



# KUXULKAB'

REVISTA DE  
**DIVULGACIÓN**  
División Académica de Ciencias Biológicas

ISSN 1665-0514

• Volumen XVII • Número 32 • Enero - Junio 2011 •

**Universidad Juárez Autónoma de Tabasco**



## REVISTA DE DIVULGACIÓN

División Académica de Ciencias Biológicas  
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

*Kuxulkab' Voz chontal - tierra viva, naturaleza*

### CONSEJO EDITORIAL

Dra. Lilia Ma. Gama Campillo  
**Editor en jefe**

Dr. Randy Howard Adams Schroeder  
Dr. José Luis Martínez Sánchez  
**Editores Adjuntos**

Lic. Celia Laguna Landero  
**Editor Asistente**

### COMITÉ EDITORIAL EXTERNO

**Dra. Silvia del Amo**  
Universidad Veracruzana

**Dra. Carmen Infante**  
Servicios Tecnológicos de Gestión Avanzada  
Venezuela

**Dr. Bernardo Urbani**  
Universidad de Illinois

**Dr. Guillermo R. Giannico**  
Fisheries and Wildlife Department,  
Oregon State University

**Dr. Joel Zavala Cruz**  
Colegio de Posgraduados, Campus Tabasco

**Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez**  
División Académica de Ciencias Biológicas  
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Publicación citada en:

- El índice bibliográfico PERIÓDICA., índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.  
Disponible en <http://www.dgbiblio.unam.mx>  
<http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/kuxulkab>

KUXULKAB' Revista de Divulgación de la División Académica de Ciencias Biológicas, publicación semestral de junio 2001. Número de Certificado de Reserva otorgado por Derechos: 04-2003-031911280100-102. Número de Certificado de Licitud de Título: (11843). Número de Certificado de Licitud de Contenido: (8443). Domicilio de la publicación: Km. 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, entronque a Bosques de Saloya. Villahermosa, Tabasco. C.P. 86039 Tel. y fax (93) 54 43 08. Imprenta: Morari Formas Continuas, S.A. de C.V. Heróico Colegio Militar No. 116. Col. Atasta C. P. 86100 Villahermosa, Tabasco. Distribuidor: División Académica de Ciencias Biológicas Km. 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, entronque a Bosques de Saloya. Villahermosa, Tabasco.

### **Nuestra Portada**

**Diseño de Portada por:**

Lilianna López Gama

**Fotos:**

Rafael Sánchez Gutiérrez

## Estimados lectores de Kuxulkab´:

**D**urante el transcurso de este año se han venido realizando una importante cantidad de eventos ambientales en los que profesores y estudiantes de nuestra División han participado divulgando las actividades que realizamos, lo que refleja la dinámica que se tiene de trabajo.

Kuxulkab´ es otro medio de divulgación importante en nuestra División, el objetivo de nuestra revista es hacer llegar a nuestros lectores de forma sencilla y agradable temas de interés general además de darles a conocer algunas de las actividades de investigación que se hacen en nuestra División como una contribución a la divulgación de las ciencias ambientales, entre los documentos que nos envían, seleccionamos temas que les comuniquen cual es la situación de los recursos naturales en especial de nuestro Estado, además de algunos otros temas que describan problemas ambientales que estemos viviendo día a día. Este número contiene una colección de catorce artículos y una nota además de un poema de su autoría que una colega comparte con nosotros en esta ocasión. Los temas están relacionados a temas de actualidad en la ciencia como es la bioquímica, biotecnología o la biología molecular y sus aplicaciones, así también de reciclado de materiales y manejo de agua como un recurso vital y abundante en nuestro estado. Entre los artículos incluidos destacan investigaciones que se llevan a cabo en nuestra escuela tanto por alumnos como por profesores/investigadores en los que comparte resultados de cursos, investigaciones ambientales y estudios realizados entre nuestra población estudiantil con lo que refrendamos nuestro compromiso en tener una puerta abierta para que todos los que realizan actividades es nuestra División tengan un espacio de comunicación. Nuestros artículos presentan resultados de contribuciones de investigación de campo o bibliográficas que se desarrollan en los cursos de licenciatura y posgrado, así como resultados de investigaciones realizadas como tesis o en los proyectos de investigación que los profesores/investigadores llevan a cabo en nuestra escuela.

