

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



DETERMINACION DE LAS CONSTANTES  
CINETICAS DE NITRIFICACION EN UNA AGUA  
RESIDUAL MIXTA (DOMESTICA E INDUSTRIAL)

PRESENTA :

L. Q. I. MARIA TERESA CORREA LETTIERI

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



CD. UNIVERSITARIA

JULIO DE 1996

DETERMINACION DE LAS CONSTANTES CINETICAS DE  
NITRIFICACION EN UNA AGUA RESIDUAL MIXTA  
(DOMESTICA E INDUSTRIAL)

ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO  
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y PESQUERA  
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS

ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO  
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y PESQUERA  
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



DETERMINACION DE LAS CONSTANTES  
CINETICAS DE NITRIFICACION EN UNA AGUA  
RESIDUAL MIXTA (DOMESTICA E INDUSTRIAL)

PRESENTA:

L. Q. I. MARIA TERESA CORREA LETTIERI

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

CD. UNIVERSITARIA

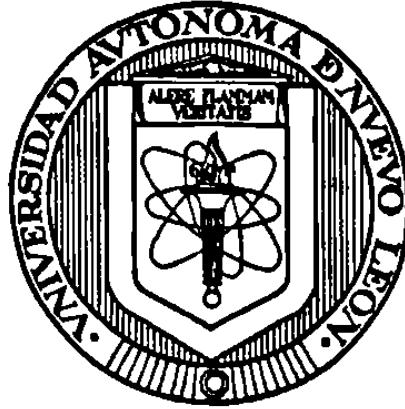
JULIO DE 1996

TM  
T0433  
C6



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**Determinación de las Constantes Cinéticas de Nitrificación  
en una Agua Residual Mixta (Doméstica e Industrial)**

**Por**

**L.Q.I. MARIA TERESA CORREA LETTIERI**

**Como requisito para obtener el Grado de  
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en  
Ingeniería Ambiental**

**Julio, 1996**



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**Determinación de las Constantes Cinéticas de**  
**Nitrificación en una Agua Residual Mixta**  
**(Doméstica e Industrial)**

Aprobación de la Tesis:



---

**DR. ALEJANDRO RAMIREZ ALCAZAR**  
Asesor Interno de la Tesis



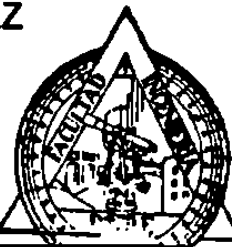
---

**Q.I. MA. HILDA GARZA FERNANDEZ**  
Asesor Externo de la Tesis

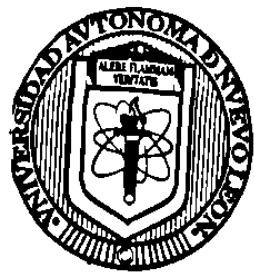


---

**ING. OSCAR M. ROBLES SANCHEZ**  
Secretario de Estudios de Postgrado



**SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, U.A.N.L.  
SECRETARIA DE POSTGRADO



COMPROBANTE DE CORRECCION.

Tesista : MARIA TERESA CORREA LETTIERI

Tema de la tesis : DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES CINÉTICAS DE NITRIFICACIÓN EN UNA AGUA RESIDUAL MIXTA (DOMÉSTICA E INDUSTRIAL)

Este documento certifica la corrección DEFINITIVA del trabajo de tesis arriba indentificado, en los aspectos : ortográfico, metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:

NINGUNA

Nombre y firma de quien corrigió :

*Ramón Lonsoria*  
ARQ. RAMON LONSORIA RAMIREZ

El Secretario de Postgrado :

*Oscar M. Robles Sánchez*  
Ing. Oscar M. Robles Sánchez.



Ciudad Universitaria, a 24 de Junio de 1996.

SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

*Handwritten notes:*  
24 de Junio



Monterrey, N.L. a 19 de junio de 1996

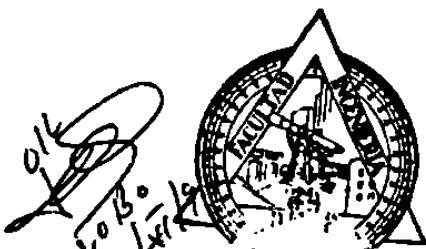
ING. OSCAR MANUEL ROBLES SANCHEZ  
SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

Estimado Ing. Robles.

Por medio de la presente solicito la tramitación correspondiente, para sustentar mi examen de grado, ya que he concluido con la elaboración de mi tesis, la cual lleva por nombre "Determinación de las Constantes Cinéticas de Nitrificación en una Agua Residual Mixta (Doméstica e Industrial)".

