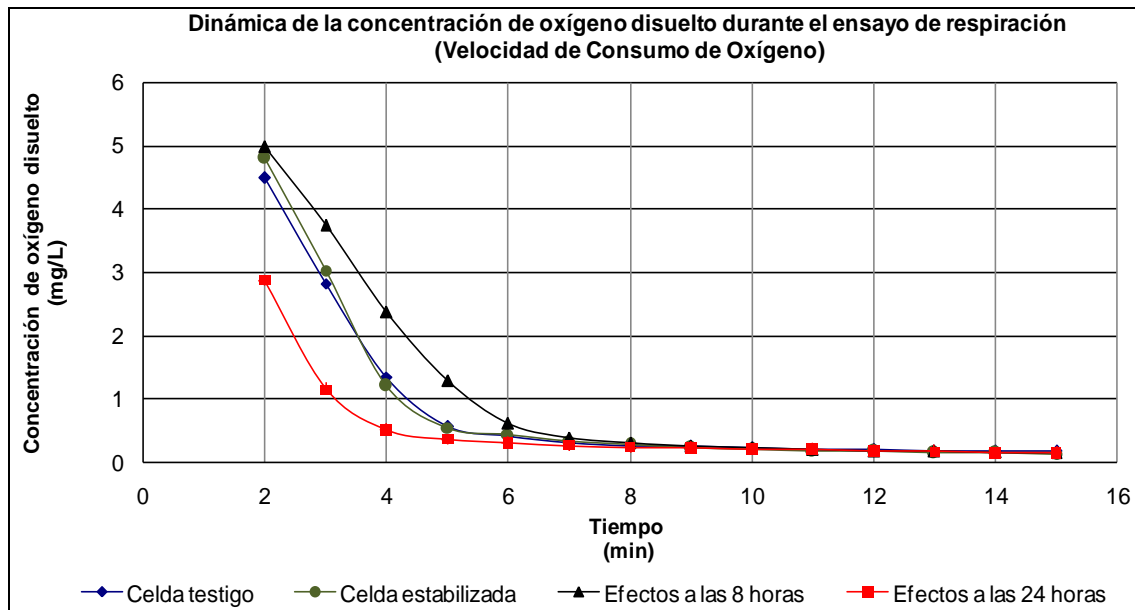


## 5.2.- DISCUSIÓN.

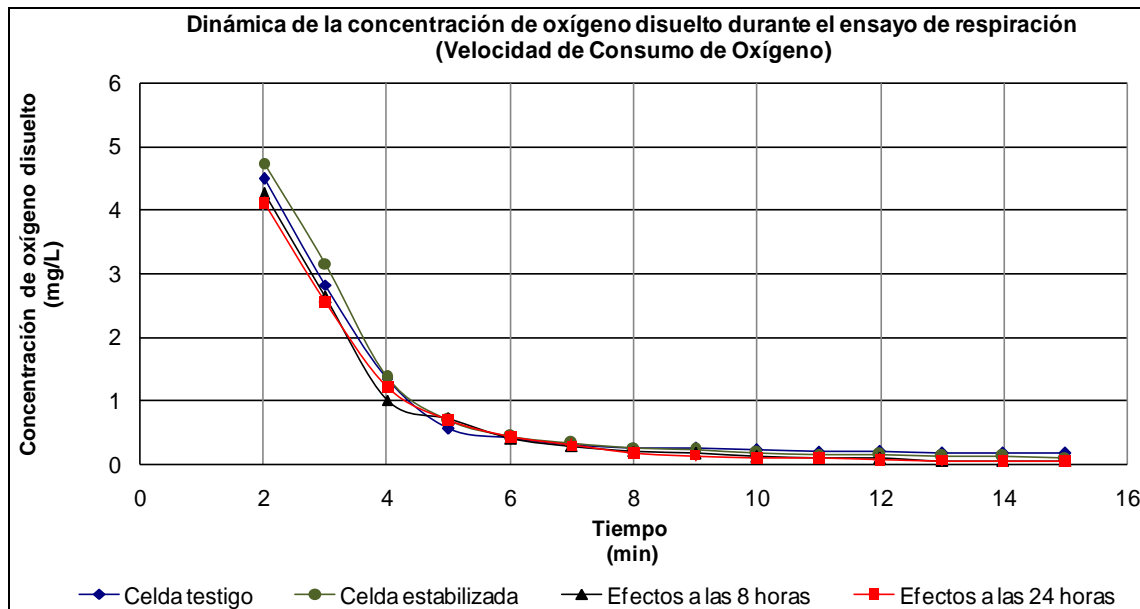
### 5.2.1.- VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO.

Como se puede observar en las Figuras 5.1 y 5.2, la adición de la primera dosis de complejo B al reactor produjo una disminución en la concentración de oxígeno disuelto durante el ensayo de respiración efectuado tanto a las 8 horas como a las 24 horas después de ser agregado el medicamento; dicha tendencia se logró observar en las Figuras 5.3 y 5.4, las cuales corresponden a la adición de la segunda dosis de complejo B al reactor. Dicho comportamiento se podría explicar como un efecto estimulador por parte del complejo B en el proceso biológico de lodos activados, lo que corrobora la información en la literatura previa (Burguess *et. al.*, 1999; Lind *et. al.*, 1998, Lemmer *et. al.*, 1994).

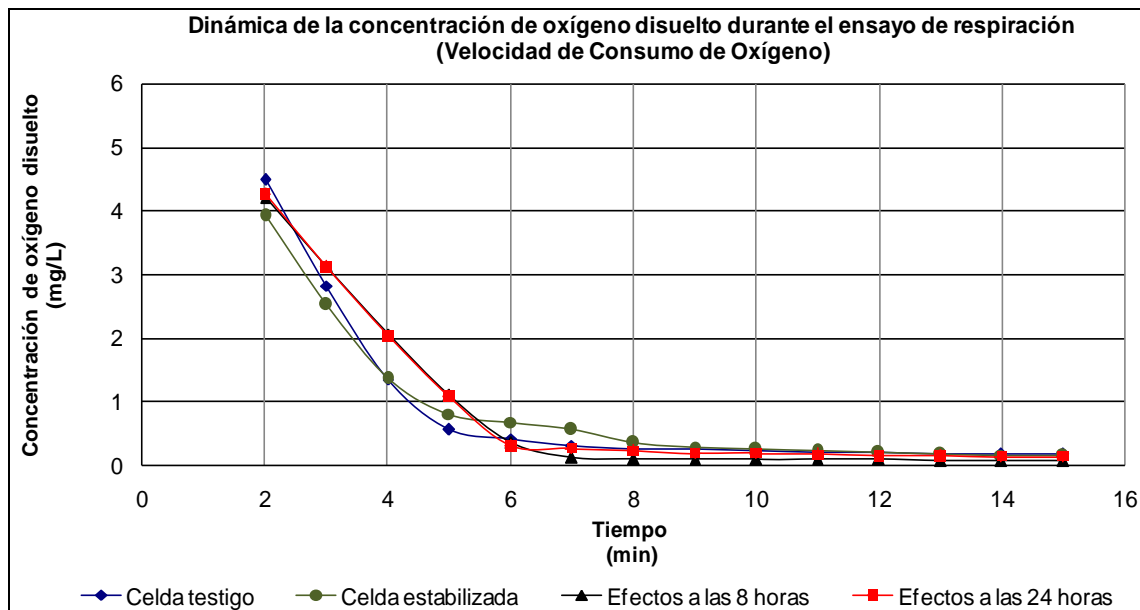
Sin embargo, el comportamiento mencionado no se logró reproducir al agregar la tercera dosis de complejo B al reactor, como lo muestran las Figuras 5.5 y 5.6, donde la concentración de oxígeno disuelto durante el ensayo de respiración fue superior tanto al control como en la celda utilizada, lo cual indica un efecto inhibitorio (Burguess *et. al.*, 1999) por parte del complejo B.



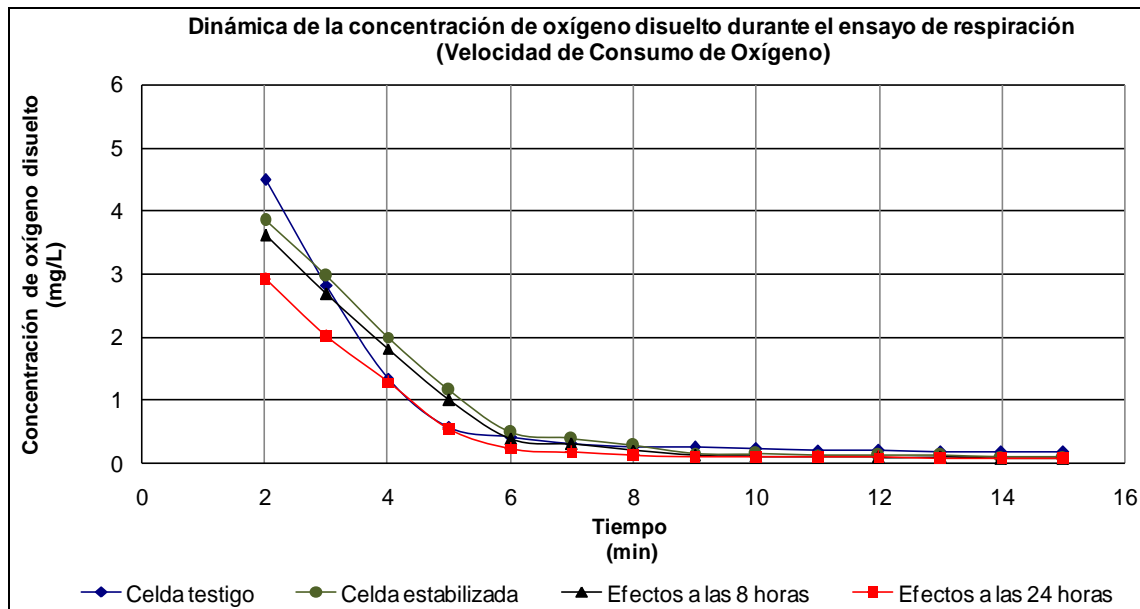
**Fig. 5.1**  
**Dinámica de la concentración de oxígeno disuelto durante el ensayo de respiración correspondiente a la dosis 1 de complejo B, repetición 1.**



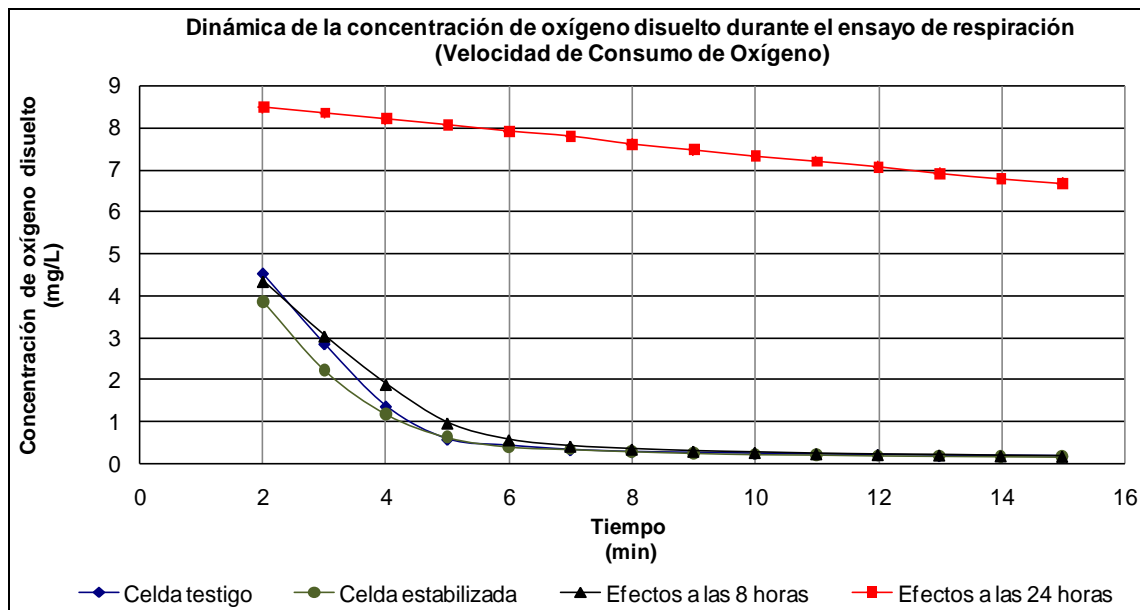
**Fig. 5.2**  
**Dinámica de la concentración de oxígeno disuelto durante el ensayo de respiración correspondiente a la dosis 1 de complejo B, repetición 2.**



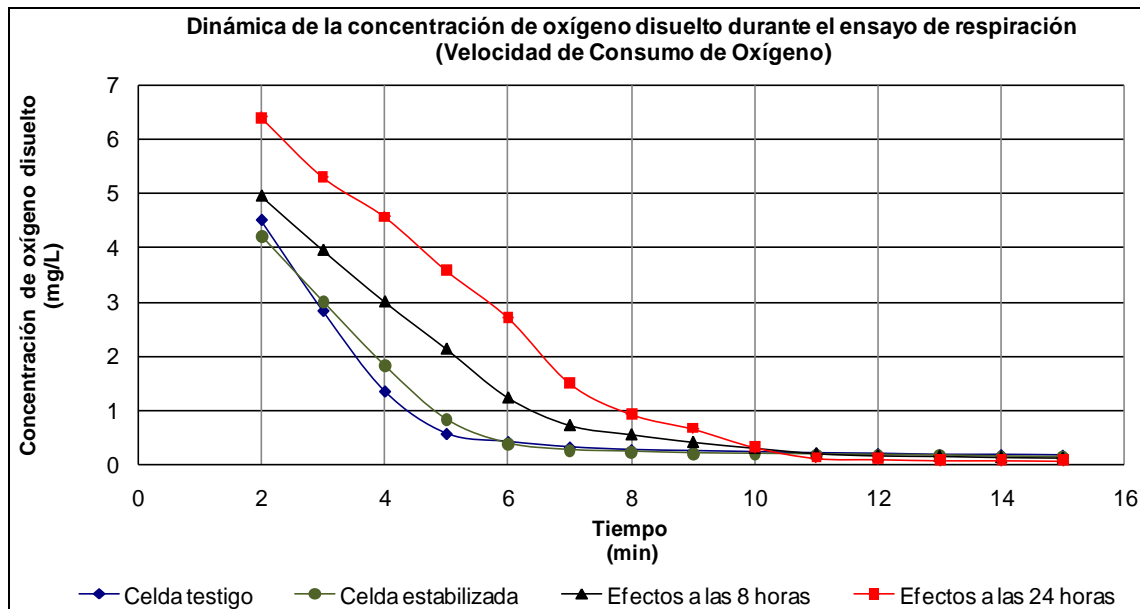
**Fig. 5.3**  
**Dinámica de la concentración de oxígeno disuelto durante el ensayo de respiración correspondiente a la dosis 2 de complejo B, repetición 1.**



**Fig. 5.4**  
Dinámica de la concentración de oxígeno disuelto durante el ensayo de respiración correspondiente a la dosis 2 de complejo B, repetición 2.



**Fig. 5.5**  
Dinámica de la concentración de oxígeno disuelto durante el ensayo de respiración correspondiente a la dosis 3 de complejo B, repetición 1.



