

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



EVALUACION DE LA CONTAMINACION FECAL EN
RIOS URBANOS MEDIANTE LA DETERMINACION
DE UROBILINAS

POR:

EVANGELINA RAMIREZ LARA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE
MAESTRIA EN CIENCIAS
CON ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL

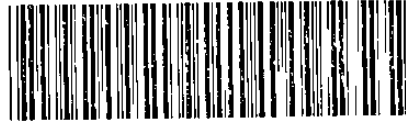
SAN NICOLAS DE LOS GARZA, NUEVO LEON
JUNIO 2004

EVALUACION DE LA CONTAMINACION DE LA COINTAMINACION EN
RIOS URBANOS MEDIANTE LA DETERMINACION
DE UROBILINAS

TM
Z6834
.C5
FIC
2004
.R3

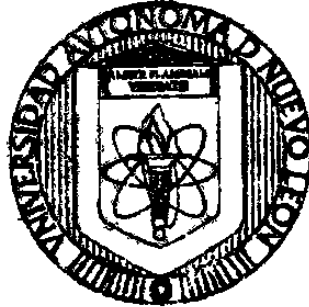
2004

E. R. I.



1020146697

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**EVALUACION DE LA CONTAMINACION FECAL EN
RIOS URBANOS MEDIANTE LA DETERMINACION
DE UROBILINAS**

POR:

EVANGELINA RAMIREZ LARA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE
MAESTRIA EN CIENCIAS
EN INGENIERIA AMBIENTAL**

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEON
JUNIO 2004



FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



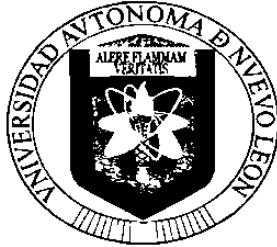
EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN FECAL EN RÍOS URBANOS
MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE UROBILINAS

POR:
EVANGELINA RAMÍREZ LARA

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS
Con Especialidad en Ingeniería Ambiental

San Nicolás de los Garza Nuevo León
Junio 2004

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN FECAL EN RÍOS URBANOS
MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE UROBILINAS**

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE MAestrÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERÍA
AMBIENTAL**

POR: EVANGELINA RAMÍREZ LARA

**DR JUAN MANUEL BARBARÍN CASTILLO
DIRECTOR DE TESIS**

DEDICATORIA

A Dios, gracias Señor por darme la vida y permitirme llegar a este momento tan importante.

In memoriam...de mi padre, Sr. Ramiro Ramírez Ayala; gracias papi, por ser un ejemplo de tenacidad, responsabilidad y superación continua. Aunque hoy no estás aquí físicamente, quiero decirte que ésto es el fruto de tus sabios consejos. Te quiero y extraño mucho.

A mi madre, Sra. Evangelina Lara de Ramírez, mujer y madre ejemplar. Gracias por tu apoyo incondicional, gracias mami, te quiero mucho.

A mi querido esposo, Juan Manuel, por su amor y apoyo para alcanzar mis metas. Muchas gracias, te amo.

A mis adoradas hijas, Samantha y Melissa; por el tiempo que les quedo a deber, por comprenderme cuando no pude estar con ellas. Las amo, pequeñas.

A mis hermanos y sobrinos, por todo su apoyo, cariño y comprensión. Muchas gracias, los quiero mucho.

In memoriam, de mis abuelitos: Conrado e Isabel, Eulalio y Esther, por los momentos más hermosos de mi infancia, y que ayudaron a forjar mi carácter.

A una persona muy especial, la M.C. Martha Alicia Suárez Herrera. Gracias maestra, por su entusiasmo, su apoyo incondicional y por motivarme a seguir adelante y, sobre todo, por confiar en mi. La aprecio mucho.

AGRADECIMIENTOS

A mi *Alma Mater*, la Universidad Autónoma de Nuevo León, por brindarme la oportunidad de realización como Universitaria y Profesionista.

Agradezco profundamente a los directivos de la Facultad de Ciencias Químicas de la UANL, especialmente a la Directora Q.F.B. Emilia Edith Vásquez Farías y a la Subdirectora Q.F.B. Gloria Nelly Páez Garza, por el valioso apoyo brindado para el desarrollo y culminación de esta tesis.

Al Dr. Juan Manuel Barbarín Castillo por darme la oportunidad de iniciarme en el camino de la investigación, por sus acertados consejos y asesoría; mil gracias.

A la Jefatura de la Carrera de Q.F.B., por todas las facilidades brindadas, muchas gracias.