La aprobación de la tesis en cuanto a la parte teórica fue de mi asesor interno el Dr. Alejandro Ramírez Alcazar y de mi asesor externo la Q.I. Ma. Hilda Garza Fernández y en cuanto a la parte de estilo y ortografía fue del Arq. Ramón Longoria.

Atentamente,



SECRETARIA DE ESTUDIOS  
DE POSTGRADO

L.Q.I. MA. TERESA CORREA LETTIERI

Monterrey, N.L. a 19 de junio de 1996

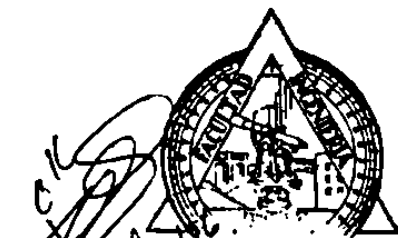
ING. OSCAR MANUEL ROBLES SANCHEZ  
SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

Estimado Ing. Robles.

Por este conducto me permito comunicar a usted, que la Srita. L.Q.I. Ma. Teresa Correa Lettieri pasante de la Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, ha concluido con su tesis titulada "Determinación de las Constantes Cinéticas de Nitrificación en una Agua Residual Mixta (Doméstica e Industrial)", por lo que no hay ningún inconveniente para atender a su solicitud de Exámen de Grado con los requisitos que exige el reglamento de exámenes profesionales de nuestra Institución, he de agradecerle pasar las instrucciones necesarias para que le de trámite correspondiente en ese departamento a su digno cargo.

Sin más por el momento quedo de Usted agradeciendo de antemano la atención.

Atentamente,



SECRETARIA DE ESTUDIOS  
DE POSTGRADO

  
Dr. ALEJANDRO RAMIREZ ALCAZAR

Monterrey, N.L. a 19 de junio de 1996

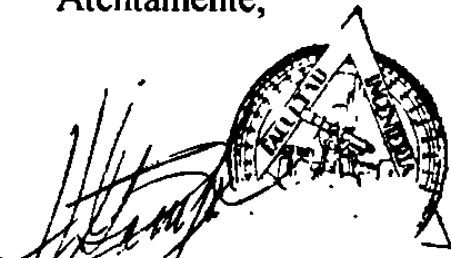
ING. OSCAR MANUEL ROBLES SANCHEZ  
SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

Estimado Ing. Robles.

Por este conducto me permito comunicar a usted, que la Srita. L.Q.I. Ma. Teresa Correa Lettieri pasante de la Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, ha concluido con su tesis titulada "Determinación de las Constantes Cinéticas de Nitrificación en una Agua Residual Mixta (Doméstica e Industrial)", por lo que no hay ningún inconveniente para atender a su solicitud de Exámen de Grado con los requisitos que exige el reglamento de exámenes profesionales de nuestra Institución, he de agradecerle pasar las instrucciones necesarias para que le de trámite correspondiente en ese departamento a su digno cargo.

Sin más por el momento quedo de Usted agradeciendo de antemano la atención.

Atentamente,



Q.I. Ma. HILDA GARCÍA FERNÁNDEZ  
SECRETARIA DE ESTUDIOS  
DE POSTGRADO

## **A Dios nuestro Señor**

**A tí Señor a quien debo todo lo que soy, gracias por permitirme cumplir una etapa más en mi vida, en la cual he comprendido que siempre has estado a mi lado bendiciéndome y guiándome por el buen camino.**

**Gracias Señor te doy hoy y siempre por hacer de mi lo que soy, pero sobre todo por todas las cosas buenas que me has dado, por tu bondad y misericordia, porque cuando estuve sola me acompañaste, cuando estuve triste me consolaste, cuando estuve alegre tú reíste a mi lado, por eso te digo, Gracias Dios mío, por permitirme acercarme a tí en mis oraciones.**

**Por todo esto, con humildad te digo Gracias Dios mío, por hacerme lo que soy, por mi familia y por todas aquellas personas buenas que has puesto en mi camino.**

**A mis Padres:**

**Dr. Rogelio Correa Garza  
y  
Sra. Ma. Teresa Lettieri de Correa**

Que han sido para mi el mejor ejemplo de honestidad, trabajo y dedicación, que han hecho saber que Dios es grande y misericordioso conmigo, pues si no, de que forma puedo explicarme la dicha que representa para mi saberme hija suya.