Les invitamos a seguir enviándonos sus manuscritos, haciendo una especial invitación a que cada vez más estudiantes se incorporen a la divulgación de temas que consideren serán de interés a sus compañeros y cuyos resultados de sus investigaciones comparten con nosotros. Como siempre agradecemos a los colaboradores interesados en la divulgación y que comparten con nosotros temas de interés general así como los resultados de sus proyectos. Con un sincero reconocimiento a los colegas que desinteresadamente colaboran en el arbitraje que nos permite mantener la calidad de los trabajos.

**Lilia Gama**  
Editor en Jefe

**Rosa Martha Padrón López**  
Directora

**División Académica de Ciencias Biológicas**  
**Universidad Juárez Autónoma de Tabasco**



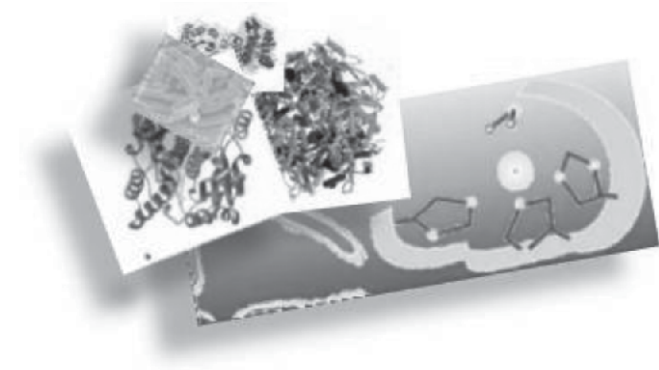


---

# Las Nitrorreductasas y su Aplicación en Biotecnología

**Rodolfo Gómez Cruz**

División Académica de Ciencias Biológicas  
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
Km. 0.5 Autopista Vhsa-Cárdenas,  
entronque a Bosques de Saloya  
C.P. 86039 Villahermosa, Tab.  
rgomezacruz@hotmail.com



Las nitrorreductasas (NR) son un grupo de enzimas ampliamente distribuidas en bacterias, archaea y algunos organismos eucariotas (Marques de Oliveira *et al.*, 2007). Son flavoproteínas dependientes de NAD(P)H, que es utilizado como donador fisiológico de electrones para la reducción del grupo nitro presente en una gran variedad de sustratos, produciendo los derivados hidroxilamino o amino correspondientes, así como también para la reducción de quinonas y flavinas (Zenno *et al.*, 1996b; Choi *et al.*, 2008). El cofactor flavínico de las nitrorreductasas es el FMN (Bryant *et al.*, 1981; Choi *et al.*, 2008; Roldan *et al.*, 2008). La actividad nitrorreductasa también se asocia a una diversidad de enzimas, incluyendo la xantina oxidasa, la aldehído oxidasa, varias flavoproteínas, la NADPH–citocromo P450 reductasa y el citocromo P450. Las isoenzimas principales del citocromo P450 (CYP) que exhiben actividad nitrorreductasa son las isoenzimas CYP1A2, CYP3A4 y CYP2B10 (Zbaida, 2002).