A mis amigas y comadres de diferentes etapas de mi vida, Güera, Griselda, Abigail, Alicia, Martha, Ma. Elena, Lucy, Sandra y Yola; por su invaluable amistad, gracias .

A una gran amiga y compañera; Ivonne, por tu sincera amistad y acertados consejos y por no dejarme flaquear. Muchas gracias.

A David, Rocío, Griselda y Mirna: por su oportuna ayuda. Mil Gracias.

LA COMPROBACIÓN FÁCTICA DE LA PRESENTE TESIS SE REALIZÓ, EN

SU TOTALIDAD, EN EL

LABORATORIO DE BIOFARMACIA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

INDICE

| | No. de Página |
|----------------------------|----------------------|
| Lista de abreviaturas..... | I |
| Lista de tablas..... | V |
| Lista de figuras..... | VI |
| Resumen | 1 |

CAPITULO 1

| | |
|------------------------------|---|
| Introducción..... | 2 |
| Objetivo general..... | 5 |
| Objetivos particulares | 6 |
| Hipótesis..... | 7 |

CAPITULO 2

Antecedentes

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 Distribución del agua en el planeta..... | 10 |
| 2.2 Marco y condiciones geográficas del Estado de Nuevo León..... | 11 |
| 2.3 Ubicación geográfica y delimitación del Estado de Nuevo León..... | 12 |
| 2.4 Topografía del Estado de Nuevo León..... | 14 |
| 2.5 Hidrología del Estado de Nuevo León..... | 14 |

CAPITULO 3

Calidad del agua

| | |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 Calidad del Agua..... | 18 |
| 3.2 Clasificación de las variables de calidad del agua | 19 |
| 3.2.1 Variables hidrológicas | 19 |
| 3.2.1.1 Velocidad | 19 |
| 3.2.1.2 Descarga..... | 20 |
| 3.2.1.3 Nivel del agua | 20 |

| | No. de Página |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 3.1.2.4 Dinámica del material suspendido | 21 |
| 3.2.2 Variables generales | 22 |
| 3.2.2.1 Temperatura | 22 |
| 3.2.2.2 Color | 24 |
| 3.2.2.3 Olor | 25 |
| 3.2.2.4 Residuos y sólidos suspendidos | 26 |
| 3.2.2.5 Materia suspendida, turbidez y transparencia..... | 26 |
| 3.2.2.6 Conductividad | 27 |
| 3.2.2.7 pH, alcalinidad y acidez .. | 27 |
| 3.2.2.8 Potencial Redox..... | 29 |
| 3.2.2.9 Oxígeno disuelto | 30 |
| 3.2.2.10 Dureza | 32 |
| 3.2.2.11 Nutrientes..... | 33 |
| 3.2.2.11.1 Compuestos de fósforo..... | 33 |
| 3.2.2.12 Materia Orgánica . | 35 |
| 3.2.2.12.1 Demanda química de oxígeno .. | 35 |
| 3.2.2.12.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno . | 37 |
| 3.2.2.13 Iones mayoritarios.. | 39 |
| 3.2.2.13.1 Calcio..... | 39 |
| 3.2.2.13.2 Magnesio... | 40 |
| 3.2.2.13.3 Carbonatos y bicarbonatos .. | 41 |
| 3.2.2.13.4 Cloruros | 42 |
| 3.2.2.13.5 Sulfato..... | 43 |
| 3.2.2.14 Variables inorgánicas adicionales (iones minoritarios) | 43 |
| 3.2.2.14.1 Cianuro | 44 |
| 3.2.2.15 Contaminantes orgánicos | 45 |
| 3.2.2.15.1 Fenoles..... | 45 |
| 3.2.2.15.2 Plaguicidas..... | 46 |
| 3.2.2.15.3 Surfactantes.... | 48 |
| 3.2.2.16 Indicadores microbiológicos..... | 49 |