**Fig. 5.6**  
**Dinámica de la concentración de oxígeno disuelto durante el ensayo de respiración correspondiente a la dosis 3 de complejo B, repetición 2.**

### 5.2.2- CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN EL LICOR DE MEZCLA.

En las Figuras 5.7 y 5.8 se puede observar que la adición de la primera dosis de complejo B produjo un aumento en la concentración de lodo, dicha tendencia se logró observar igualmente en la adición de la segunda dosis de complejo B al reactor, tanto en la primera como en la segunda repetición, (lo cual se puede interpretar como una variación común en la concentración de lodo), sin embargo, la adición de la tercera dosis de complejo B al reactor produjo un decaimiento en la concentración de lodo, tanto en la primera como en la segunda repetición. Cabe hacer mención, que dichos cambios aunque no fueron estadísticamente significativos ya que  $p\text{-value} = 0.1355$ ,  $\alpha = 0.05$  (ver Tabla 5.4), sí afectaron la operación del reactor, así mismo, se puede observar en la Fig. A.9.2. una clara tendencia hacia la disminución de la concentración de lodo al añadir la tercera dosis de complejo B, lo cual se puede interpretar como un efecto inhibitorio.

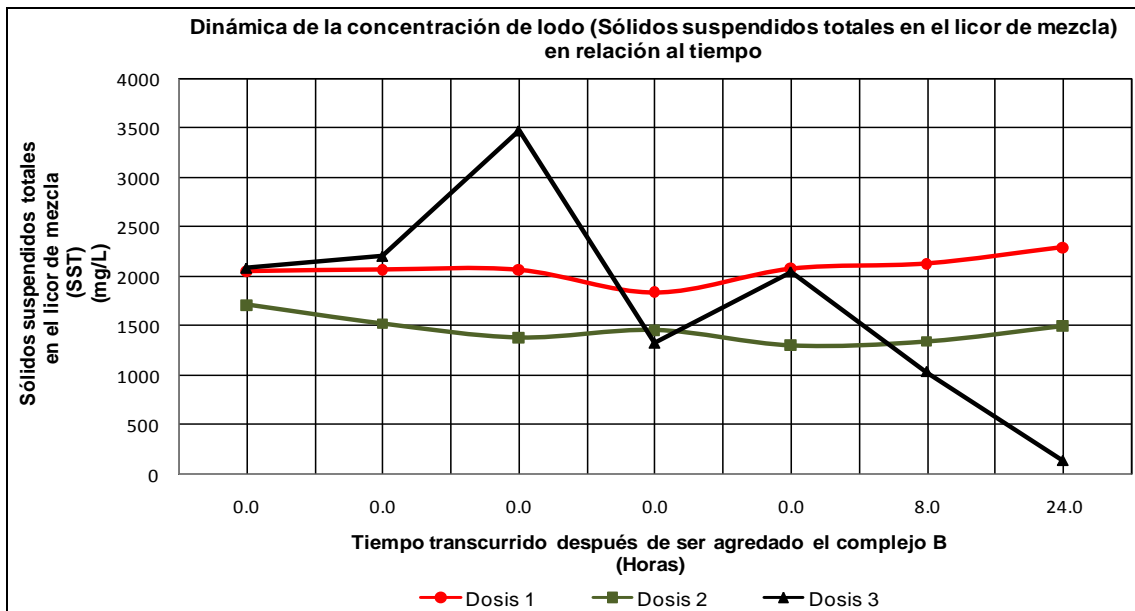


Fig. 5.7  
Dinámica de la concentración de lodo, correspondiente a la repetición 1.

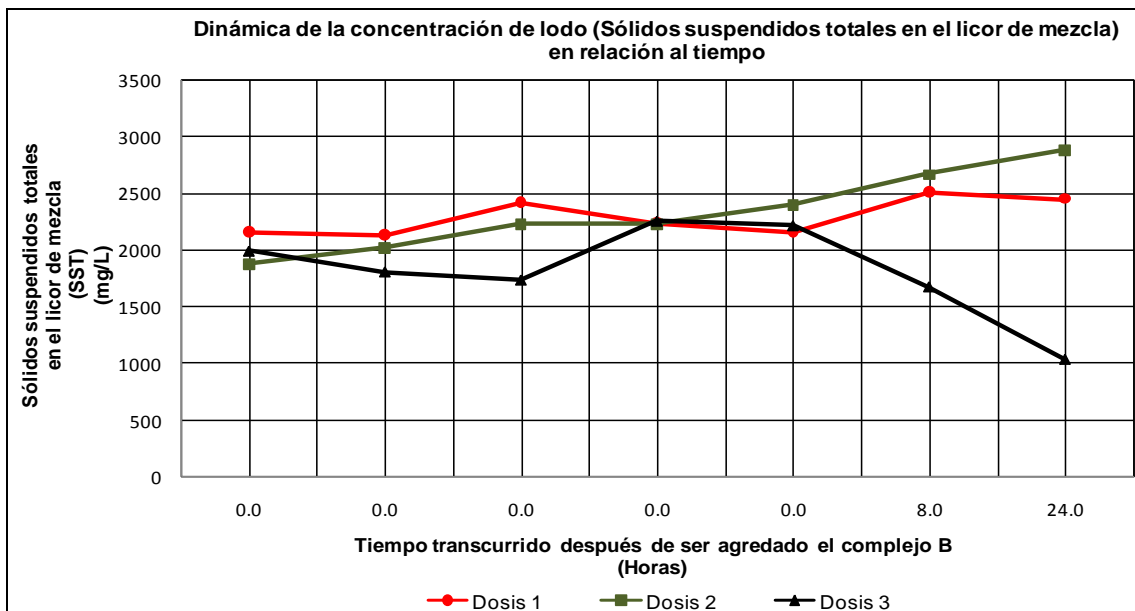


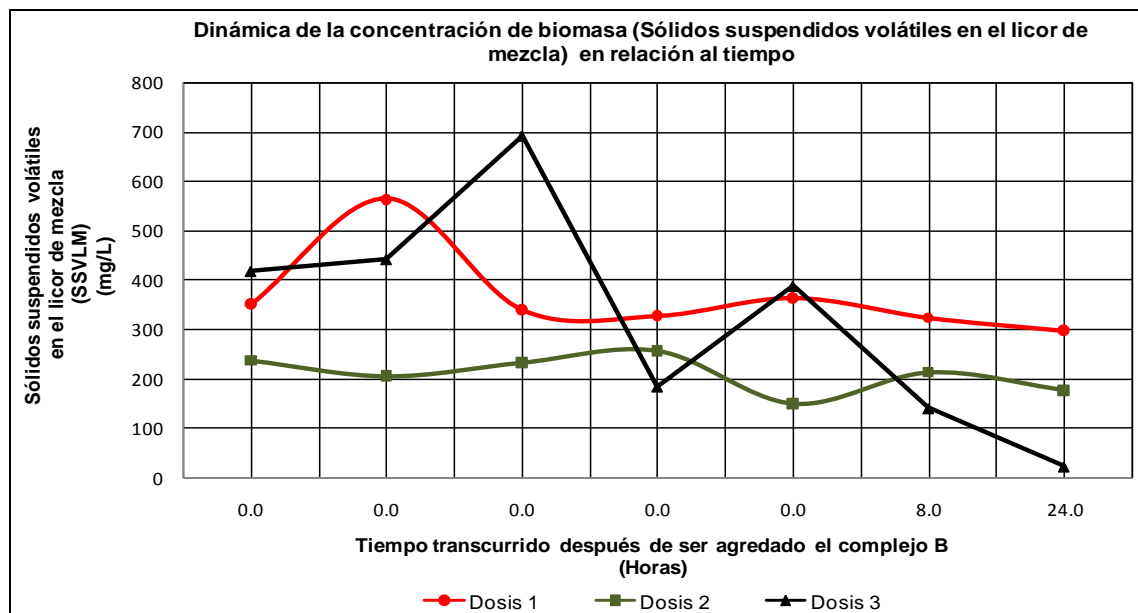
Fig. 5.8  
Dinámica de la concentración de lodo, correspondiente a la repetición 2.



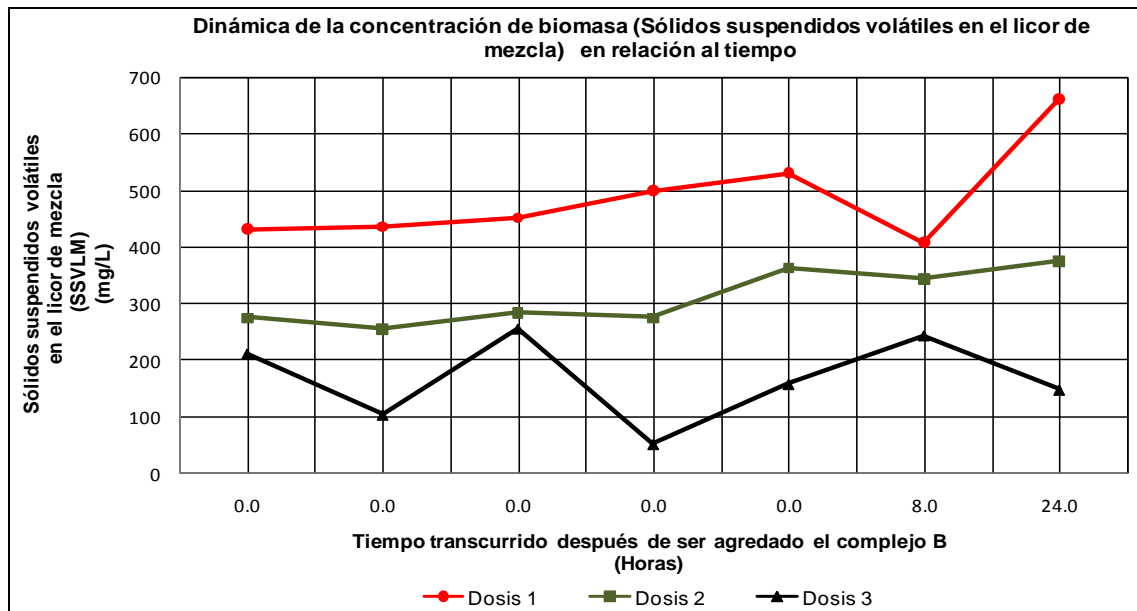
### 5.2.3.- CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN EL LICOR DE MEZCLA.

En las Figuras 5.9 y 5.10 se puede observar que la adición de la primera dosis de complejo B produjo un ligero aumento en la concentración de biomasa, tanto en la primera como en la segunda repetición; lo cual se logró observar al agregar la segunda dosis de complejo B al reactor, tanto en la primera como en la segunda repetición.

En cuanto a la adición de la tercera dosis de complejo B, la concentración de biomasa presentó un decaimiento en las dos repeticiones, dicho efecto se considera inhibitorio o tóxico mismo que se atribuye presumiblemente a la presencia del cobalto contenido en la cianocobalamina (vitamina B<sub>12</sub>) que forma parte del complejo B utilizado, en virtud, que dicho elemento ha demostrado producir efectos adversos en el crecimiento de los microorganismos. (Norberg and Molin, 1983).



**Fig. 5.9**  
**Dinámica de la concentración de biomasa, correspondiente a la repetición 1.**



**Fig. 5.10**  
**Dinámica de la concentración de biomasa, correspondiente a la repetición 2.**

Cabe hacer mención, que dichos cambios no fueron estadísticamente significativos ya que  $p\text{-value} = 0.2314$ ,  $\alpha = 0.05$  (ver Tabla 5.4), sin embargo, se puede observar en la Fig. A.9.3. una clara tendencia hacia la disminución de la concentración de biomasa al añadir la segunda como la tercera dosis de complejo B, lo cual se puede interpretar como un efecto inhibitorio.

#### 5.2.4.- EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA MEDIDA COMO DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO.

Las Figuras 5.11 y 5.12 indican la eficiencia de remoción de materia orgánica medida como demanda biológica de oxígeno mostrada por los microorganismos después de ser agregado el complejo B al reactor; como se puede apreciar, tanto la primera como la segunda dosis de complejo B presentan cambios en sus dos repeticiones, sin embargo, dichas variaciones se pueden considerar como normales. No obstante, la adición de la tercera dosis de complejo B al reactor, produjo una disminución en la eficiencia de remoción de materia orgánica.

Cabe mencionar, que dichos cambios fueron ligeramente significativos ya que  $p\text{-value} = 0.0682$ ,  $\alpha = 0.05$  (ver Tabla 5.4), así mismo, en la Fig. A.9.4. se observa una tendencia hacia la disminución de la eficiencia de remoción de materia orgánica al añadir la tercera dosis de complejo B, lo cual se puede interpretar como un efecto inhibitorio.

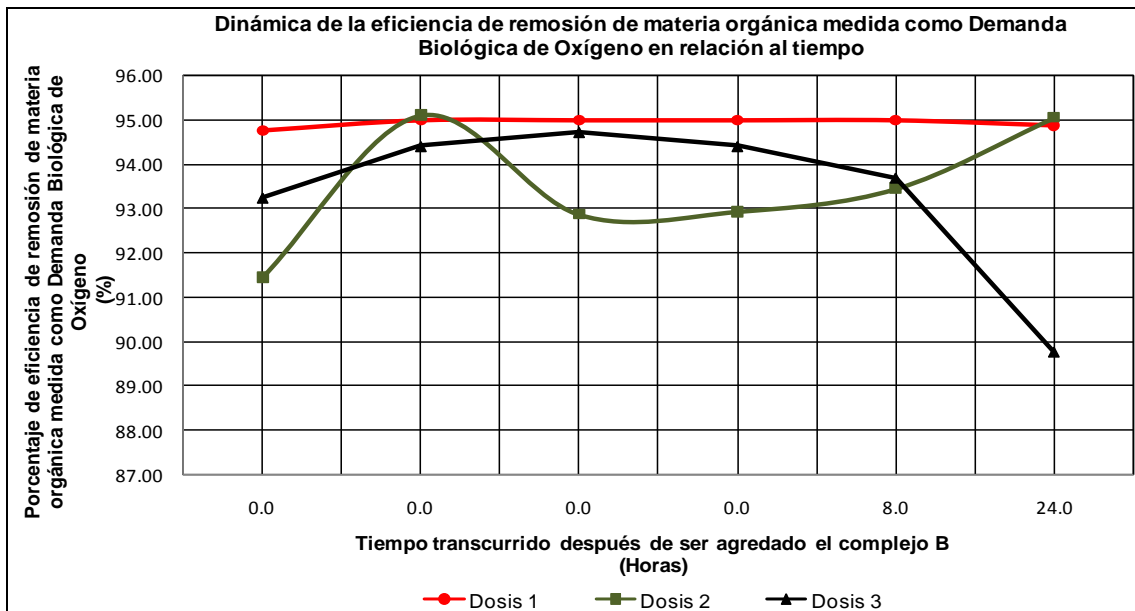


Fig. 5.11  
Dinámica de la eficiencia de remoción de materia orgánica medida como demanda biológica de oxígeno, correspondiente a la repetición 1.