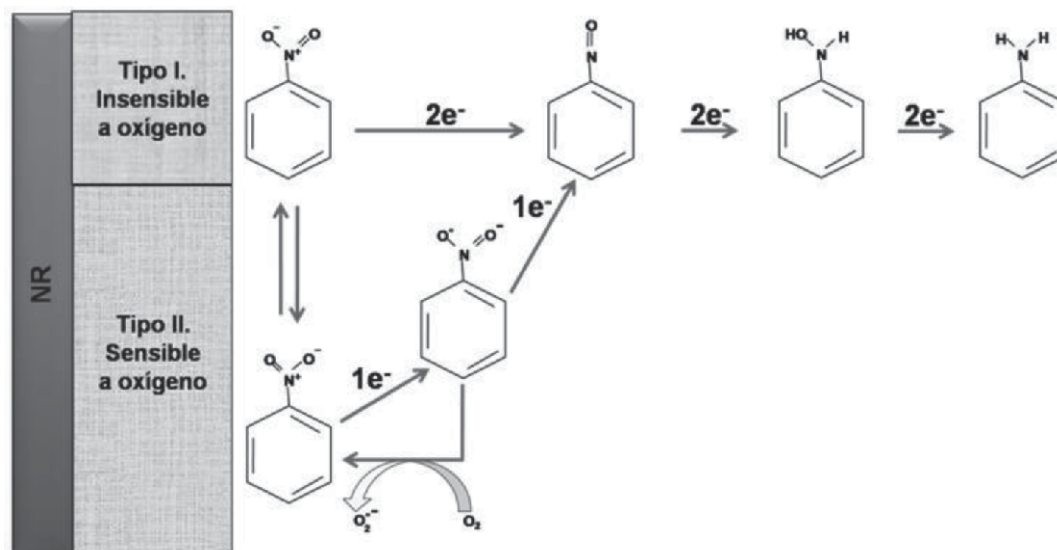
## 1. Tipos y mecanismos de reducción

Se han descrito dos tipos de nitrorreductasas según su respuesta al oxígeno (Asnis, 1957; Bryant *et al.*, 1981; Spain, 1995a; Roldan *et al.*, 2008) (Fig. 1). Las

nitrorreductasas tipo I, insensibles a oxígeno, catalizan la adición sucesiva de pares de electrones a los grupos nitro de una amplia variedad de sustratos. La caracterización bioquímica de las enzimas de enterobacterias se puede tomar como modelo para entender a este tipo de nitrorreductasas. Las nitrorreductasas insensibles a oxígeno son muy específicas para transferir dos electrones debido a que los potenciales del cofactor flavínico en estas enzimas tienden a suprimir la formación de la semiquinona tanto en la enzima libre como en el complejo enzima–sustrato (Koder *et al.*, 2002), pero según la enzima y el sustrato utilizado, en algunas nitrorreducciones el derivado hidroxilamino es el producto final en lugar del correspondiente amino. Entre estas enzimas insensibles a O<sub>2</sub> están la mayoría de las nitrorreductasas bacterianas (Bryant *et al.*, 1981; Spain, 1995a; Roldan *et al.*, 2008), la DT–diaforasa o NAD(P)H quinona reductasa (Horie *et al.*, 1982; Kutcher y McCalla, 1984; Riley y Workman, 1992) y la xantina oxidasa de mamíferos (Kutcher y McCalla, 1984; Ueda *et al.*, 2003).

Las nitrorreductasas tipo II son sensibles a oxígeno ya que catalizan la reducción del grupo nitro mediante la adición inicial de un electrón, formando un radical nitro anión que en presencia de oxígeno puede formar el radical anión superóxido, regenerándose el compuesto nitroaromático de partida (Koder *et al.*, 2002). Así, la sensibilidad a oxígeno de las nitrorreductasas tipo II es el resultado de la oxidación aeróbica del anión nitroaromático formado (Mason y Holzman, 1975a,b; Spain, 1995a).

Además de algunas nitrorreductasas bacterianas, ciertas enzimas de mamíferos catalizan este tipo de reducción, como la



**Figura 1.** Tipos de nitrorreductasas. La reducción mediante adición de pares de electrones es realizada por nitrorreductasas insensibles a oxígeno (tipo I) y da lugar a los intermediarios nitroso, hidroxilamino y amino. La reducción con un electrón mediante nitrorreductasas sensibles a oxígeno (tipo II) da lugar a un radical nitro anión que puede volver a reoxidarse en presencia de oxígeno, generando el radical anión superóxido. Tomada de Gómez, 2009).