3.3 Enfermedades de origen hídrico 53

CAPITULO 4

El Proceso de evaluación de la calidad del agua

4.1 Selección de variables en relación con los usos del agua 54

4.2 Selección de Variables en Relación con las Fuentes de Contaminación..... 56

4.3 El proceso de evaluación de la calidad del agua 58

4.3.1 Monitoreo, inspección y vigilancia..... 58

4.3.2 Objetivos en la evaluación de la calidad del agua 60

4.3.3 Operaciones para la evaluación de la calidad del agua..... 63

4.3.4 Niveles y categorías de los programas de evaluación de
calidad del agua..... 65

4.3.5 Diseño de programas de evaluación de la calidad del agua..... 67

4.3.5.1 Selección del medio de muestreo 67

4.3.5.2 Variabilidad de la calidad del agua y frecuencia de muestreo 69

4.3.5.3 Monitoreo hidrológico en combinación con el monitoreo de la
calidad del agua 70

4.3.6 Implementación de programas de monitoreo de calidad del agua..... 72

CAPITULO 5

Determinación experimental de la contaminación fecal en el agua

5.1 Método bacteriológico 74

5.1.1 Pruebas cualitativas..... 75

5.1.2 Pruebas cuantitativas..... 76

5.2 Método analítico..... 77

5.2.1 Espectrofotometría de absorción 78

5.2.1.1 Fuentes de radiación..... 79

| | |
|---------------------------------------------|----|
| 5.2.1.2 Selección de longitud de onda | 79 |
| 5.2.1.3 Celdas o cubetas | 79 |
| 5.2.1.4 Detector | 80 |
| 5.2.1.5 Espectro de absorción | 80 |
| 5.2.1.6 Exactitud y calibración | 82 |
| 5.2.1.7 Curva o gráfica analítica | 82 |

CAPITULO 6

Procedimiento Experimental

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.1 Muestreo | 83 |
| 6.2 Sección experimental..... | 84 |
| 6.2.1 Reactivos | 84 |
| 6.2.2 Equipo y material | 85 |
| 6.3 Parámetros fisicoquímicos | 85 |
| 6.3.1 pH | 85 |
| 6.3.2 Conductividad | 86 |
| 6.4 Determinación de coliformes fecales y totales (método bacteriológico) | 86 |
| 6.5 Determinación de urobilinas por espectrofotometría UV/VIS | 87 |
| 6.5.1 Obtención de la longitud de onda de máxima absorción | 87 |
| 6.5.2 Parámetros estadísticos del método analítico..... | 87 |
| 6.5.2.1 Linealidad..... | 87 |
| 6.5.2.2 Precisión | 88 |
| 6.5.3 Determinación de urobilinas por formación de un quelato con Zn | 88 |
| 6.5.3.1 Fundamento del método | 88 |
| 6.5.3.2 Preparación de muestras..... | 88 |
| 6.5.3.3 Determinación de urobilinas en las muestras | 88 |

CAPITULO 7

Resultados y discusión.

| | |
|------------------------------------------------|----|
| 7.1 Parámetros fisicoquímicos | 90 |
| 7.2 Resultados del método bacteriológico | 94 |

| | |
|-----------------------------------------------------|----|
| 7.3 Resultados del método espectrofotométrico | 96 |
|-----------------------------------------------------|----|

CAPITULO 8

| | |
|--------------------|-----|
| Conclusiones | 102 |
|--------------------|-----|

CAPITULO 9

| | |
|-----------------------|-----|
| Recomendaciones | 105 |
|-----------------------|-----|

APÉNDICE 1

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 7.1 Espectro de absorción de una muestra de orina | 107 |
| Figura 7.2 Espectro de absorción de una muestra de agua de río | 107 |
| Figura 7.3 Espectro de absorción de un estándar de urobilina en DMSO | 108 |
| Figura 7.4 Espectro de absorción de un estándar de urobilina en DMSO/Zn ... | 108 |
| Figura 7.5 Gráfica de las curvas de calibración para determinar urobilinas..... | 110 |

APÉNDICE 2

| | |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| Localización y características de las zonas muestreadas..... | 111 |
|--------------------------------------------------------------|-----|

APÉNDICE 3

| | |
|-------------------------------------------|-----|
| Fotografías de las zonas muestreadas..... | 112 |
|-------------------------------------------|-----|

APÉNDICE 4

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráficas de resultados de coliformes totales vs urobilinas por punto de muestreo..... | 126 |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

| | |
|-------------------|-----|
| Bibliografía..... | 140 |
|-------------------|-----|

LISTA DE ABREVIATURAS

pH= Logaritmo común negativo de la concentración de iones hidrógeno.

mg= miligramos.

HPLC =Cromatografía líquida de alta resolución.

UV= Ultravioleta.

NMP= Número más probable.

VIS= Visible

mL= mililitro

UNESCO= *United Nations Educational Scientific and Cultural Organization.*

WHO= *World Health Organization.*

FAO= *Food and Agriculture Organization.*

IAHS= *International Association for the Hydrological Sciences.*

km³= Kilómetros cúbicos.

ZMM= Zona metropolitana de la ciudad de Monterrey.

km= Kilómetro.

km² = Kilómetros cuadrados.

m³= metro cúbico

m³s⁻¹= metros cúbicos por segundo.