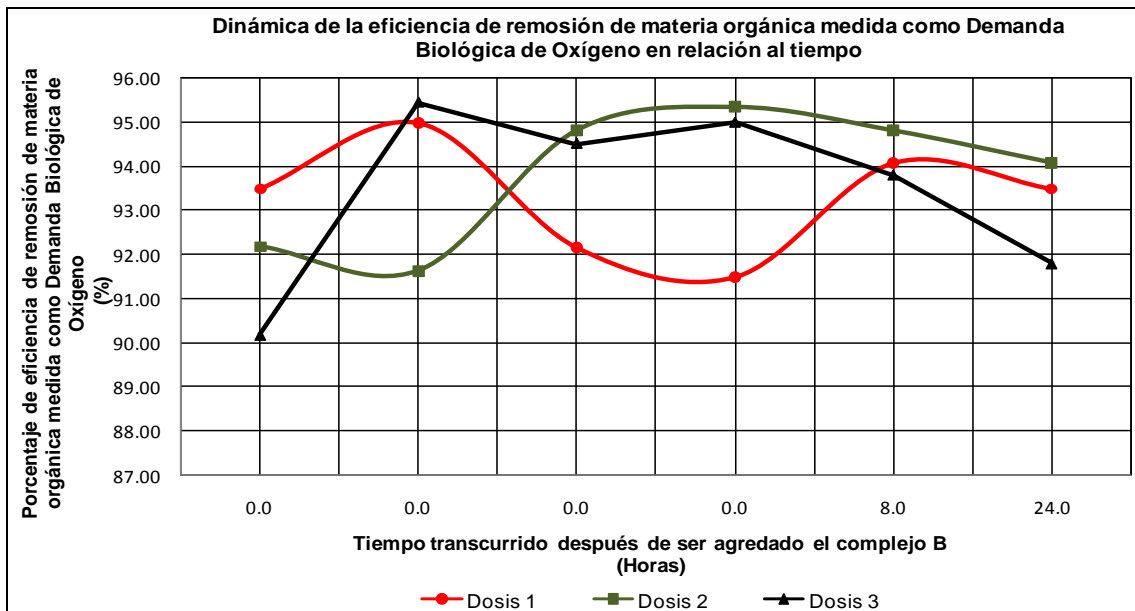


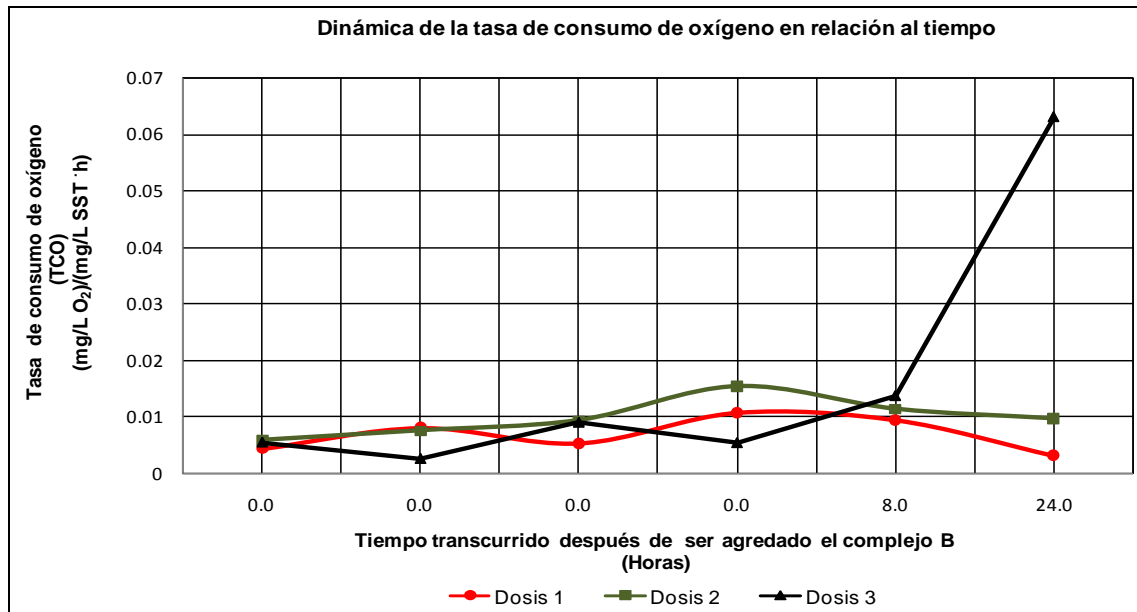
Fig. 5.12  
Dinámica de la tasa eficiencia de remoción de materia orgánica medida como Demanda Biológica de Oxígeno correspondiente a la repetición 2.



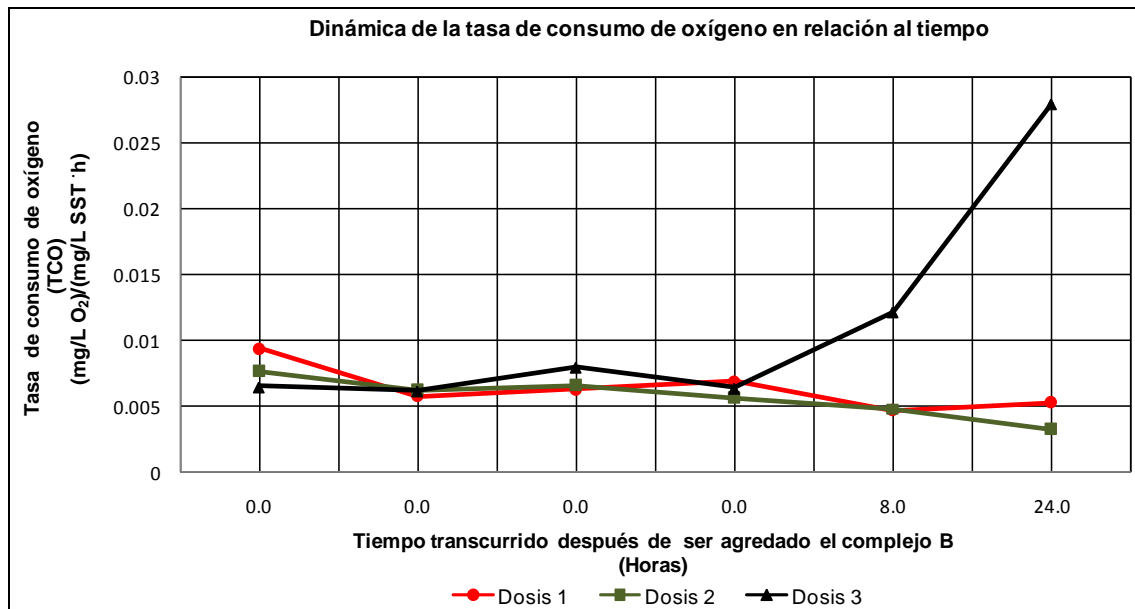


### 5.2.5.- TASA DE CONSUMO DE OXÍGENO.

Las Figuras 5.13 y 5.14 indican la tasa de consumo de oxígeno (TCO) mostrada por los microorganismos después de ser agregado el complejo B al reactor; como se puede observar, la primera dosis no produjo cambios significativos en ninguna de sus dos repeticiones, sin embargo en la segunda dosis se presenta una ligera disminución; aunque dicha variación no alteró la operación del proceso; sin embargo, la tercera dosis produjo un incremento (ver Fig. A.9.5) en la tasa de consumo de oxígeno, no obstante, dicho aumento no es estadísticamente significativo ya que  $p\text{-value} = 0.1083$ ,  $\alpha = 0.05$  (ver Tabla 5.4); por consiguiente, dicha variación se atribuye a la disminución de lodo en el reactor, es decir, no se asigna a la estimulación de los microorganismos, ya que como se puede observar en las Figuras 5.5 y 5.6, la concentración de oxígeno disuelto aumentó debido a la disminución de lodo en el reactor.



**Fig. 5.13**  
**Dinámica de la tasa de consumo de oxígeno correspondiente a la repetición 1.**

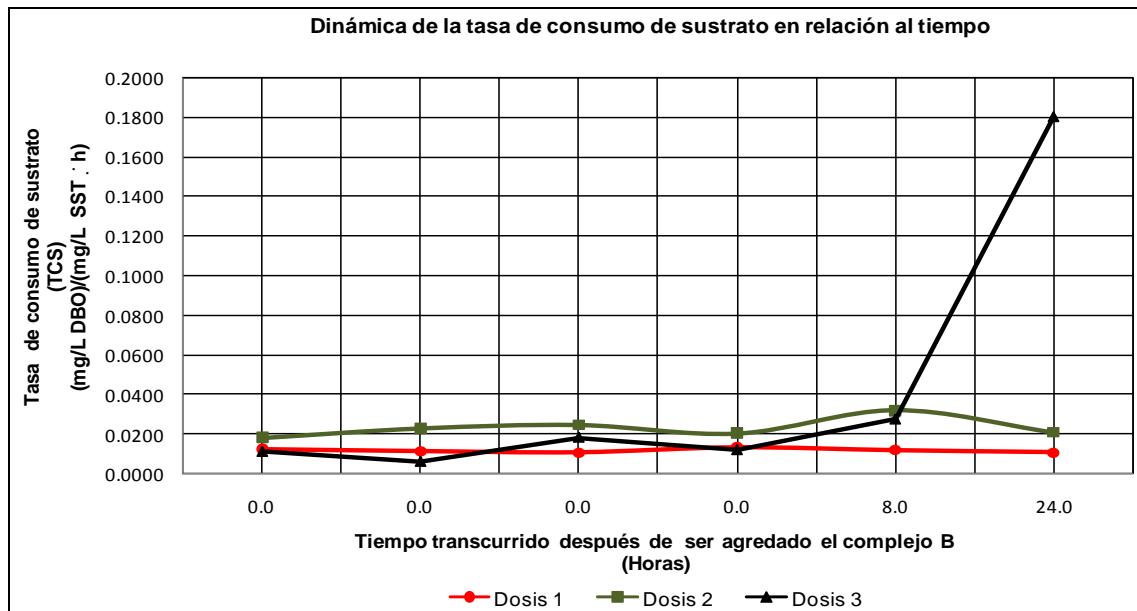


**Fig. 5.14**  
**Dinámica de la tasa de consumo de oxígeno correspondiente a la repetición 2.**

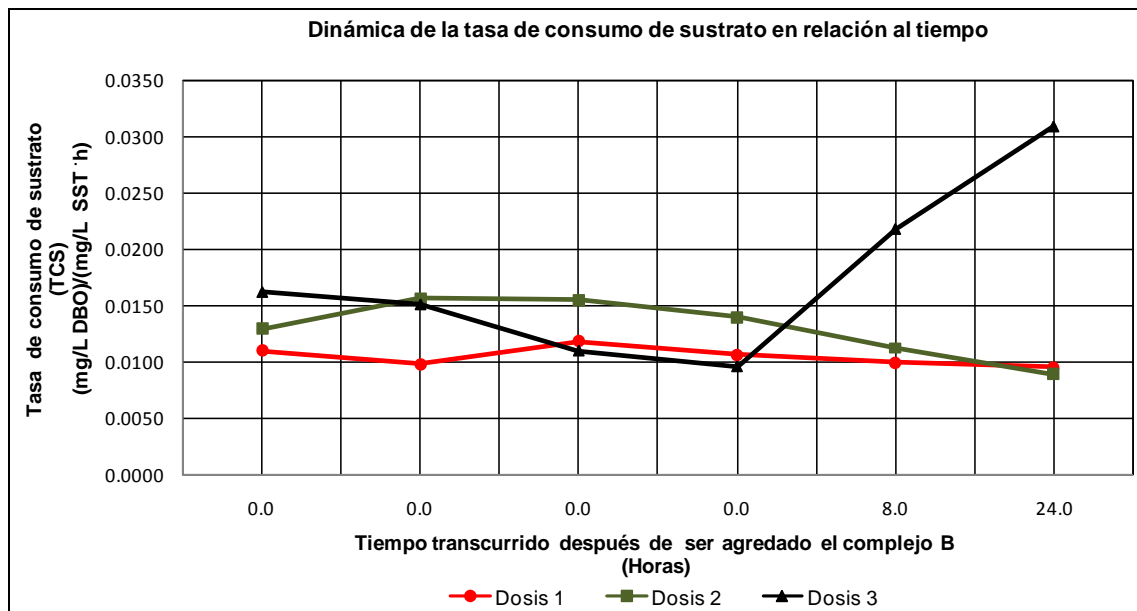
#### 5.2.6.- TASA DE CONSUMO DE SUSTRATO.

Las Figuras 5.15 y 5.16 indican la tasa de consumo de sustrato (TCS) mostrada por los microorganismos después de ser agregado el complejo B, como se puede apreciar, la adición de la primera y segunda dosis presenta variaciones en la tasa de consumo de sustrato, sin embargo, mencionados cambios no alteraron la operación del proceso, ya que no se logra reflejar en la eficiencia de remoción de materia orgánica medida como demanda biológica de oxígeno, tal como lo indican las Figuras 5.11 y 5.12, ya que la misma no sufre variaciones significativas.

No obstante, la adición de la tercera dosis de complejo B al reactor, produjo un aumento en la tasa de consumo de sustrato (TCS), tal como se puede apreciar en las Figuras 5.15 y 5.16; mencionado cambio no fue estadísticamente significativo ya que  $p\text{-value} = 0.2528$ ,  $\alpha = 0.05$  (ver Tabla 5.4) así mismo en la Fig. A.9.6 se observa una tendencia hacia el aumento de la TCS al añadir la tercera dosis de complejo B, sin embargo, dicho incremento se debe a la disminución de biomasa en el reactor, ya que como se puede observar en las Figuras 5.7 y 5.8, la adición de la tercera dosis provoca la disminución de la concentración de lodo en el reactor, no obstante, los microorganismos que permanecían en el licor de mezcla continuaban degradando la materia carbonosa, como se puede apreciar en las Figuras 5.11 y 5.12.