NADPH:citocromo P450 reductasa (Holtzman *et al.*, 1981; Moreno *et al.*, 1984; Orna y Mason, 1989), la ferredoxina:NADP<sup>+</sup> reductasa (Yarlett *et al.*, 1985; Orna y Mason, 1989; Anusevičius *et al.*, 1997; Miskiniene *et al.*, 1998) y la NADH:ubiquinona reductasa (Smyth y Orsi, 1989; Bironaitė *et al.*, 1991). Estas nitrorreductasas de mamíferos pueden reducir compuestos polinitroaromáticos a radical nitroanión, como primer intermediario, y se ha descrito que pueden activar a varios profármacos biorreducibles (Fouts y Brodie, 1957; McCalla *et al.*, 1971; Mason y Holtzman, 1975b; Aiub *et al.*, 2006). Así, la ferredoxina:NADP<sup>+</sup> oxidorreductasa y la NADPH–citocromo P450 reductasa reducen compuestos nitroheterocíclicos a radical nitroanión, y subsecuentemente se produce el radical anión superóxido y la regeneración del grupo nitro (Wardman y Clarke, 1976; Orna y Mason, 1989).

Aunque las bacterias pueden poseer nitrorreductasas de ambos tipos, las más estudiadas son las de tipo I, insensibles a oxígeno (Tabla 1), que catalizan la reducción de una gran variedad de compuestos nitroaromáticos mediante la adición de pares de electrones formando intermediarios nitroso (–NO) e hidroxilamino (–NHOH) y, finalmente, el producto amino–derivado (–NH<sub>2</sub>) (Nishino y Spain, 1993; Roldan *et al.*,

2008).

## 2. Importancia biotecnológica de las nitrorreductasas

Las enzimas que catalizan la biodegradación de xenobióticos son producidas a menudo por procesos inducidos y éstos determinan posteriormente el tiempo de aclimatación a los sustratos xenobióticos. Los degradadores microbianos se adaptan a los sustratos xenobióticos mediante los mecanismos genéticos que determinan posteriormente la evolución de las rutas degradativas funcionales y la creación de nuevas combinaciones genéticas que facilitan la mineralización de xenobióticos (Black, 1999). El desarrollo reciente de las técnicas moleculares de alto rendimiento, tales como PCR, microarrays y bibliotecas metagenómicas, ha ayudado a desarrollar aplicaciones de la diversidad genética entre microorganismos ambientalmente relevantes así como la identificación de nuevos genes funcionales que podrían aumentar el control de la disminución de la contaminación (Abayomi, 2007).

En el caso de las nitrorreductasas, han levantado un enorme interés no sólo por su uso potencial en biorremediación (Rieger y Knackmuss,