°C = Grados Celsius.

mgL⁻¹= Miligramos por litro.

Pt =Platino.

TAC =*Total absorption color*

nm= nanómetro

TUC =*True units of color*

Threshold Odor Number = Número del umbral del olor.

SST = Sólidos suspendidos totales.

SDT = Sólidos disueltos totales.

mm= milímetro

μm= Micrómetro

μg=Microgramo

μScm⁻¹= Microsiemens por centímetro.

EDTA = Ácido etilendiamintetracético.

Eh= Potencial redox.

mV= Millivolts.

OD= Oxígeno disuelto.

DBO= Demanda bioquímica de oxígeno.

NH₄⁺¹= Ion amonio.

NO₂⁻¹= Ion nitrito.

NO₃⁻¹= Ion nitrato.

N₂ = Nitrógeno .

PO₄⁻³= Ion fosfato.

P = Fósforo.

COT = Carbono orgánico total.

Ca⁺²= Ion calcio.

Mg⁺²= Ion magnesio.

Na⁺¹= Ion sodio.

K⁺¹ = Ion potasio.

Cl⁻¹= Ion cloruro.

SO₄⁻²= Ion sulfato.

HCO₃⁻¹= Ion bicarbonato.

CO_2 = Dióxido de carbono.

CaCO_3 = Carbonato de calcio.

CO_3^{-2} = Ion carbonato.

H_2CO_3 = Ácido carbónico.

OH^{-1} = Ion hidroxilo.

HS^{-1} = Ion bisulfuro.

H_2S = Ácido sulfhídrico.

CN^{-1} = Ion cianuro.

HCN = Ácido cianhídrico.

Zn = Zinc.

Pb = Plomo.

Cd = Cadmio.

Co = Cobalto.

Fe = Hierro.

H_2O = Agua.

NaOH = Hidróxido de sodio.

CG/EM= Cromatografía de Gases acoplado con espectrometría de masas.

DDT= 1,1,1-tricloro-2,2 bis (p-clorofenil)etano

HCH = Hexaclorociclohexano.

x, y, z = Coordenadas de longitud, latitud y profundidad.

Q = Flujo.

In situ = "En el lugar"

NMX= Norma Mexicana

NOM= Norma Oficial Mexicana.

$\text{Zn}(\text{OAc})_2$ = Acetato de zinc.

DMSO = Dimetilsulfóxido.

HCl= Ácido clorhídrico.

SSA= Secretaria de Salubridad y Asistencia.

µg/ml= Microgramo por mililitro.

mmol/L= Milimol por litro.

cm = centímetro.

LISTA DE TABLAS

| Tabla | No. de Página |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 4.1 Selección de variables para la evaluación de la calidad del agua; uso no industrial .. | 55 |
| 4.2 Selección de variables para la evaluación de la calidad del agua en relación a fuentes contaminantes | 57 |
| 4.3 Tipos y objetivos de las operaciones involucradas en la evaluación de la calidad del agua | 62 |
| 4.4 Optimización de frecuencias en los monitoreos de tendencias en la calidad del agua | 71 |
| 4.5 Información hidrológica requerida en la evaluación de la calidad del agua..... | 72 |
| 4.6 Relaciones entre la contaminación del agua dulce y otros medios..... | 73 |
| 7.1 Resultados de parámetros fisicoquímicos (pH); primer muestreo | 90 |
| 7.2 Resultados de parámetros fisicoquímicos (pH); segundo muestreo..... | 91 |
| 7.3 Resultados de parámetros fisicoquímicos (pH); tercer muestreo | 91 |
| 7.4 Resultados de parámetros fisicoquímicos (conductividad); primer muestreo..... | 92 |
| 7.5 Resultados de parámetros fisicoquímicos (conductividad); segundo muestreo..... | 93 |
| 7.6 Resultados de parámetros fisicoquímicos (conductividad); tercer muestreo..... | 93 |
| 7.7 Resultados de "Coliformes totales" | 95 |
| 7.8 Resultados de "Coliformes fecales" | 95 |
| 7.9 Resultados de "Concentración de urobilinas"..... | 97 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura | No. de Página |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1.1 Mapa del Estado de Nuevo León | 13 |
| 1.2 Cuenca del Río San Juan | 16 |
| 5.1 Módulos Instrumentales para medir la absorción de la radiación..... | 78 |
| 5.2 Ejemplos de espectros de absorción..... | 81 |
| 7.1 Espectro de absorción de una muestra de orina..... | 107 |
| 7.2 Espectro de absorción de una muestra de agua de río..... | 107 |
| 7.3 Espectro de absorción de un estándar de urobilina en DMSO..... | 108 |
| 7.4 Espectro de absorción de un estándar de urobilina en DMSO/Zn..... | 108 |
| 7.5 Gráfica de la relación de "Coliformes totales" vs urobilinas a diferentes tiempos de muestreo..... | 100 |
| 7.6 Gráfica de la relación de "Coliformes totales" vs urobilinas..... | 101 |
| 7.7 Gráfica de las curvas de calibración para determinar urobilinas..... | 110 |
| 7.8 Gráfica de la relación de "Coliformes totales" vs urobilinas, a diferentes tiempos de muestreo, en el Punto 1 | 126 |
| 7.9 Gráfica de la relación de "Coliformes totales" vs urobilinas, a diferentes tiempos de muestreo, en el Punto 2..... | 127 |
| 7.10 Gráfica de la relación de "Coliformes totales" vs urobilinas, a diferentes tiempos de muestreo, en el Punto 2A..... | 128 |
| 7.11 Gráfica de la relación de "Coliformes totales" vs urobilinas, a diferentes tiempos de muestreo, en el Punto 3..... | 129 |
| 7.12 Gráfica de la relación de "Coliformes totales" vs urobilinas, a diferentes tiempos de muestreo, en el Punto 3A..... | 130 |
| 7.13 Gráfica de la relación de "Coliformes totales" vs urobilinas, a diferentes tiempos de muestreo, en el Punto 4..... | 131 |
| 7.14 Gráfica de la relación de "Coliformes totales" vs urobilinas, a diferentes tiempos de muestreo, en el Punto 5..... | 132 |
| 7.15 Gráfica de la relación de "Coliformes totales" vs urobilinas, a diferentes tiempos de muestreo, en el Punto 6..... | 133 |