**Fig. 5.15**  
**Dinámica de la tasa de consumo de sustrato correspondiente a la repetición 1.**

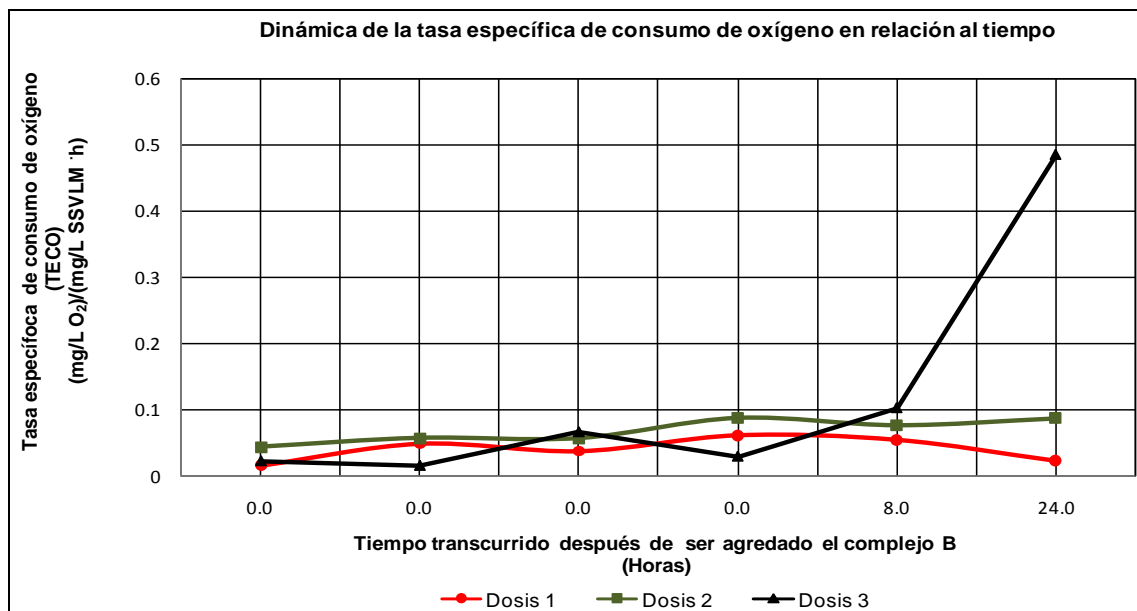


**Fig. 5.16**  
**Dinámica de la tasa de consumo de sustrato correspondiente a la repetición 2.**

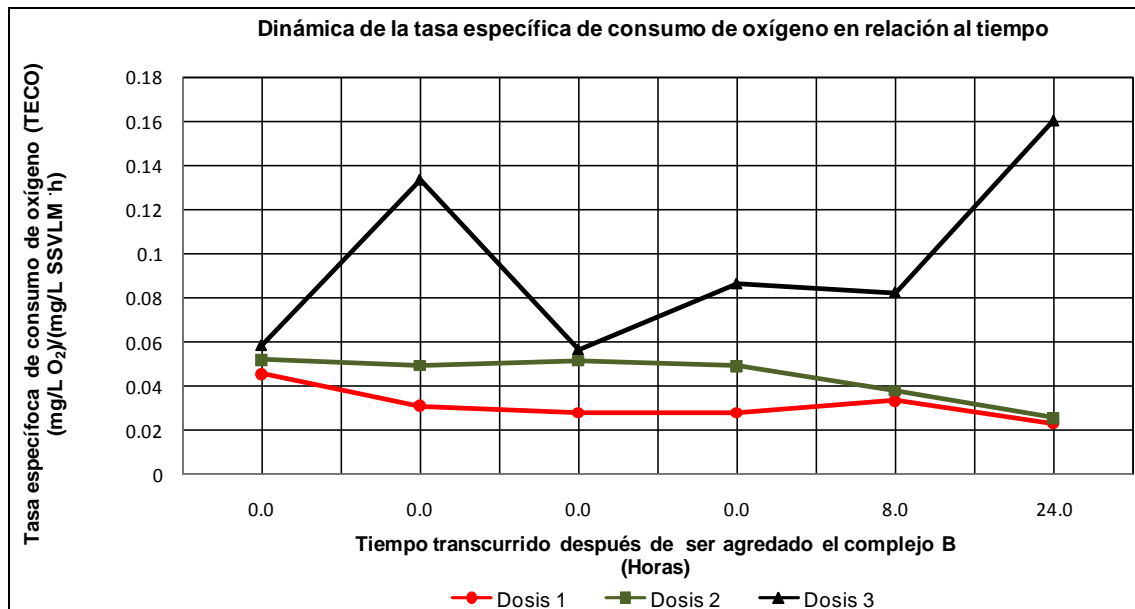


### 5.2.7.- TASA ESPECÍFICA DE CONSUMO DE OXÍGENO.

Las Figuras 5.17 y 5.18 indican la tasa específica de consumo de oxígeno (TECO) mostrada por los microorganismos después de ser agregado el complejo B; como se puede observar, la primera dosis no produjo cambios significativos en el proceso en ninguna de sus dos repeticiones, así mismo, la segunda dosis presenta un ligero cambio inhibitorio correspondiente a la segunda repetición, el cual no presentó alteraciones significativas en el proceso, en cambio, la tercera dosis produjo un incremento significativo en ambas repeticiones en la tasa específica de consumo de oxígeno, no obstante, dichos cambios no lograron ser estadísticamente significativos, ya que  $p\text{-value} = 0.1085$ ,  $\alpha = 0.05$  (ver Tabla 5.4), así mismo en la Fig. A.9.7. se observa una tendencia hacia el aumento de la TECO al añadir la segunda y tercera dosis de complejo B, mencionada tendencia se atribuye a la disminución de biomasa en el reactor, es decir, no se relaciona directamente a la estimulación de los microorganismos, ya que como se puede observar en la Figura A.9.3, la adición de la tercera dosis provoca la disminución de la concentración de biomasa en el reactor.



**Fig. 5.17**  
**Dinámica de la tasa específica de consumo de oxígeno correspondiente a la repetición 1.**



**Fig. 5.18**  
**Dinámica de la tasa específica de consumo de oxígeno correspondiente a la repetición 2.**

### 5.2.8.- TASA ESPECÍFICA DE CONSUMO DE SUSTRATO.

Las Figuras 5.19 y 5.20 indican la tasa específica de consumo de sustrato ( $q$ ) mostrada por los microorganismos después de ser agregado el complejo B al reactor, como se puede apreciar, la adición de la primera dosis de complejo B presenta ligeros efectos inhibitorios correspondientes a la segunda repetición, así mismo, en la segunda repetición correspondiente a la segunda dosis de complejo B se presentan efectos inhibitorios, sin embargo, mencionados efectos se pueden considerar como variaciones comunes, ya que no presentaron cambios en la operación del reactor, así mismo, mencionados efectos no se logran reflejar en la eficiencia de remoción de materia orgánica medida como demanda biológica de oxígeno, tal como lo indican las Figuras 5.11 y 5.12; ya que la misma no sufre variaciones significativas.

No obstante, la adición de la tercera dosis de complejo B, produjo un incremento en la tasa específica de consumo de sustrato ( $q$ ), tal como se puede apreciar en las Figuras 5.15 y 5.16, sin embargo, mencionados cambios no fueron estadísticamente significativos ya que  $p\text{-value} = 0.3627$ ,  $\alpha = 0.05$  (ver Tabla 5.4) así mismo en la Fig. A.9.8 se observa una tendencia hacia el aumento de la  $q$  al añadir la tercera dosis de complejo B, mencionada tendencia se atribuye a la disminución de biomasa en el reactor, ya que como se puede observar en la Figuras A.9.3, la adición de la tercera dosis provoca la disminución de la concentración de biomasa en el reactor, sin embargo,



los microorganismos que permanecían en el licor de mezcla continuaban degradando la materia carbonosa, como se puede apreciar en las Figuras 5.11 y 5.12. Es decir, la presencia de complejo B en el reactor produjo efectos adversos, los cuales no inhibieron por completo la actividad de los microorganismos presentes en el licor de mezcla.

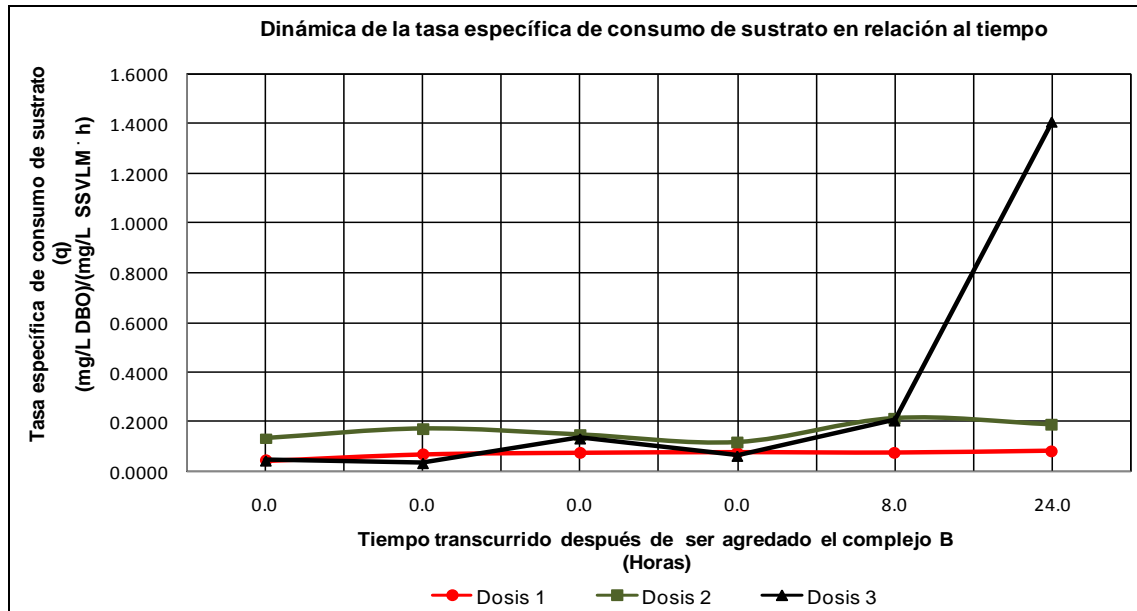


Fig. 5.19  
Dinámica de la tasa específica de consumo de sustrato correspondiente a la repetición 1.

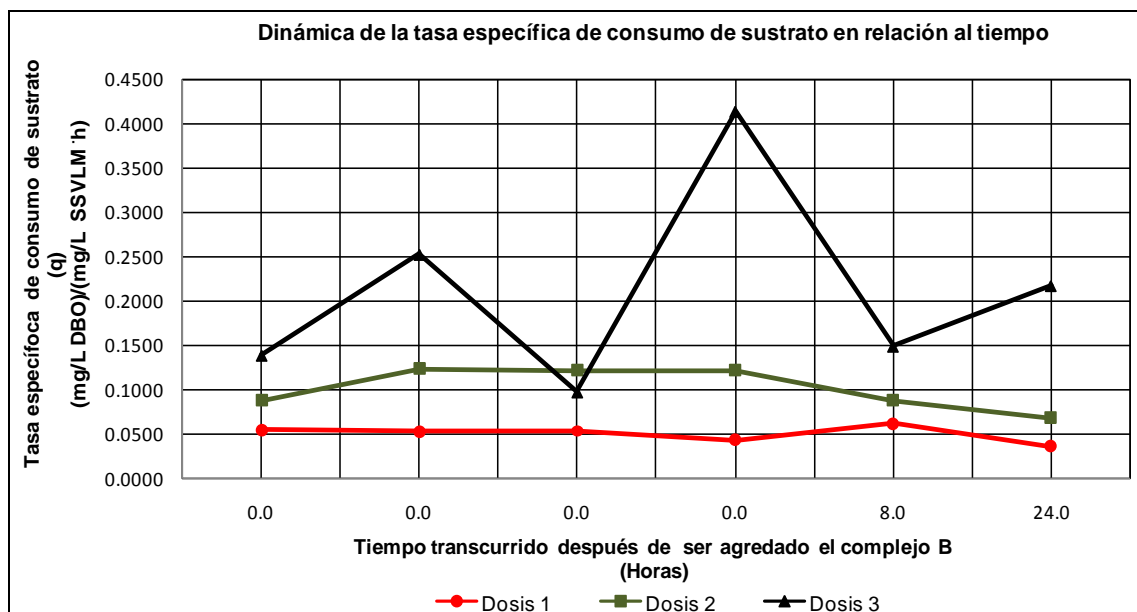


Fig. 5.20  
Dinámica de la tasa específica de consumo de sustrato correspondiente a la repetición 2.



## Capítulo VI

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



## VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1.- CONCLUSIONES

Se definió mediante la realización de una encuesta sobre *riesgo ambiental*, que el tipo de medicamento que con mayor frecuencia caduca en los hogares, es del tipo antibiótico y del tipo vitamínico, de los cuales la vitamina B es la más común y que el método utilizado con mayor frecuencia para su disposición final es el drenaje municipal, así como la combinación con los residuos sólidos urbanos.

Se seleccionó la vitamina complejo B de los medicamentos aconsejables por el Centro Nacional de Prevención de Desastres para disponerlos al drenaje sanitario, considerando que esta vitamina es la que se usa con más frecuencia entre la población.

Se determinó la eficiencia del sistema debido a la presencia de la vitamina complejo B caduca considerando diversos parámetros físicos, químicos, biológicos y cinéticos, tales como: demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos en el reactor, tasa específica de consumo de oxígeno, tasa específica de consumo de sustrato, eficiencia de remoción de materia orgánica medida como demanda biológica de consumo de oxígeno, índice volumétrico de lodo, velocidad de consumo de oxígeno. Con todo ello, se encontró que existe un efecto inhibitorio por parte de la vitamina complejo B; ya que se logró observar; que para un tiempo de retención hidráulico de 8 horas, y una dosis de 100 mg/L de tiamina, 5 mg/L de piridoxina y 50 µg/L de cianocobalamina se presenta una disminución de 5% y 3% aproximadamente en la eficiencia de remoción de materia orgánica medida como demanda biológica de oxígeno (tanto en la primera como en la segunda repetición), así como una disminución de 95% y 30% aproximadamente en la concentración de sólidos suspendidos volátiles presentes en el licor de mezcla medidos tanto en la primera como en la segunda repetición.

Se evaluaron los efectos del complejo B caduco en el proceso biológico de lodos activados utilizando modelos a nivel de laboratorio (celdas tipo Eckenfelder), determinándose que el proceso biológico es susceptible de presentar cambios significativos en su desempeño, ya que se observó que el sustrato (vitamina complejo B) utilizado a dosis altas (100 mg/L de tiamina, 5 mg/L de piridoxina y 50 µg/L de cianocobalamina ) provoca una disminución en la concentración de biomasa debido presumiblemente a la presencia del cobalto contenido en la cianocobalamina (vitamina B12).





Finalmente, la presencia de grandes cantidades de complejo B caduco en las aguas residuales que llegan a una planta de tratamiento afecta de manera desfavorable la tasa específica de consumo de oxígeno así como la tasa específica de consumo de sustrato de los microorganismos presentes en el tanque del proceso biológico de lodos activados, con lo cual se acepta la hipótesis de trabajo.

## 6.2.- RECOMENDACIONES

De acuerdo a los lineamientos de disposición de medicamentos caducos emitida por la Organización Mundial de la Salud, las vitaminas en general pueden ser dispuestas mediante el drenaje sanitario municipal, sin embargo, en el presente trabajo, se pudo observar que mencionado método de disposición no es adecuado, ya que en una concentración de  $50 \text{ mg/m}^3$  de cianocobalamina (vitamina B12) impacta negativamente el proceso biológico de lodos activados de una planta de tratamiento (operando con un tiempo de retención hidráulico de 8 horas), debido a que las vitaminas contienen metales que afectan el desempeño de la planta de tratamiento.

Se recomienda efectuar estudios empleando diversos procesos biológicos, tales como los reactores de película fija, en virtud de que los procesos mencionados son más resistentes a la presencia de sustancias tóxicas.

Se recomienda llevar a cabo estudios empleando agua sintética, para tener mayor control de las condiciones que puedan interferir en el desarrollo experimental.

Así mismo, se recomienda realizar estos estudios a pie de planta, debido a los gastos de influente necesarios para mantener en condiciones óptimas la operación del reactor.



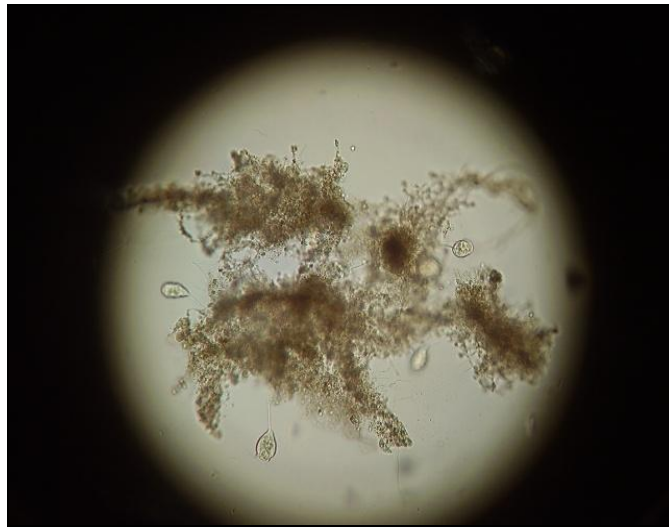
## ANEXOS

## ANEXO A.1.- ANÁLISIS MICROSCÓPICO.

A continuación se muestran diversas imágenes obtenidas durante las observaciones microscópicas efectuadas a lo largo de la experimentación.

### 1.1.- ANÁLISIS MICROSCÓPICO EFECTUADO AL LICOR DE MEZCLA CONTENIDO EN LA CELDA UTILIZADA PARA EL TESTIGO.

En las Figuras A.1.1.1 y A.1.1.2 se presenta la microflora existente en el licor de mezcla una vez estabilizada la celda, donde se pueden observar microorganismos del tipo ciliados sésiles o fijos, entre los cuales se encuentran los del tipo *vorticella* (Figura A.1.1.2).