Nombre de la bacteria y la NR	Monómero (kDa)	Especificidad de sustrato	Donador de electrones	Referencias
<i>Escherichia coli</i> NfsA	27	Nitrofurazona y otros compuestos nitroderivados	NADPH	Bryan <i>et al.</i> , 1981 Zenko <i>et al.</i> , 1996a Zenko <i>et al.</i> , 1998a
<i>Escherichia coli</i> NfsB	24	Nitrofurazona y diferentes compuestos nitroderivados (incluyendo CB1954 y CL20), cromato	NAD(P)H	Bryan <i>et al.</i> , 1981 Zenko <i>et al.</i> , 1996b Zenko <i>et al.</i> , 1996c
<i>Escherichia coli</i> K12 YdjA	20	Desconocido	NAD(P)H	Choi <i>et al.</i> , 2008
<i>Salmonella enterica</i> Cnr	24	Diferentes compuestos nitroderivados ( <i>p</i> -nitrofenol, <i>p</i> -nitrobenzoato, 1-nitropireno), 2-aminofluoreno, menadióna, flavinas	NAD(P)H	Watanabe <i>et al.</i> , 1990 Watanabe <i>et al.</i> , 1998
<i>Salmonella enterica</i> SarA	28	Diferentes compuestos nitroderivados nitrofuranos, nitrobenzenos, quinonas, nitroimidazoles, TNT	NADPH	Nokbbeh <i>et al.</i> , 2002
<i>Enterobacter cloacae</i> NR	27	Nitrofuranos, nitrobenzenos, quinonas, nitroimidazoles, TNT	NAD(P)H	Bryan y DeLuca, 1991 Koder y Miller, 1998
<i>Klebsiella</i> sp. NTR I	27	TNT, 2,4-dinitrotolueno	NAD(P)H	Kim <i>et al.</i> , 2003 Kim y Song, 2005
<i>Pseudomonas pseudoalcaligenes</i> NhzA	30	Nitrobenzeno, TNT, 4-nitrobifenil éter	NADPH	Sommerville <i>et al.</i> , 1995 Fiorella y Spain, 1997 Nadeau y Spain, 2000
<i>Pseudomonas putida</i> ParA	28	TNT, 2,4-dinitrotolueno, 4-nitrotolueno, 4-nitrobenzoato, 3,5-dinitroanilina	NADPH	Caballero <i>et al.</i> , 2005
<i>Vibrio fischeri</i> FRaseI	25	FMN, quinonas, diferentes compuestos nitroderivados	NAD(P)H	Zenko <i>et al.</i> , 1994
<i>Vibrio harveyi</i> FRP	26	FMN, diferentes compuestos nitroderivados, cromato	NADPH	Lei <i>et al.</i> , 1994
<i>Synechocystis</i> sp. DrgA	26	Flavinas, quinonas, ion férrico, nitrofurazona, dinoseb	NAD(P)H	Matsuo <i>et al.</i> , 1998 Takeda <i>et al.</i> , 2007
<i>Rhodobacter capsulatus</i> NprA	27	2,4-dinitrofenol y varios compuestos nitroderivados	NAD(P)H	Blasco y Castilla, 1993 Pérez-Reinado <i>et al.</i> , 2005 Pérez-Reinado <i>et al.</i> , 2008
<i>Bacillus subtilis</i> YwrO	22	CB 1954	NAD(P)H	Anlezark <i>et al.</i> , 2002
<i>Bacillus subtilis</i> NfrA1(YwcG)	29	Flavinas, nitrofurazona, nitrofurantoina	NADPH	Zenko <i>et al.</i> , 1998b
<i>Staphylococcus aureus</i> NfrA	29	Flavinas, nitrofurazona, nitrofurantoina	NADPH	Streker <i>et al.</i> , 2005
<i>Clostridium acetobutylicum</i> NifA	31	TNT, 2,4-dinitrotolueno	NADH	Kitty y Bennett, 2005
<i>Clostridium acetobutylicum</i> NifB	23	TNT, 2,4-dinitrotolueno	NAD(P)H	Kitty y Bennett, 2005