Esto es una pequeña muestra del agradecimiento, amor y respeto que siento por ustedes, ya que para expresar con palabras todo lo que son; han sido y serán en mi vida, necesitaría todas las obras literarias de la humanidad y aún así me faltaría espacio para seguir escribiéndoles el gran amor que siento por ustedes. Gracias Papá, gracias Mamá, por atenderme y cuidar de mi en mis primeros años, por orientarme y darme su tiempo y su vida. Gracias por hacerme tan feliz.

**Que Dios los bendiga y los mantenga unidos por siempre .**

**Los quiero mucho.**

**A mi querido hermano**

**Dr. José Blas Correa Lettieri**

Gracias por estar siempre a mi lado, por ser mas que un hermano para mi, pues de ti he recibido siempre apoyo, comprensión , protección y amistad; por que con tu alegría y optimismo has sido la dicha de nuestros Padres y mía, por que con tu honestidad y responsabilidad eres nuestro orgullo, porque siempre estás pendiente de mi, sin esperar nunca nada a cambio, por todo esto creo que Dios puso en tí a mi Angel de la guarda.

**Gracias por ser mi hermano, que Dios te bendiga.**

**A mi abuelita:**

**Ma. García de Lettieri**

Gracias abuelita por ser mi gran amiga, por estar a mi lado desde mi niñez, porque con tus juegos no solo me entretenías, sino que me enseñabas a ser mujer y con tus consejos me preparabas para momentos como este, el cual enfrento con tanto valor y tanta seguridad porque tuve en tí al mejor guía y al mejor ejemplo de mujer, pues tu eres una gran mujer a la que Dios sólo dio virtudes y mucho amor para dárnoslo a todos los que te rodeamos.

Que Dios te bendiga siempre abuelita, te quiero y estoy muy orgullosa de seguir al pie de la letra tus sabios consejos, ya que día con día siempre anhelo ser como tú, una gran mujer.

**A la memoria de mi abuelita:**

**Eufemia Garza de Correa  
(q.e.p.d.)**

A tí que fuiste mi gran amiga y que siempre estás conmigo, pues sé que me llevas de tu mano por el camino de la vida, gozando en mi alegría y consolándome en mi tristeza.

Gracias abuelita porque al tenerte cerca todos los días me siento protegida, pues yo sé que Dios te encomendó que me cuidaras y lo haces con tanto amor que no se cómo corresponderte.

**A la memoria de dos grandes hombres:**

**José Correa González y Blas Lettieri Rossi  
(q.e.p.d.)**

Quienes fueron los cimientos que formaron una familia tan sólida como la nuestra, yo sé que Dios los ha colmado de bendiciones y sé también que velan por mí desde el cielo.

Estas breves líneas son sólo para expresarles el infinito cariño y repeto que siempre he sentido por ustedes, pues en mis oraciones me he dado cuenta que velan porque su familia esté unida como ustedes nos lo inculcaron.

Gracias porque con su vida nos han dado la vida a quienes con cariño siempre los recordamos.

**A Q.B.P Eduardo López Bravo : Gracias por tu ayuda desinteresada durante la realización de mi tesis y durante el estudio de la maestría. Agradezco a Dios el haberte puesto en mi camino y el haber hecho de tí una persona maravillosa. Que Dios te bendiga por siempre.**

**A la familia López Bravo antes que yo los conociera ya tenía un concepto maravilloso de ustedes, pues al conocer a su hijo que es una persona maravillosa, llena de bondad y amor, me doy cuenta que los hijos somos el fiel reflejo de la familia a la cual pertenecemos.**

**Que Dios los bendiga.**

**A todos mis tíos a quienes admiro, quiero y respeto, pero muy especialmente a mi tío Sr.Victor Lettieri y su esposa Sra. Rafaela Hernández, quienes han velado siempre por mi felicidad, pues desde pequeña han cuidado de mí con tanto amor y ternura que sólo ustedes, por ser tan buenos, pueden demostrarlo con tanta sencillez. Ahora he crecido y ya no soy aquella niña a quien cuidaban, más sin embargo, siguen siendo los primeros en acudir a mi lado cuando me siento sola; dispuestos siempre a dar todo por verme feliz, los quiero mucho tíos, gracias por su familia tan bonita, por sus hijos Victor, Blas, Vicente, Tere y Rogelio a quienes considero mis hermanos y sobretodo por ser tan buenos, que Dios los bendiga siempre.**

**A mi cuñada y a mi prima política Lolis por aumentar la alegría de esta gran Familia, con su presencia.**

**A todos mis sobrinos quienes son la verdadera alegría de nuestra familia.**

**A Lic Raquel Serrato González quien siempre ha estado dispuesta a ayudarme desinteresadamente, buscando mi bienestar aún antes que el suyo propio, acudiendo en mi ayuda algunas veces antes de solicitárselo, pues en tí existe el don de la entrega ilimitada a las personas que tenemos la dicha de conocerte.**