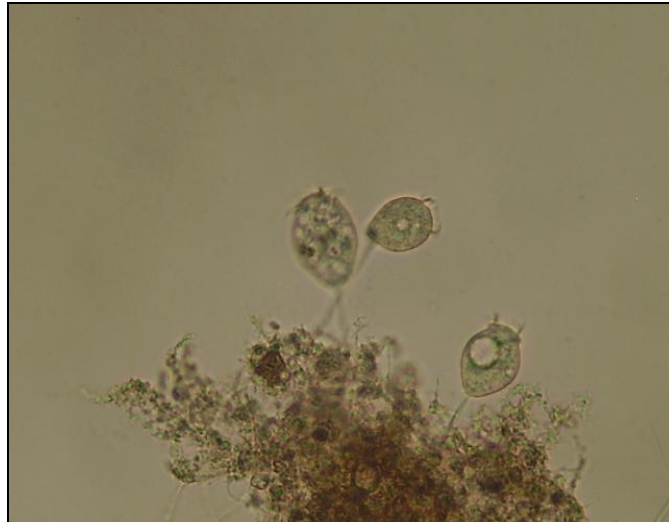
**Fig. A.1.1.1**  
**Microflora típica presente en el licor de mezcla**  
**(celda testigo)**



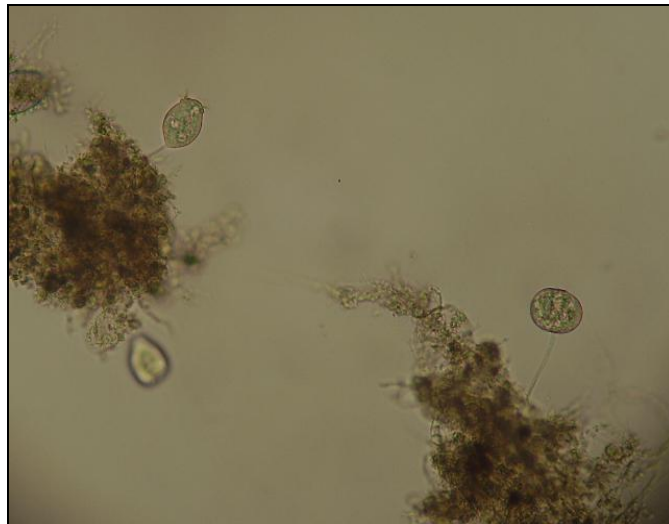
**Fig. A.1.1.2**  
**Microflora típica presente en el licor de mezcla**  
**(celda testigo)**

**1.2.- ANÁLISIS MICROSCÓPICO EFECTUADO AL LICOR DE MEZCLA CONTENIDO EN LA CELDA UTILIZADA PARA LA DOSIS 1 DE COMPLEJO B CADUCO.**

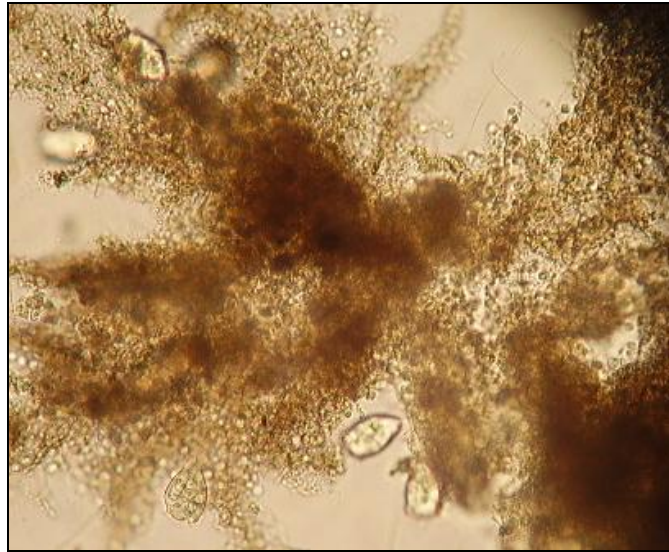
En las Figuras A.1.2.1 y A.1.2.2 se muestra la microflora existente en el licor de mezcla una vez estabilizada la celda, donde se pueden observar microorganismos del tipo ciliados sésiles o fijos. En las Figuras A.1.2.3 y A.1.2.4 se observa la microflora existente en el licor de mezcla después de agregar el complejo B al reactor, en ambos casos, los microorganismos observados son del tipo ciliados sésiles. Cabe hacer mención, que el comportamiento observado de dichos microorganismos se consideró normal, después de haber sido agregado el medicamento, es decir, el complejo B no propició cambios significativos tanto en los tipos de microorganismos ni en su comportamiento.



**Fig. A.1.2.1**  
**Microflora típica presente en el licor de mezcla**  
**(dosis 1, estabilización)**



**Fig. A.1.2.2**  
**Microflora típica presente en el licor de mezcla**  
**(dosis 1, estabilización)**



**Fig. A.1.2.3**  
**Microflora típica presente en el licor de mezcla**  
**(dosis 1, efectos a las 24 horas)**



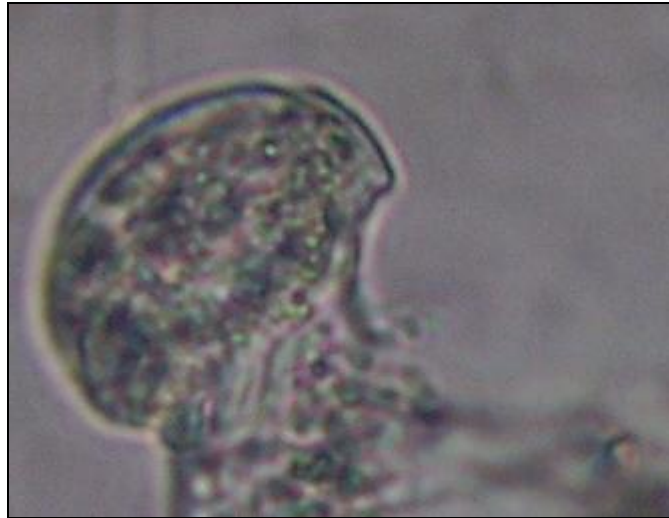
**Fig. A.1.2.4**  
**Microflora típica presente en el licor de mezcla**  
**(dosis 1, efectos a las 24 horas)**

### 1.3.- ANÁLISIS MICROSCÓPICO EFECTUADO AL LICOR DE MEZCLA CONTENIDO EN LA CELDA UTILIZADA PARA LA DOSIS 2 DE COMPLEJO B CADUCO.

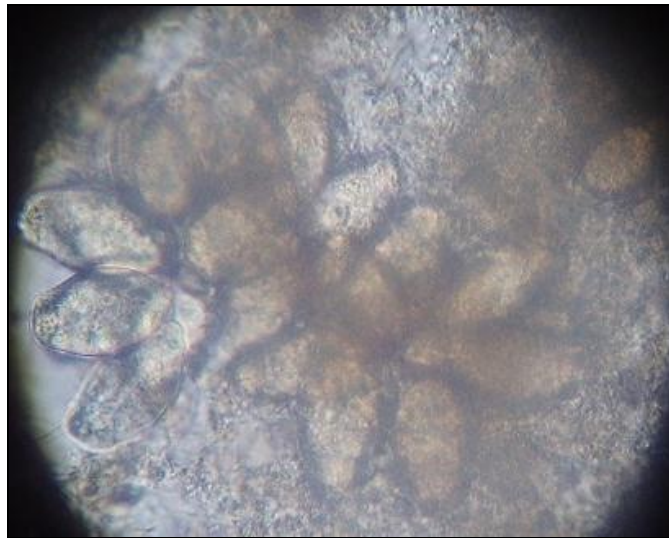
En las Figuras A.1.3.1 y a.1.3.2 se muestra la microflora existente en el licor de mezcla una vez estabilizada la celda, donde se pueden observar microorganismos del tipo ciliados sésiles (entre los cuales se distinguen los del tipo *vorticella*, Figura A.1.3.1). En las Figuras A.1.3.3 y A.1.3.4 se puede observar la microflora existente en el licor de mezcla después de agregar el complejo B al reactor, los organismos que se aprecian son del tipo ciliados sésiles (entre los cuales se pueden encontrar los del tipo *opercularia* Figuras. A.1.3.3 y A.1.3.4). Cabe hacer mención, que el comportamiento presentado de dichos microorganismos se consideró normal, después de haber sido agregado el medicamento, al igual que en el caso de la dosis 1, el complejo B no propició cambios significativos tanto en los tipos de microorganismos ni en su comportamiento.



**Fig. A.1.3.1**  
**Microflora típica presente en el licor de mezcla**  
**(dosis 2, estabilización)**



**Fig. A.1.3.2**  
Microflora típica presente en el licor de mezcla  
(dosis 2, estabilización)



**Fig. A.1.3.3**  
Microflora típica presente en el licor de mezcla  
(dosis 2, repetición 1, efectos a las 24 horas)





**Fig. A.1.3.4**  
**Microflora típica presente en el licor de mezcla**  
**(dosis 2, efectos a las 24 horas)**

**1.4.- ANÁLISIS MICROSCÓPICO EFECTUADO AL LICOR DE MEZCLA CONTENIDO EN LA CELDA UTILIZADA PARA LA DOSIS 3 DE COMPLEJO B CADUCO.**

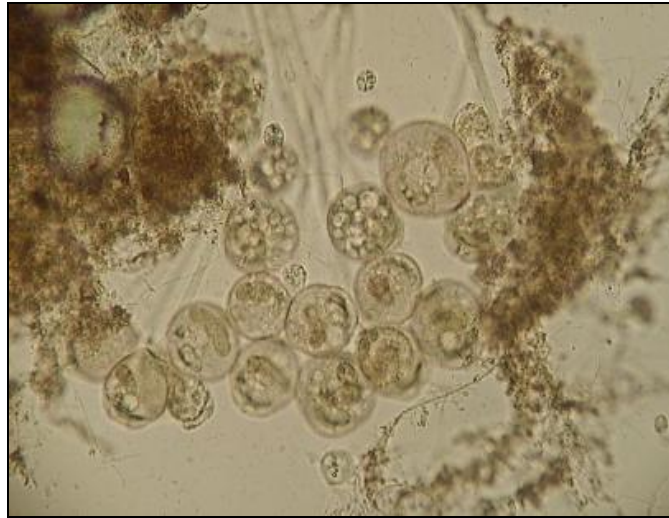
En las Figuras A.1.4.1 y A.1.4.2 se puede observar la microflora existente en el licor de mezcla una vez estabilizada la celda, donde se muestran microorganismos del tipo ciliados sésiles. En las Figuras A.1.4.3 y A.1.4.4 se presenta la microflora existente en el licor de mezcla después de agregar el complejo B al reactor, los microorganismos encontrados son del tipo ciliado sésiles (del tipo *opercularia* y del tipo *epistylis* Figuras A.1.4.3 y A.1.4.4 respectivamente). Cabe hacer mención, que se observó un ligero cambio en el comportamiento de dichos microorganismos, ya que la movilidad de sus cilios era ligeramente menor, en relación a las observaciones realizadas antes de agregar el medicamento



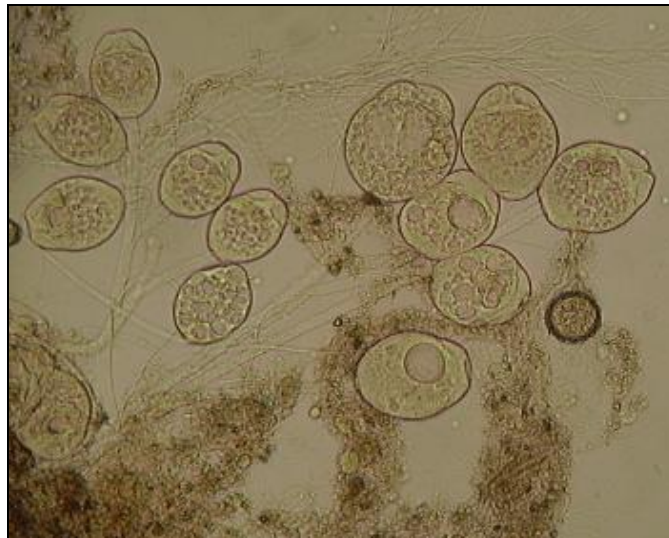
**Fig. A.1.4.1**  
**Microflora típica presente en el licor de mezcla**  
**(dosis 3, estabilización)**



**Fig. A.1.4.2**  
**Microflora típica presente en el licor de mezcla**  
**(dosis 3, estabilización)**



**Fig. A.1.4.3**  
**Microflora típica presente en el licor de mezcla**  
**(dosis 3, efectos a las 24 horas)**



**Fig. A.1.4.4**  
**Microflora típica presente en el licor de mezcla**  
**(dosis 3, efectos a las 24 horas)**



**ANEXO A.2.- PARÁMETROS (VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO Y SÓLIDOS PRESENTES EN EL LICOR DE MEZCLA) CORRESPONDIENTES A LA CELDA TESTIGO**

**2.1.- ESTABILIZACIÓN DE CELDA TESTIGO.**

**Tabla A.2.1**  
**Velocidad de consumo de oxígeno media registrada**  
**(testigo)**

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	4.49
3	2.82
4	1.34
5	0.56
6	0.41
7	0.31
8	0.26
9	0.24
10	0.22
11	0.20
12	0.19
13	0.17
14	0.17
15	0.16

**Tabla A.2.2**  
**Sólidos presentes en el licor de mezcla**  
**(testigo)**

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
3290	2060	1230	2140	1564	576	1150	496	654	
3305	2460	845	2152	1824	328	1153	636	517	
2840	2010	830	2116	1836	280	724	174	550	
3135	2290	845	2052	1664	388	1083	626	457	
<b>Media =</b>	<b>3212.5000</b>	<b>2175.0000</b>	<b>845.0000</b>	<b>2128.0000</b>	<b>1744.0000</b>	<b>358.0000</b>	<b>1116.5000</b>	<b>561.0000</b>	<b>533.5000</b>



**ANEXO A.3.- PARÁMETROS (VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO Y SÓLIDOS PRESENTES EN EL LICOR DE MEZCLA) CORRESPONDIENTES A LA CELDA PARA DOSIS 1. (REPETICIÓN 1)**

**3.1.- ESTABILIZACIÓN DE CELDA PARA DOSIS 1. (REPETICIÓN 1)**

**Tabla A.3.1**  
**Velocidad de consumo de oxígeno media registrada**  
**(Dosis 1, repetición 1, estabilización)**

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	4.80
3	3.02
4	1.20
5	0.54
6	0.44
7	0.33
8	0.27
9	0.22
10	0.20
11	0.18
12	0.16
13	0.15
14	0.14
15	0.13

**Tabla A.3.2**  
**Sólidos presentes en el licor de mezcla**  
**(Dosis 1, repetición 1, estabilización)**

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
2835	1960	875	2076	1512	564	759	448	311
2865	1980	885	2072	1732	340	793	248	545
2820	2110	710	1848	1520	328	972	590	382
2825	1970	855	2084	1720	364	741	250	491
<b>Media = 2830.0000</b>	<b>1975.0000</b>	<b>865.0000</b>	<b>2074.0000</b>	<b>1620.0000</b>	<b>352.0000</b>	<b>776.0000</b>	<b>349.0000</b>	<b>436.5000</b>



3.2- SUMINISTRO DE DOSIS 1. (REPETICIÓN 1, EFECTOS A LAS 8 HORAS)

Tabla A.3.3  
Velocidad de consumo de oxígeno media registrada  
(Dosis 1, repetición 1, efectos a las 8 horas)

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	4.97
3	3.73
4	2.37
5	1.28
6	0.60
7	0.38
8	0.29
9	0.25
10	0.22
11	0.19
12	0.17
13	0.16
14	0.15
15	0.14

Tabla A.3.4  
Sólidos presentes en el licor de mezcla  
(Dosis 1, repetición 1, efectos a las 8 horas)