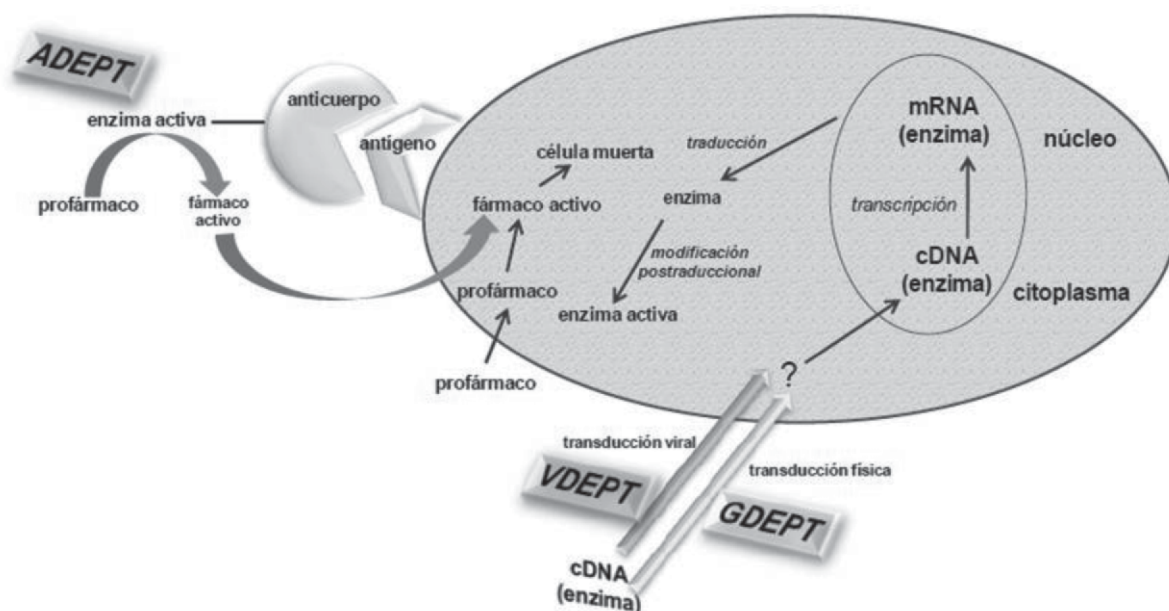
Tabla 1. Nitrorreductasas bacterianas tipo I o insensibles a oxígeno más relevantes. Adaptado de Roldán *et al.*, 2008.

1995; Spain, 1995a; Rieger *et al.*, 2002; Lewis *et al.*, 2004; Ramos *et al.*, 2005; Roldan *et al.*, 2008) y biocatálisis (Kadiyala *et al.*, 2003), sino también por su papel central en la mediación de la toxicidad, mutagenicidad y carcinogénesis de muchos compuestos nitroderivados (Beland y Kadlubar, 1990; Rafii *et al.*, 1991; Whiteway *et al.*, 1998; Padda *et al.*, 2003; Šarlauskas *et al.*, 2004) y por su capacidad de activación de varios profármacos utilizados en las terapias antitumorales dirigidas como las técnicas ADEPT, GDEPT y VDEPT (Knox *et al.*, 1993; Knox y Connors, 1997; Xu y McLeod,

2001; Denny, 2002; Knox *et al.*, 2003; Rooseboom *et al.*, 2004; Searle *et al.*, 2004; Roldan *et al.*, 2008).

Estas técnicas son de dos tipos: las que introducen los genes bacterianos que codifican las enzimas que activan al profármaco en los tejidos del tumor (GDEPT y VDEPT) y las que dirigen las enzimas activas hacia los tejidos del tumor mediante su conjugación a anticuerpos específicos para células tumorales (ADEPT) (Fig. 2).





**Figura 2.** Esquema general de las terapias enzima/profármaco para determinados tipos de cáncer. Según Xu y McLeod, 2001.

Por otro lado, también es importante citar que las nitrorreductasas son las principales responsables de la resistencia a metronidazol desarrollada por *Helicobacter pylori*, el principal causante de úlcera gástrica y un factor de riesgo frente al adenocarcinoma y al linfoma gástrico (Gerrits *et al.*, 2004), así como de la resistencia desarrollada frente a algunos fármacos como los nitrofuranos y otros antibióticos (Whiteway *et al.*, 1998).

#### Literatura citada

**Abayomi O.** 2007. Molecular strategies of microbial adaptation to xenobiotics in natural environment. *Biotech. Mol. Biol. Rev.* 2:1–13.

**Aiub CA, Mazzei JL, Pinto LF, Felzenszwalb I** 2006. Evaluation of nitroreductase and acetyltransferase participation in *N*-nitrosodiethylamine genotoxicity. *Chem.–Biol. Interact.* 161:146–154.