**A L.Q.L Rosa Elena Treviño Guajardo por ser una gran amiga en las buenas y en las malas, siempre motivándome a ser mejor. Que Dios te bendiga a tí y a toda tu familia.**

**A la familia García Colunga por sus consejos y recomendaciones encaminados siempre a mejorar.**

**A la Srita Juanita Guzmán por su incondicional interés, que en todo momento estuvo dispuesta a ayudarme siendo para mí una persona de gran apoyo.**

**A la maestra Q.L. Ma. Hilda Garza de Salgado con quien he compartido tantos momentos de mi vida y que me ha enseñado a seguir siempre la ruta del esfuerzo, del trabajo y de la honestidad para alcanzar las metas que me he trazado.**

**Gracias maestra por ser mi compañera y mi amiga, que Dios la bendiga.**

**Al Ing. Ricardo Salgado, porque en usted no sólo tuve a un maestro, sino que tengo un amigo desinteresado que siempre ha buscado mi felicidad.**



## **AGRADECIMIENTOS**

**Al Dr. Alejandro Ramírez Alcazar por su inapreciable colaboración en la realización de este trabajo y por sus sabios consejos encaminados siempre a mejorar las cosas.**

**Gracias Doctor por su paciencia y disponibilidad para auxiliarme en todo, por compartir sin egoismos sus conocimientos, siendo usted un gran ejemplo de humildad y superación para mi que siempre lo he admirado por su forma de buscar el éxito y alcanzarlo a base de sacrificios, pero sobre todo de preparación.**

**A todos mis maestros de la Maestría en Ing. Ambiental: Ing. Oscar Robles, Ing. Oziel Chapa, Q.I. Martha Herrejón, Ing. Benjamín Limón, Dr. Febronio Chavarría, Lic. Ricardo Pedraza, Ing. Horacio González Santos, Ing. Benito Muñoz y todos los demás maestros que fueron la base para mi formación. Gracias por todas sus atenciones.**

**Al Biol. Manuel Torres y Biol. Lourdes Barajas del Departamento de Ecología Pesquera de la FCB / UANL por su amabilidad y sus sabios consejos .**

**A Lic. Roberto Mercado por su apoyo profesional en la realización de esta tesis.**

**Al Dr. Fernando Jiménez Guzmán por sus inapreciables observaciones y consejos.**

**A mis compañeros de trabajo Biol. Feliciano Segovia y Q.B.P. Lucio Galaviz por su interés mostrado durante el período de estudio, por sus acertados consejos y por su apreciable amistad.**

**Al Q.B.P Juan Manuel Arredondo Cantú por su disponibilidad para ayudar siempre a quién lo necesita.**

**A la Q.B.P. Ma. de la Paz Tijerina por su bonita amistad.**

**A mis compañeros del Laboratorio de Parasitología: Carlitos Liliانا, Queta, Asunción, José Luis Limón, José Luis González, Jorge, Martín, Lupita, Nene y Margarita por su amistad desinteresada y por su inapreciable vocación para ayudar siempre a quien lo necesita.**

**A Fina y Anita, secretarias de la División de Estudios de Postgrado de La FLC / U.A.N.L., gracias por sus atenciones durante mi estancia en la escuela de Postgrado.**

**A Doña Leo y Doña Marina que siempre han cuidado de mi, gracias por su buena disposición.**

**Mi reconocimiento al Laboratorio de Parasitología de la Facultad de Ciencias Biológicas por haberme facilitado el equipo, material, y reactivos necesarios para la realización de esta tesis.**