| | | |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.16 | Gráfica de la relación de “Coliformes totales” vs urobilinas, a diferentes tiempos de muestreo, en el Punto 7..... | 134 |
| 7.17 | Gráfica de la relación de “Coliformes totales” vs urobilinas, a diferentes tiempos de muestreo, en el Punto 8A..... | 135 |
| 7.18 | Gráfica de la relación de “Coliformes totales” vs urobilinas, a diferentes tiempos de muestreo, en el Punto 8B..... | 136 |
| 7.19 | Gráfica de la relación de “Coliformes totales” vs urobilinas, a diferentes tiempos de muestreo, en el Punto 8C..... | 137 |
| 7.20 | Gráfica de la relación de” Coliformes totales” vs urobilinas, a diferentes tiempos de muestreo, en el Punto 9..... | 138 |
| 7.21 | Gráfica de la relación de “Coliformes totales” vs urobilinas, a diferentes tiempos de muestreo, en el Punto 10..... | 139 |

RESUMEN

El presente trabajo aborda el problema de la contaminación de ríos y presas, el cual se origina en descargas no controladas, escurrimientos urbanos y efluentes de plantas de tratamiento. El énfasis es puesto sobre la contaminación fecal porque bajo ella quedan incluidos agentes patógenos ante los cuales la humanidad tiene un control todavía limitado. Para tal efecto se propone un método químico de análisis de aguas, basado en mediciones de espectrofotometría, que sirva para evaluar el grado de la contaminación fecal del agua, como posible alternativa confiable frente al método tradicional de contar en un medio de cultivo las colonias de bacterias coliformes. El método analítico es probado con aguas provenientes de varios ríos y corrientes de Nuevo León, mismos que sirven como tributarios de la Presa El Cuchillo, una de las principales fuentes de abastecimiento de Monterrey. Se estudiaron 14 puntos de muestreo durante tres meses consecutivos. Los resultados obtenidos no permitieron encontrar una correlación entre las cifras producidas por el método bacteriológico tradicional y la concentración de urobilinas, fundamentalmente porque el método tradicional no es cuantitativo, sino indicativo. De todas maneras, en general a los mayores valores de NMP los acompañan las mayores concentraciones de urobilinas. El método desarrollado ofrece una alternativa innovadora para evaluar la contaminación fecal, prescindiendo del conteo bacteriano y obteniendo resultados rápidos y confiables. Los resultados de NMP de coliformes totales oscilaron entre 46 y 3 450 000, mientras que para la concentración de urobilinas fue entre 0.1170 y 1.64 $\mu\text{g/ml}$. Esos valores muestran inequívocamente que en los ríos estudiados se encuentra en un grado importante contaminación de origen fecal.