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
2920	2090	830	2096	1756	340	824	334	490	
2920	2155	765	2136	1832	304	784	323	461	
2940	2180	760	2204	1880	324	736	300	436	
Media =	2920.0000	2155.0000	765.0000	2136.0000	1832.0000	324.0000	784.0000	323.0000	461.0000



3.3- SUMINISTRO DE DOSIS 1. (REPETICIÓN 1, EFECTOS A LAS 24 HORAS)

Tabla A.3.5  
Velocidad de consumo de oxígeno media registrada  
(Dosis 1, repetición 1, efectos a las 24 horas)

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	2.87
3	1.14
4	0.50
5	0.36
6	0.30
7	0.26
8	0.23
9	0.22
10	0.20
11	0.19
12	0.17
13	0.16
14	0.15
15	0.14

Tabla A.3.6  
Sólidos presentes en el licor de mezcla  
(Dosis 1, repetición 1, efectos a las 24 horas)

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
3020	2295	725	2336	2024	312	684	271	413	
3180	2350	830	2260	1976	284	920	374	546	
Media =	3100.0000	2322.5000	777.5000	2298.0000	2000.0000	298.0000	802.0000	322.5000	479.5000



**ANEXO A.4.- PARÁMETROS (VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO Y SÓLIDOS PRESENTES EN EL LICOR DE MEZCLA) CORRESPONDIENTES A LA CELDA PARA DOSIS 2. (REPETICIÓN 1)**

**4.1.- ESTABILIZACIÓN DE CELDA PARA DOSIS 2. (REPETICIÓN 1)**

**Tabla A.4.1**  
**Velocidad de consumo de oxígeno media registrada**  
**(Dosis 2, repetición 1, estabilización)**

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	3.91
3	2.52
4	1.36
5	0.80
6	0.67
7	0.56
8	0.34
9	0.28
10	0.24
11	0.21
12	0.19
13	0.16
14	0.15
15	0.14

**Tabla A.4.2**  
**Sólidos presentes en el licor de mezcla**  
**(Dosis 2, repetición 1, estabilización)**

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
2335	1635	700	1716	1480	236	619	155	464
2080	1435	645	1524	1320	204	556	115	441
1825	1285	540	1384	1152	232	441	133	308
1850	1310	540	1460	1204	148	390	106	392
1745	1260	485	1304	1156	232	441	104	253
<b>Media = 1850.0000</b>	<b>1310.0000</b>	<b>540.0000</b>	<b>1460.0000</b>	<b>1204.0000</b>	<b>232.0000</b>	<b>441.0000</b>	<b>115.0000</b>	<b>392.0000</b>





4.2- SUMINISTRO DE DOSIS 2. (REPETICIÓN 1, EFECTOS A LAS 8 HORAS)

Tabla A.4.3  
Velocidad de consumo de oxígeno media registrada  
(Dosis 2, repetición 1, efectos a las 8 horas)

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	4.20
3	3.13
4	2.07
5	1.09
6	0.35
7	0.11
8	0.09
9	0.09
10	0.08
11	0.08
12	0.08
13	0.07
14	0.07
15	0.06

Tabla A.4.4  
Sólidos presentes en el licor de mezcla  
(Dosis 2, repetición 1, efectos a las 8 horas)

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
1985	1285	700	1344	1132	212	641	153	488	
1960	1510	450	1324	1136	188	636	374	262	
2010	1060	950	1364	1128	236	646	-68	714	
Media =	1985.0000	1285.0000	700.0000	1344.0000	1132.0000	212.0000	641.0000	153.0000	488.0000



4.3- SUMINISTRO DE DOSIS 2. (REPETICIÓN 1, EFECTOS A LAS 24 HORAS)

Tabla A.4.5  
Velocidad de consumo de oxígeno media registrada  
(Dosis 2, repetición 1, efectos a las 24 horas)

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	4.25
3	3.11
4	2.04
5	1.07
6	0.30
7	0.26
8	0.21
9	0.18
10	0.18
11	0.16
12	0.15
13	0.14
14	0.13
15	0.13

Tabla A.4.6  
Sólidos presentes en el licor de mezcla  
(Dosis 2, repetición 1, efectos a las 24 horas)

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
2080	1365	715	1500	1324	176	580	41	539	
2055	1365	690	1480	1324	156	575	41	534	
2105	1365	740	1512	1312	200	593	53	540	
Media =	2080.0000	1365.0000	715.0000	1500.0000	1324.0000	176.0000	580.0000	41.0000	539.0000



**ANEXO A.5.- PARÁMETROS (VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO Y SÓLIDOS PRESENTES EN EL LICOR DE MEZCLA) CORRESPONDIENTES A LA CELDA PARA DOSIS 3. (REPETICIÓN 1)**

**5.1.- ESTABILIZACIÓN DE CELDA PARA DOSIS 3. (REPETICIÓN 1)**

**Tabla A.5.1**  
**Velocidad de consumo de oxígeno media registrada**  
**(Dosis 3, repetición 1, estabilización)**

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	3.84
3	2.20
4	1.16
5	0.61
6	0.39
7	0.33
8	0.28
9	0.24
10	0.21
11	0.20
12	0.18
13	0.17
14	0.16
15	0.15

**Tabla A.5.2**  
**Sólidos presentes en el licor de mezcla**  
**(Dosis 3, repetición 1, estabilización)**

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
4230	3035	1195	3484	2792	692	746	243	503	
1900	1305	595	1328	1144	184	572	161	411	
3135	2290	845	2052	1664	388	1083	626	457	
Media =	3135.0000	2290.0000	845.0000	2052.0000	1664.0000	388.0000	746.0000	243.0000	457.0000



5.2- SUMINISTRO DE DOSIS 3. (REPETICIÓN 1, EFECTOS A LAS 8 HORAS)

Tabla A.5.3  
Velocidad de consumo de oxígeno media registrada  
(Dosis 3, repetición 1, efectos a las 8 horas)

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	4.32
3	3.02
4	1.87
5	0.95
6	0.55
7	0.40
8	0.33
9	0.28
10	0.25
11	0.22
12	0.20
13	0.19
14	0.17
15	0.16

Tabla A.5.4  
Sólidos presentes en el licor de mezcla  
(Dosis 3, repetición 1, efectos a las 8 horas)

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
1650	1050	600	1040	900	140	610	150	460	
1655	1045	610	1008	880	128	647	165	482	
1630	1065	565	1060	900	160	570	165	405	
Media =	1650.0000	1050.0000	600.0000	1040.0000	900.0000	140.0000	610.0000	165.0000	460.0000



5.3- SUMINISTRO DE DOSIS 3. (REPETICIÓN 1, EFECTOS A LAS 24 HORAS)

Tabla A.5.5  
Velocidad de consumo de oxígeno media registrada  
(Dosis 3, repetición 1, efectos a las 24 horas)

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	8.48
3	8.34
4	8.20
5	8.06
6	7.91
7	7.79
8	7.60
9	7.46
10	7.31
11	7.19
12	7.06
13	6.90
14	6.77
15	6.66

Tabla A.5.6  
Sólidos presentes en el licor de mezcla  
(Dosis 3, repetición 1, efectos a las 24 horas)

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
775	245	530	128	116	12	647	129	518	
795	240	555	144	112	32	651	128	523	
Media =	785.0000	242.5000	542.5000	136.0000	114.0000	22.0000	649.0000	128.5000	520.5000



**ANEXO A.6.- PARÁMETROS (VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO Y SÓLIDOS PRESENTES EN EL LICOR DE MEZCLA) CORRESPONDIENTES A LA CELDA PARA DOSIS 1. (REPETICIÓN 2)**

**6.1.- ESTABILIZACIÓN DE CELDA PARA DOSIS 1. (REPETICIÓN 2)**

**Tabla A.6.1**  
**Velocidad de consumo de oxígeno media registrada**  
**(Dosis 1, repetición 2, estabilización)**

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	4.73
3	3.15
4	1.35
5	0.68
6	0.43
7	0.32
8	0.26
9	0.21
10	0.17
11	0.15
12	0.14
13	0.12
14	0.11
15	0.10

**Tabla A.6.2**  
**Sólidos presentes en el licor de mezcla**  
**(Dosis 1, repetición 2, estabilización)**

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
2710	1865	845	2132	1696	436	578	169	409
3000	2175	825	2424	1972	452	576	203	373
2845	2245	600	2244	1744	500	601	501	100
2810	2200	610	2164	1632	532	646	568	78
<b>Media = 2827.5000</b>	<b>2187.5000</b>	<b>717.5000</b>	<b>2204.0000</b>	<b>1720.0000</b>	<b>476.0000</b>	<b>589.5000</b>	<b>352.0000</b>	<b>236.5000</b>



6.2 - SUMINISTRO DE DOSIS 1. (REPETICIÓN 2, EFECTOS A LAS 8 HORAS)

**Tabla A.6.3**  
**Velocidad de consumo de oxígeno media registrada**  
**(Dosis 1, repetición 2, efectos a las 8 horas)**

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	4.26
3	2.63
4	1.01
5	0.71
6	0.40
7	0.28
8	0.20
9	0.16
10	0.12
11	0.10
12	0.09
13	0.05
14	0.05
15	0.05

**Tabla A.6.4**  
**Sólidos presentes en el licor de mezcla**  
**(Dosis 1, repetición 2, efectos a las 8 horas)**

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
3105	2545	560	2772	2572	200	333	-27	360	
2920	1925	995	2516	1688	828	404	237	167	
3040	2260	780	2044	1636	408	996	624	372	
<b>Media =</b>	<b>3040.0000</b>	<b>2260.0000</b>	<b>780.0000</b>	<b>2516.0000</b>	<b>1688.0000</b>	<b>408.0000</b>	<b>404.0000</b>	<b>237.0000</b>	<b>360.0000</b>



6.3- SUMINISTRO DE DOSIS 1. (REPETICIÓN 2, EFECTOS A LAS 24 HORAS)

Tabla A.6.5  
Velocidad de consumo de oxígeno media registrada  
(Dosis 1, repetición 2, efectos a las 24 horas)

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	4.10
3	2.55
4	1.21
5	0.69
6	0.42
7	0.29
8	0.17
9	0.13
10	0.10
11	0.09
12	0.07
13	0.05
14	0.04
15	0.04

Tabla A.6.6  
Sólidos presentes en el licor de mezcla  
(Dosis 1, repetición 2, efectos a las 24 horas)

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
3275	1930	1345	2304	1776	528	971	154	817	
2975	2035	940	2532	1868	664	443	167	276	
3345	2260	1085	2456	1564	892	889	696	193	
Media =	3275.0000	2035.0000	1085.0000	2456.0000	1776.0000	664.0000	889.0000	167.0000	276.0000





**ANEXO A.7.- PARÁMETROS (VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO Y SÓLIDOS PRESENTES EN EL LICOR DE MEZCLA) CORRESPONDIENTES A LA CELDA PARA DOSIS 2. (REPETICIÓN 2)**

**7.1.- ESTABILIZACIÓN DE CELDA PARA DOSIS 2. (REPETICIÓN 2)**

**Tabla A.7.1**  
**Velocidad de consumo de oxígeno media registrada**  
**(Dosis 2, repetición 2, estabilización)**

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	3.84
3	2.96
4	1.99
5	1.14
6	0.47
7	0.38
8	0.27
9	0.15
10	0.14
11	0.13
12	0.12
13	0.11
14	0.10
15	0.10

**Tabla A.7.2**  
**Sólidos presentes en el licor de mezcla**  
**(Dosis 2, repetición 2, estabilización)**

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
2430	1790	640	1880	1604	276	550	186	364	
2560	1930	630	2024	1768	256	536	162	374	
2815	2035	780	2232	1948	284	583	87	496	
2775	2055	720	2232	1956	276	543	99	444	
2940	2165	775	2404	2040	364	536	125	411	
<b>Media =</b>	<b>2775.0000</b>	<b>2035.0000</b>	<b>720.0000</b>	<b>2232.0000</b>	<b>1948.0000</b>	<b>276.0000</b>	<b>543.0000</b>	<b>125.0000</b>	<b>411.0000</b>



7.2- SUMINISTRO DE DOSIS 2. (REPETICIÓN 2, EFECTOS A LAS 8 HORAS)

Tabla A.7.3  
Velocidad de consumo de oxígeno media registrada  
(Dosis 2, repetición 2, efectos a las 8 horas)

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	3.61
3	2.67
4	1.81
5	1.00
6	0.37
7	0.29
8	0.20
9	0.11
10	0.10
11	0.09
12	0.08
13	0.08
14	0.07
15	0.07

Tabla A.7.4  
Sólidos presentes en el licor de mezcla  
(Dosis 2, repetición 2, efectos a las 8 horas)

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
3360	2545	815	2676	2372	304	684	173	511	
3225	2440	785	2812	2428	384	413	12	401	
3145	2385	760	2596	2252	344	549	133	416	
Media =	3225.0000	2440.0000	785.0000	2676.0000	2372.0000	344.0000	549.0000	133.0000	416.0000



7.3- SUMINISTRO DE DOSIS 2. (REPETICIÓN 2, EFECTOS A LAS 24 HORAS)

Tabla A.7.5  
Velocidad de consumo de oxígeno media registrada  
(Dosis 2, repetición 2, efecto a las 24 horas)

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	2.91
3	2.01
4	1.27
5	0.53
6	0.21
7	0.16
8	0.11
9	0.10
10	0.10
11	0.09
12	0.08
13	0.07
14	0.07
15	0.07

Tabla A.7.6  
Sólidos presentes en el licor de mezcla  
(Dosis 2, repetición 2, efectos a las 24 horas)

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
3476	2532	944	2832	2480	352	644	52	592	
3505	2600	905	2952	2576	376	553	24	529	
3445	2455	990	2892	2508	384	553	-53	606	
Media =	3476.0000	2532.0000	944.0000	2892.0000	2508.0000	376.0000	553.0000	24.0000	592.0000



**ANEXO A.8.- PARÁMETROS (VELOCIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO Y SÓLIDOS PRESENTES EN EL LICOR DE MEZCLA) CORRESPONDIENTES A LA CELDA PARA DOSIS 3. (REPETICIÓN 2)**

**8.1.- ESTABILIZACIÓN DE CELDA PARA DOSIS 3. (REPETICIÓN 2)**

**Tabla A.8.1**  
**Velocidad de consumo de oxígeno media registrada**  
**(Dosis 3, repetición 2, estabilización)**

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	4.20
3	2.99
4	1.81
5	0.82
6	0.28
7	0.26
8	0.23
9	0.20
10	0.19
11	0.18
12	0.17
13	0.16
14	0.14
15	0.13

**Tabla A.8.2**  
**Sólidos presentes en el licor de mezcla**  
**(Dosis 3, repetición 2, estabilización)**

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
2265	1680	585	1812	1600	212	453	80	373
2230	1680	550	1740	1636	104	490	44	446
2375	2090	285	2260	2004	256	115	86	29
2370	2220	150	2220	2168	52	150	52	98
<b>Media = 2317.5000</b>	<b>1885.0000</b>	<b>417.5000</b>	<b>2016.0000</b>	<b>1820.0000</b>	<b>158.0000</b>	<b>301.5000</b>	<b>66.0000</b>	<b>235.5000</b>



8.2- SUMINISTRO DE DOSIS 3. (REPETICIÓN 2, EFECTOS A LAS 8 HORAS)

Tabla A.8.3  
Velocidad de consumo de oxígeno media registrada  
(Dosis 3, repetición 2, efectos a las 8 horas)

(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	4.95
3	3.95
4	3.00
5	2.13
6	1.23
7	0.72
8	0.55
9	0.41
10	0.30
11	0.20
12	0.16
13	0.15
14	0.13
15	0.12