**A todas aquellas personas que directa e indirectamente colaboraron en la realización de esta tesis.**

# INDICE

<b>Indice</b>	<b>i</b>
<b>Resumen</b>	<b>iii</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Ciclo del Nitrógeno</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Fuentes de Nitrógeno</b>	<b>4</b>
1.2.1 Fuentes Naturales	4
1.2.2 Actividad del Hombre	4
<b>1.3 Efecto de las Descargas de Nitrógeno</b>	<b>5</b>
1.3.1 Bioestimulación de la Superficie del Agua	5
1.3.2 Toxicidad	6
1.3.3 Efectos sobre la Desinfección	6
1.3.4 Disminución de Oxígeno Disuelto en Aguas Receptoras	7
1.3.5 Salud Pública	7
1.3.6 Utilización del Agua	7
<b>1.4 Procesos de Tratamiento para la Remoción de Nitrógeno</b>	<b>8</b>
1.4.1 Proceso de Tratamiento Convencional	8
1.4.2 Procesos Avanzados	8
1.4.3 Procesos Mayores de Remoción de Nitrógeno	9
1.4.3.1 Nitrificación- Desnitrificación Biológica	9
1.4.3.2 Cloración de "Breakpoint"	9
1.4.3.3 Remoción del Amonio por Intercambio Iónico Selectivo	10
1.4.3.4 Remoción de Amonio por Arrastre con Aire para	10
1.4.4 Uso de Resinas de Intercambio Aniónico para	
Remoción de Nitrógeno	11
1.4.5 Procesos químicos y Biológicos de Nitrificación y	
Desnitrificación	11
1.4.6 Nitrificación	11
1.4.6.1 Clasificación de los Procesos de Nitrificación	12
1.4.6.2 Relación entre Energía y Síntesis de Nitratos	13
1.4.6.3 Relación entre Alcalinidad y pH	14
1.4.6.4 Requerimientos de Oxígeno	15
1.4.6.5 Cinética de Nitrificación	16
1.4.6.6 Dinámica de Poblaciones	16
1.4.6.7 Efecto de Inhibidores sobre la Nitrificación	17
1.4.6.8 Utilidad de la Cinética de Nitrificación Teórica en el Diseño	17

<b>2. Objetivo</b>	<b>18</b>
<b>3. Importancia</b>	<b>18</b>
<b>4. Antecedentes</b>	<b>19</b>
<b>5. Material y Métodos</b>	<b>23</b>
<b>5.1 Equipo Utilizado</b>	<b>23</b>
<b>5.2 Fuente de Agua Residual</b>	<b>24</b>
<b>5.3 Conservación de la Muestra</b>	<b>24</b>
<b>5.4 Montaje de Reactores</b>	<b>25</b>
<b>5.5 Caracterización de las Muestras</b>	<b>26</b>
<b>5.6 Métodos Utilizados</b>	<b>27</b>
<b>5.7 Estabilización de Reactores</b>	<b>27</b>
<b>5.8 Constantes de la Cinética de Nitrificación</b>	<b>28</b>
<b>6. Resultados y Discusiones</b>	<b>29</b>
<b>7. Conclusiones</b>	<b>33</b>
<b>8. Referencias</b>	<b>35</b>
<b>9. Anexos</b>	<b>38</b>
<b>9.1 Plano. Ubicación del Reactor 4</b>	<b>39</b>
<b>9.2 Cuadros de Resultados</b>	<b>41</b>
<b>9.3 Gráficas</b>	<b>58</b>
<b>9.4 Figuras</b>	<b>88</b>

# RESUMEN

Se determinaron las constantes cinéticas de nitrificación de una agua residual mixta procedente de un registro localizado en la Unidad "B" de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Para el ensayo se utilizaron un reactor biológico de 19 l (con retorno de biomasa), dos reactores de 10 l de capacidad y dos de 20 l (éstos cuatro sin retorno de biomasa). Todos los reactores fueron construidos en vidrio y las uniones pegadas con silicón. Los reactores fueron operados con flujo continuo utilizando bombas peristálticas de cabezales simple y doble.

La muestra de agua cruda se colectó diariamente y se mantuvo en refrigeración aproximadamente a 4 °C antes de pasarla a los reactores. Esta muestra previamente sedimentada se pasó a través del reactor biológico (con retorno de biomasa) y posteriormente a cuatro reactores de nitrificación (sin retorno de biomasa) con tiempos de residencia hidráulica de 0.69, 1.16, 2.31, 2.31 y 4.63 días respectivamente. El agua residual decantada de cada reactor se colectó en recipientes de plástico y posteriormente se realizó su caracterización.

Se determinó el coeficiente de crecimiento bacteriano "Y" y el coeficiente de declinación "Kd" obteniéndose valores de 0.14 mg SSV/mg N-NH<sub>3</sub> removidos y 0.043 días<sup>-1</sup> respectivamente.

Con los resultados obtenidos durante el presente estudio se obtuvo una ecuación con signo diferente a la reportada por Metcalf y Eddy (1985). Esto indica que en este estudio la ecuación que rige el recíproco del tiempo de residencia hidráulico (y celular, en este estudio) es:

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \left[ \frac{S_0 - S}{\theta_h X} \right] + K_d$$

El proceso de nitrificación efectuado en este estudio puede ser considerado como del tipo de fases separadas, dado que la relación DBO<sub>5</sub>/NKT(N) resultó menor a tres.

Los datos obtenidos pueden considerarse confiables en el diseño de tratamiento biológico terciario para la conversión de nitrógeno amoniacal a nitritos y nitratos en aguas residuales.