Tabla A.8.4  
Sólidos presentes en el licor de mezcla  
(Dosis 3, repetición 2, efectos a las 8 horas)

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
2080	1495	585	1692	1428	264	388	67	321
2065	1470	595	1680	1536	144	385	-66	451
2160	1510	650	1652	1408	244	508	102	406
<b>Media = 2080.0000</b>	<b>1495.0000</b>	<b>595.0000</b>	<b>1680.0000</b>	<b>1428.0000</b>	<b>244.0000</b>	<b>388.0000</b>	<b>67.0000</b>	<b>406.0000</b>



8.3- SUMINISTRO DE DOSIS 3. (REPETICIÓN 2, EFECTOS A LAS 24 HORAS)

**Tabla A.8.5**  
**Tasa de consumo de oxígeno**  
**(Dosis 3, repetición 2, efectos a las 24 horas)**

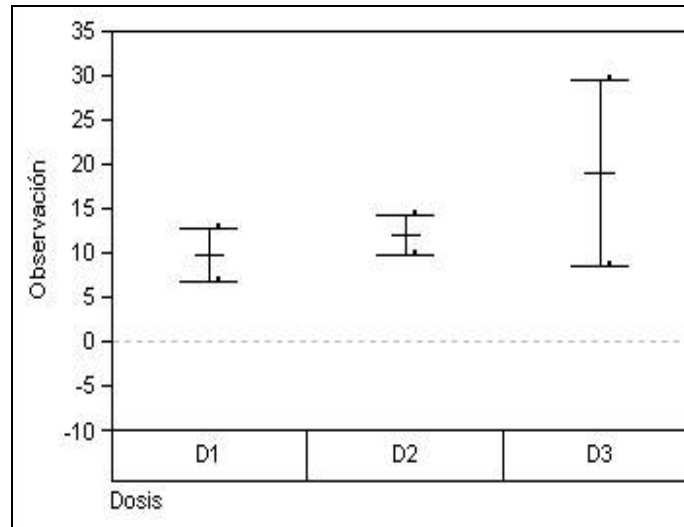
(min)	(mg O <sub>2</sub> /L)
2	6.39
3	5.29
4	4.56
5	3.57
6	2.70
7	1.49
8	0.92
9	0.65
10	0.31
11	0.11
12	0.09
13	0.07
14	0.07
15	0.06

**Tabla A.8.6**  
**Sólidos presentes en el licor de mezcla**  
**(Dosis 3, repetición 2, efectos a las 24 horas)**

STT	STF	STV	SST	SSF	SSV	SDT	SDF	SDV	
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
1620	1085	535	1004	876	128	616	209	407	
1545	1010	535	1040	892	148	505	118	387	
2055	1470	585	1056	872	184	999	598	401	
<b>Media =</b>	<b>1620.0000</b>	<b>1085.0000</b>	<b>535.0000</b>	<b>1040.0000</b>	<b>876.0000</b>	<b>148.0000</b>	<b>616.0000</b>	<b>209.0000</b>	<b>401.0000</b>

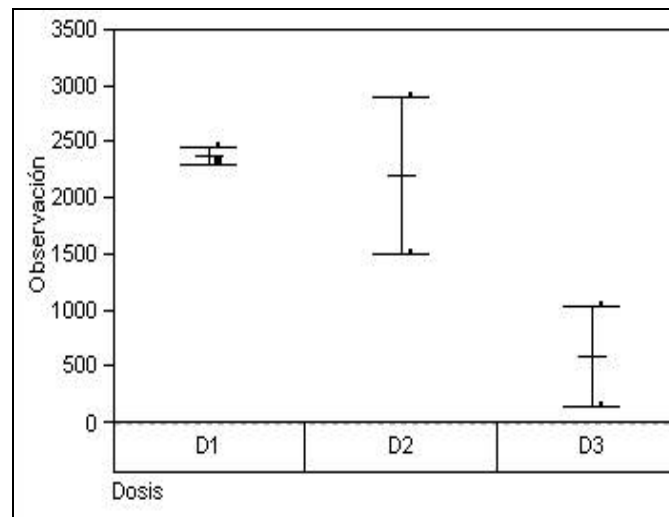


**ANEXO A.9.- DIAGRAMAS DE VARIABILIDAD DE LOS DIVERSOS PARÁMETROS ANALIZADOS.**



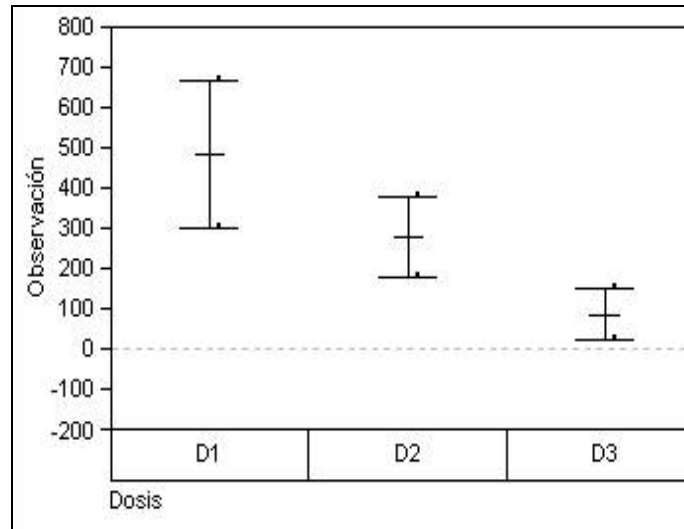
**Fig. A.9.1**

**Diagrama de variabilidad correspondiente a la velocidad de consumo de oxígeno (VCO)**

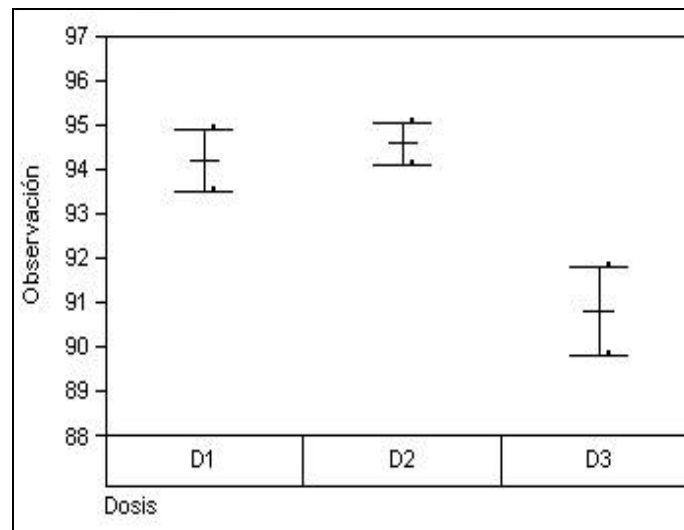


**Fig. A.9.2**

**Diagrama de variabilidad correspondiente a la concentración de sólidos suspendidos totales del licor de mezcla (SSTLM)**

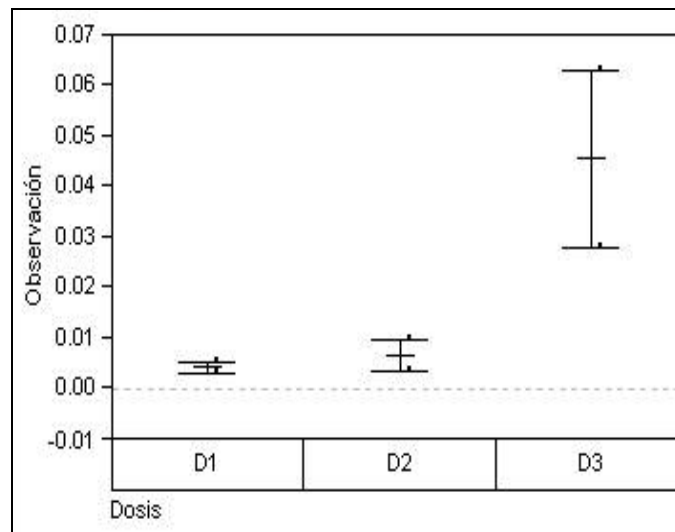


**Fig. A.9.3**  
**Diagrama de variabilidad correspondiente a la concentración de sólidos suspendidos volátiles del licor de mezcla (SSVLM)**

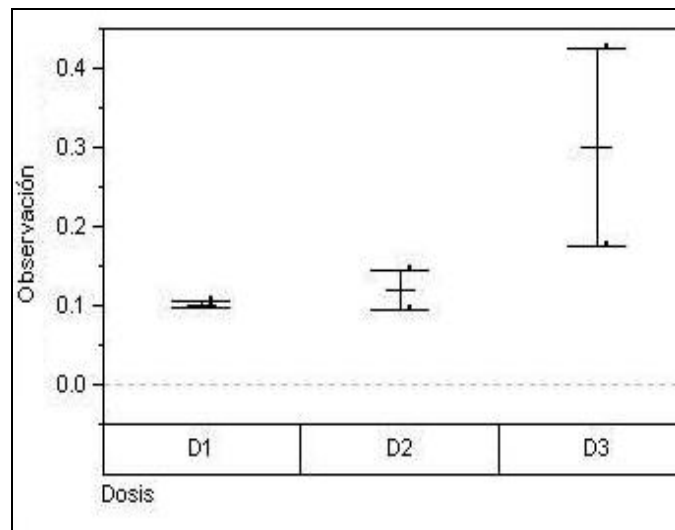


**Fig. A.9.4**  
**Diagrama de variabilidad correspondiente a la eficiencia de remoción de materia orgánica medida como demanda biológica de oxígeno**





**Fig. A.9.5**  
**Diagrama de variabilidad correspondiente a la tasa de consumo de oxígeno**



**Fig. A.9.6**  
**Diagrama de variabilidad correspondiente a la tasa de consumo de sustrato**

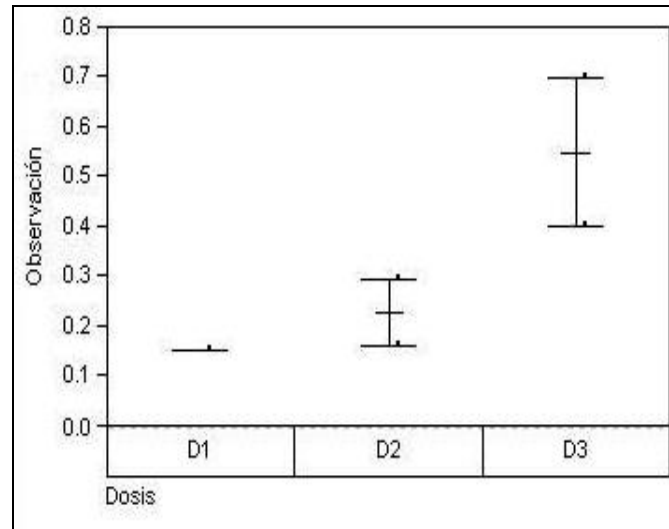


Fig. A.9.7

Diagrama de variabilidad correspondiente a la tasa específica de consumo de oxígeno

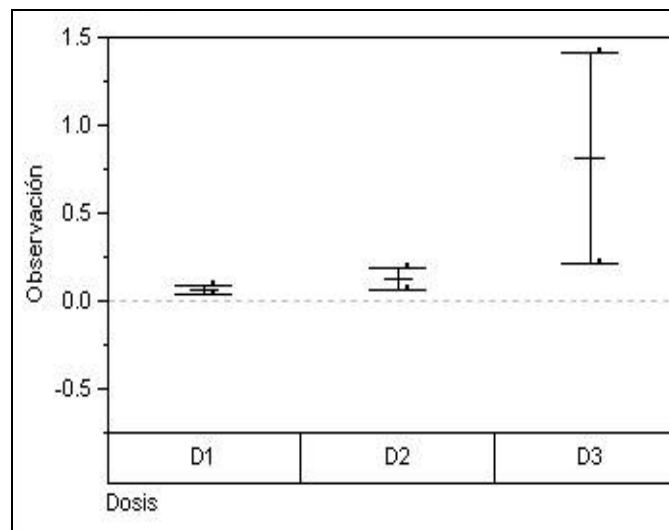


Fig. A.9.8

Diagrama de variabilidad correspondiente a la tasa específica de consumo de sustrato

Notas.-

(D1).- Dosis uno.

(D2).- Dosis dos.

(D3).- Dosis tres.



## GLOSARIO



## GLOSARIO

**Aditivo.-** Toda sustancia que se incluya en la formulación de los medicamentos y que actúe como vehículo, conservador o modificador de alguna de sus características para favorecer su eficacia, seguridad, estabilidad, apariencia o aceptabilidad.

**Aerobio.-** Organismos que necesitan O<sub>2</sub> libre para sobrevivir.

**Aguas nacionales.-** Las aguas propiedad de la Nación, en los términos del párrafo quinto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

**Aguas residuales.-** Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

**Bienes nacionales.-** Son los bienes cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua en términos del artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales.

**Ciliado.-** Organismos que se mueven por medio de cilios. Pueden ser sésiles o móviles.

**Cilio.-** Orgánulo locomotor de algunos protozoarios. Es más corto que el flagelo y generalmente existen muchos en el organismo que los presenta.

**Constante de Michaelis (k<sub>M</sub>)-** Concentración de sustrato a la que un enzima determinado alcanza la mitad de su velocidad máxima.

**CRETIB.-** El acrónimo de clasificación de las características a identificar en los residuos peligrosos y que significa: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico ambiental, inflamable y biológico infeccioso.

**Desaminasa.-** Fermento bajo cuya acción se efectúa la desaminación en el organismo.

**Descarga.-** Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.



**Diseño experimental.-** Configuración de puntos en el espacio de los factores, es decir, los niveles de los factores y el orden en el cual se efectúa la toma de observaciones en el tiempo o espacio. A cada diseño le corresponde un modelo y éste, a su vez determina el análisis estadístico.

**Estabilidad.-** Es la capacidad de un fármaco o un medicamento de permanecer dentro de las especificaciones de calidad establecidas, en el envase que lo contiene durante su periodo de vida útil.

**Factor.-** Alguna de las condiciones constantes dentro de las poblaciones, pero que varían entre las poblaciones estudiadas.

**Fármaco.-** Toda sustancia natural, sintética o biotecnológica que tenga alguna actividad farmacológica y que se identifique por sus propiedades físicas, químicas o acciones biológicas, que no se presente en forma farmacéutica y que reúna condiciones para ser empleada como medicamento o ingrediente de un medicamento.

**Materiales.-** Los insumos necesarios para el envase y empaque de los medicamentos.

**Materia prima.-** Sustancia de cualquier origen que se use para la elaboración de medicamentos o fármacos naturales o sintéticos.

**Medicamento.-** Toda sustancia o mezcla de sustancias de origen natural o sintético que tenga efecto terapéutico, preventivo o rehabilitatorio, que se presente en forma farmacéutica y se identifique como tal por su actividad farmacológica, características físicas, químicas y biológicas. Cuando un producto contenga nutrimentos, será considerado como medicamento, siempre que se trate de un preparado que contenga de manera individual o asociada: vitaminas, minerales, electrolitos, aminoácidos o ácidos grasos, en concentraciones superiores a las de los alimentos naturales y además se presente en alguna forma farmacéutica definida y la indicación de uso contemple efectos terapéuticos, preventivos o rehabilitatorios.

**Niveles.-** Modalidades que definen las poblaciones en el estudio de un factor.

**Oligoelemento.-** Nutriente inorgánico requerido en cantidades pequeñas o “vestigio”, de unos pocos microgramos a unos pocos miligramos, para el ser humano.



---

---

**Parámetro.-** Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

**Periodo de caducidad.-** Es el tiempo durante el cual un medicamento contenido en su envase de comercialización y conservado en las condiciones indicadas en su etiqueta permanece dentro de las especificaciones establecidas.

**Transaminasa.-** Término genérico que define las enzimas de origen hepático que se miden en la sangre como indicadores de enfermedad del hígado. Las más conocidas se abrevian AST (o GOT) y ALT (o GPT).

**Tratamiento.-** Combinación de los niveles de los factores estudiados.

**Unidad experimental.-** Es la subdivisión menor del material sujeto a experimentación que recibe en forma independiente un tratamiento diferente. Por cuestiones de tipo prácticas y estadísticas una unidad experimental puede ser un solo elemento o un conjunto de elementos de la población.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



---

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBARRAN J. R., COSTERO A., MANZANO R. (1983). Indicadores biológicos en la operación de sistemas de tratamiento de lodos activados. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 19-24, 32-61

ALMADA B. V. y ORNELAS G. G. (1994). Elementos de derecho positivo mexicano. Ed. Trillas. México. pp. 26

BAIRD D.C. (1991). Experimentación: Una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos. Segunda edición. Ed. Pearson-Prentice-Hall. México. pp. Varias.

CENSOS ECONÓMICOS. (2004). Industrias manufactureras. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México. pp 117, 118

CRESPO S. C., GARMENDIA S. A., GARMENDIA S. L., SALVADOR A. A. (2006). Evaluación de impacto ambiental. Ed. Pearson-Prentice-Hall. España. pp. 30,31

ENCARNACIÓN A. G. (2002). Tratamiento de medicamentos caducos por procesos fisicoquímicos para posterior disposición segura. Caso de estudio: transformación de antibióticos  $\beta$ -lactámicos. Facultad de Ingeniería. División de estudios de posgrado. UNAM. Tesis de maestría en ingeniería ambiental. pp. varias.

FERNÁNDEZ V. G. y TORRES R. P. (2001). Guía para la disposición segura de medicamentos caducos acumulados en situaciones de emergencia. CENAPRED. México. pp. 10, 15, 17, 18. 19.

GÓMEZ L. (2007). Buscan controlar fármacos caducos. Periódico: Reforma. México. 12 de agosto de 2007.

GRANNER D. K., MAYES P. A., MURRAY R. K. & RODWELL V. W. (1988). Bioquímica de Harper. Undécima edición. Ed. El manual moderno. México. pp. 70-74.

HERNÁNDEZ BARRIOS C. P. (1995). Tratamiento y disposición de medicamentos caducos y residuos de la industria farmacéutica. Facultad de Ingeniería. División de estudios de posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de maestría en ingeniería ambiental. pp. varias.





LEHNINGER A. I. (1979). Curso breve de bioquímica. Tercera reimpresión. Ed. Omega. España. pp. 74-87.

McCARTY PERRY L., RITTMANN BRUCE E. (2001). Environmental biotechnology: Principles and applications. Ed Mc. Graw-Hill. Series in water resources and environmental engineering. Nueva York. pp. 307-380

MÉNDEZ IGNACIO, MORENO HORTENSIA. (2003). Modelos estadísticos lineales en la investigación comparativa. Segunda edición. Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas. Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp. 11- 19, 24-33.

METCALF & EDDY. (1996). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Volumen I. Ed. McGraw-Hill. México. pp. 418- 430, 629.

MONTGOMERY D.C. (1991). Diseño y análisis de experimentos. Ed. Iberoamérica. México. pp. Varias.

PEAVY H. S., ROWE D. R. & TCHOBANOGLOUS G. (1985). Environmental engineering. Ed. McGraw-Hill. EUA. pp. 244.

RAMALHO R. S. (1991). Tratamiento de aguas residuales. Ed. Reverté. España. pp. 210, 253-380.

REMYNGTON G. A. (1995). Farmacia. Tomo 1. Décima novena edición Ed. Medica Panamericana. Argentina. pp. 468,469, 452,453.

REMYNGTON G. A. (1995). Farmacia. Tomo 2. Décima novena edición Ed. Medica Panamericana. Argentina. pp. 1672-1721.

VILLAFUERTE R. L. (2000). ¿Por qué envejecen los medicamentos? Revista: Investigación hoy. Instituto Politécnico Nacional. México. Septiembre- octubre.



## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS



---

---

## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

AHEL M., BARCELO D., GROSS M., JABUCAR D., JOVANCIC P., KNEPPER T., MARTI I., MULLER J., PETROVIC M., SENTA I., TERZIC S., VENTURA F. Occurrence and fate of emerging wastewater contaminants in Western Balkan Region [en línea]. [EUA]: Science of total environment 399 (2008) 66-77 [citado 16 de agosto de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/scitotenv>.

AL-AHMAD A., DASCHNER F.D., KÜMMERER K. Biodegradability of cefotiam, ciprofloxacin, meropenem, penicilina g and sulfamethoxazole and inhibition of waste water bacteria [en línea]. [EUA]: Environmental contamination and toxicology 37 (1999) 158-163 [citado 16 de agosto de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com>.

AL-AHMAD A., KÜMMERER K., MERSCH-SUNDERMANN V. Biodegradability of some antibiotics, elimination of the genotoxicity and affection of wastewater bacteria in a simple test [en línea]. [EUA]: Chemosphere 40 (2000) 701-710 [citado 4 de diciembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/chemosphere>.

ALDER A.C., GOBEL A., JOSS A., KELLER E., Mc.ARDELL C., TERNES T., SIEGRIST H., Removal of pharmaceuticals and fragrances in biological wastewater treatment. [en línea]. [EUA]: Water Research 39 (2005) 3139-3152 [citado 5 de marzo de 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/watres>.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AMBIENTE (ANAM). Guías de Prevención de la Contaminación del Recurso Hídrico, Caracterización y Tratamiento de Aguas Residuales para el Sector Hospitales.[en línea]. [Panamá]: 2004 [citado 14 de enero de 2008]. Disponible en World Wide Web: [http://www.anam.gob.pa/Fomin/Anexos\\_PDF/Guia%20Hospitales.pdf](http://www.anam.gob.pa/Fomin/Anexos_PDF/Guia%20Hospitales.pdf)

BAGNATI R., CALAMARI D., CASTIGLIONI S., FANELLI R., ZUCCATO E. Methodological approaches for studying pharmaceuticals in the environment by comparing predicted and measured concentrations in River Po. Italy. [en línea]. [Italia]: Regulatory Toxicology and Pharmacology 39 (2004) 25-32 [citado 07 de julio de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/yrtph>



BONERZ M., HERRMANN N., JOSS A., KNACKER T., SIEGRIST H., TERNES T. A rapid method to measure the solid-water distribution coefficient ( $k_d$ ) for pharmaceuticals and muks fragrances in sewage sludge. [en línea]. [Alemania]: wáter research 38 (2004) 4075-4084 [citado 07 de julio de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/watres>

BOUND J. P., KITSOU K., VOULVOULIS N. Household disposal of pharmaceuticals and perception of risk to the environment. [en línea]. [Londres]: Environmental Toxicology and Pharmacology 21 (2006) 301-307 [citado 4 de diciembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/etap>

BOUND J. P., VOULVOULIS N. Predicted and measured concentrations for selected pharmaceuticals in UK rivers: Implications for risk assessment. [en línea]. [Londres]: Water research 40 (2006) 2885-2892 [citado 18 de agosto de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/watres>

BURGESS J.E., QUARMBY J., STEPHENSON T. Micronutrient supplements for optimization of the treatment of industrial wastewater using activated sludge. [en línea]. [Londres]: Water Research, 33 (1999) 3707-3714 [citado 4 de diciembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/watres>

CÁMARA DE DIPUTADOS. Ley General de Salud.[en línea]. [México]: Diario Oficial de la Federación, 19 de junio de 2007 [citado 12 de noviembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm>

CÁMARA DE DIPUTADOS. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. [en línea]. [México]: Diario Oficial de la Federación, 5 de julio de 2007 [citado 12 de noviembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm>

CÁMARA DE DIPUTADOS. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos.[en línea]. [México]: Diario Oficial de la Federación, 19 de junio de 2007 [citado 12 de noviembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm>



CÁMARA DE DIPUTADOS. Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. [en línea]. [México]: Diario Oficial de la Federación, 30 de noviembre de 2006 [citado 12 de noviembre de 2007]. Disponible en World Wide Web:

<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla.htm>

CARRASCO N., COTRADO M., MÉNDEZ L., MIYASHIRO V., ROJAS R., Treatment of residual waters by means of activated muds. [en línea]. [Perú]: Revista del Instituto de Investigación FIGMMG14 (2004) 74-83 [citado 10 de febrero de 2008]. Disponible en World Wide Web:

<http://www.scielo.org.pe/scielo.php>

CLARA M., GANS O., KREUZINGER N., KROISS H., MARTINEZ E., STRENN B. Removal of selected pharmaceuticals, fragrances and endocrine disrupting compounds in a membrane bioreactor and conventional wastewater treatment plants [en línea]. [Austria]: Water Research, 39 (2005) 4797-4807 [citado 20 de octubre de 2007]. Disponible en World Wide Web:

<http://www.elsevier.com/locate/watres>

CORREA SALDE V., SOLÁ N. Los medicamentos vencidos: ¿qué necesitamos saber? [en línea]. [Argentina]: Boletín informativo No.9, noviembre de 2001. Centro de Información de Medicamentos. Departamento de Farmacia-Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Nacional de Córdoba. [citado 06 de marzo de 2008]. Disponible en World Wide Web:

<http://www.fcq.unc.edu.ar/cime/publicaciones.htm>

DEBESA G. F., FERNÁNDEZ A. R., PÉREZ P. J. La caducidad de los medicamentos: justificación de una duda [en línea]. [Cuba]: Revista Cubana de Farmacia, v. 38 n.3, sep-dic.2004 [citado 26 octubre 2007]. Disponible en World Wide Web:

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=0034-7515&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_serial&pid=0034-7515&lng=es&nrm=iso)

ELLIS J.B., Pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in urban receiving waters. [en línea]. [EUA]: Environmental Pollution 144 (2006) 184-189 [citado 4 de diciembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/envpol>.



ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. CFR Title 40: Protection of Environment. [en línea]. [EUA]: Actualizado el 23 de noviembre de 2007 [citado 27 de noviembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.epa.gov/epahome/cfr40.htm>

GIKAS PETROS. Single and combined effects of nickel (Ni(II)) and cobalt (Co(II)) ions on activated sludge and on other aerobic microorganisms: A review. [en línea]. [Grecia]: Journal of hazardous materials 159 (2008) 187-203 [citado 16 de marzo de 2009]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/jhazmat>

GLASSMEYER S., HINCHEY E. L., BOEHME S.E., DAUGHTON C.G., RUHOY I.S., CONERLY O., DANIELS R., LAUER L., MCCARTHY M., NETTESHEIM T.G., SYKES K., THOMPSON V.G. Disposal practices for unwanted residential medications in the United States.. [en línea]. [EUA]: Environment International 35 (2009) 566-572 [citado 16 de marzo de 2009]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/envint>

IMS HEALTH. Retail Drug Monitor [en línea]. [London]: [citado 2 de noviembre 2007]. Disponible en World Wide Web: [www.imshealth.com/ims/portal/front/index/0,2973,1763\\_41382715,00.html](http://www.imshealth.com/ims/portal/front/index/0,2973,1763_41382715,00.html)

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. Norma Oficial Mexicana NOM-073-ECOL-1999. [en línea]. [México]: Diario Oficial de la Federación, 15 de diciembre de 1994 [citado 12 de noviembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/228/73.html>

JÁCOME ALFREDO. Historia de los medicamentos. [en línea]. [Colombia]: Academia Nacional de Medicina de Colombia, 2003 [citado 20 septiembre 2007]. Disponible en World Wide Web: [anm.encolombia.com/academ25363-medicamentos.htm](http://anm.encolombia.com/academ25363-medicamentos.htm)

JEFFERSON B., BURGESS J.E., PICHON A., HARKNESS J., JUDD S.J. Nutrient addition to enhance biological treatment of greywater. [en línea]. [Londres]: Water Research 35 (2001) 2702-2710 [citado 4 de diciembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/watres>



JONES O.A.H., VOULVOULIS N., LESTER J.N. Aquatic environmental assessment of the 25 English prescription pharmaceuticals. [en línea]. [Londres]: Water Research 36 (2002) 5013-5022 [citado 4 de diciembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/watres>

KRONBERG L., TUHKANEN T., VIENO N. Elimination of pharmaceuticals in sewage treatment plants in Finland. [en línea]. [EUA]: Water Research 41 (2007) 1001-1012 [citado 5 de marzo de 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/watres>

KÜMMERER K, KÜMPEL T, ALEXY RADKA A. Assessment of degradation of 18 antibiotics in the Closed Bottle Test. [en línea]. [EUA]: Chemosphere 57 (2004) 505-512 [citado 4 de diciembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/chemosphere>.

LIND G., LEMMER H., METZNER G., NITSCHKE L., SCHADE M. Vitamin addition in biological wastewater treatment. [en línea]. [Londres]: Water Research 37 (1998) 395-398 [citado 5 de marzo de 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/watres>

LEMMER H., NITSCHKE L. Vitamin content of four sludge fractions in the activated sludge wastewater treatment process. [en línea]. [Londres]: Water Research 28 (1994) 737-739 [citado 5 de marzo de 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/watres>

MARTÍNEZ JAVIER. Guía para la gestión integral de residuos peligrosos. Tomo I. [en línea]. [Uruguay]: Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe, 2005 [citado 4 de diciembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: [www.idrc.calen/ev-95627-201-1-DO-TOPIC.html](http://www.idrc.calen/ev-95627-201-1-DO-TOPIC.html)

NORBERG A., MOLIN N. Toxicity of cadmium, cobalt, uranium and zinc to zoogloea ramigera [en línea]. [Londres]: Water Research 17 (1983) 1333-1336 [citado 16 de marzo de 2009]. Disponible en World Wide Web: <http://www.elsevier.com/locate/watres>

NOTIMEX, Propone PRD sancionar tráfico y venta de fármacos caducos o clonados. [en línea]. [México]: Periódico El Porvenir, 27 de febrero de 2007 [citado 26 octubre 2007]. Disponible en World Wide Web: [http://www.elporvenir.com.mx/notas.asp?nota\\_id=116162](http://www.elporvenir.com.mx/notas.asp?nota_id=116162)



ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD/ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OPS/OMS). Programa de acción para la disposición de medicamentos rechazados durante la emergencia del 16 de diciembre de 1999. [en línea]. [Venezuela]: 2004 [citado 07 de marzo de 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.ops-oms.org.ve/bvs/text-electronicos/medicamentos-recha2.htm>

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. [en línea]. [México]: Diario Oficial de la Federación, 6 de junio de 1997 [citado 12 de noviembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.semarnat.gob.mx>

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996. [en línea]. [México]: Diario Oficial de la Federación, 3 de junio de 1998 [citado 12 de noviembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.semarnat.gob.mx>

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. [en línea]. [México]: Diario Oficial de la Federación, 21 de septiembre de 1998 [citado 12 de noviembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.semarnat.gob.mx>

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005. [en línea]. [México]: Diario Oficial de la Federación, 23 de junio de 2006 [citado 12 de noviembre de 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.semarnat.gob.mx>

SENADO DE LA REPÚBLICA. Gaceta Parlamentaria. [en línea]. [México]: 14 de febrero de 2006 [citado 20 septiembre 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://www.senado.gob.mx/gace2.php?sesion=2006/02/14/1>

SIMÓN ANGÉLICA. Preparan reciclaje de medicamentos [en línea]. [México]: Periódico El Universal, 23 de septiembre de 2005 [citado 20 septiembre 2007]. Disponible en World Wide Web: <http://historico.eluniversal.com.mx/buscar.html>