**Anusevičius Z, Martínez-Julvez M, Genzor DG, Nivinskas H, Gómez-Moreno C, Cènas N.** 1997. Electron transfer reactions of *Anabaena* PCC7119 ferredoxin NADP<sup>+</sup> reductase with nonphysiological oxidants. *Biochim. Biophys. Acta* 1320:247–255.

**Asnis RE.** 1957. The reduction of furacin by cell-free extracts of furacinresistant and parent-susceptible strains of *Escherichia coli*. *Arch. Biochem. Biophys.* 66:208–216.

**Beland FA, Kadlubar FF.** 1990. Metabolic activation and DNA adducts of aromatic amines and nitroaromatic hydrocarbons. En: Cooper CS, Grover PL (eds.), *Chemical Carcinogenesis and Mutagenesis*. Springer-Verlag, Berlin, pp 267–325.

**Bironaitè DA, Cènas N, Kulys JJ.** 1991. The rotenone-insensitive reduction of quinones and nitrocompounds by mitochondrial NADH:ubiquinone reductase. *Biochim. Biophys. Acta* 1060:203–209.

**Black JG.** 1999. Bioremediation. En: *Microbiology: Principles and Explorations*, 4th edition, Prentice Hall Publishers, Upper Saddle River, pp 751–752.

**Bryant CH, DeLuca M.** 1991. Purification and characterization of an oxygen-insensitive NAD(P)H nitroreductase from *Enterobacter cloacae*. *J. Biol. Chem.* 266:4119–4125.

**Bryant DW, McCalla M, Leelsma M, Laneuville P.** 1981. Type I nitroreductases of *Escherichia coli*. *Can. J. Microbiol.* 27:81–86.



- Choi JW, Lee J, Nishi K, Kim YS, Jung CH, Kim JS.** 2008. Crystal structure of a minimal nitroreductase, ydjA, from *Escherichia coli* K12 with and without FMN cofactor. *J. Mol. Biol.* 377:258–267.
- Denny WA.** 2002. Nitroreductase-based GDEPT. *Curr. Pharm. Des.* 8:1349–1361.
- Fouts JR, Brodie BB.** 1957. The enzymatic reduction of chloramphenicol p-nitrobenzoic acid and the other aromatic nitro-compounds in mammals. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 119:197–207.
- Gerrits MM, van der Wouden EJ, Bax DA, van Zwet AA, van Vliet AHM, de Jong A, Kusters JG, Thijs JC, Kuipers EJ.** 2004. Role of the *rdxA* and *frxA* genes in oxygen-dependent metronidazole resistance of *Helicobacter pylori*. *J. Med. Microbiol.* 53:1123–1128.
- Gómez R.** 2009. Degradación de compuestos nitroaromáticos por *Rhodobacter*: Purificación de la nitrorreductasa NprB. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. España.
- Holtzman JL, Crankshaw DL, Peterson FJ, Polnaszek CF.** 1981. The kinetics of the aerobic reduction on nitrofurantoin by NADPH-cytochrome P-450 reductase. *Mol. Pharmacol.* 20:669–673.
- Horie S, Watanabe T, Ohta A.** 1982. Studies on the enzymatic reduction of C-nitroso compounds. V. Molecular properties of porcine heart C-nitrosoreductase and identity of this enzyme with NAD(P)H dehydrogenase. *J. Biochem.* 92:661–71.
- Kadiyala V, Nadeau LJ, Spain JC.** 2003. Construction of *Escherichia coli* strains for conversion of nitroacetophenones to ortho-aminophenols. *Appl. Environ. Microbiol.* 69:6520–6526.
- Kim HY, Song HG.** 2005. Purification and characterization of NAD(P)H-dependent nitroreductase I from *Klebsiella* sp. C1 and enzymatic transformation of 2,4,6-trinitrotoluene. *Appl. Microbiol. Biotech.* 68:766–773.
- Knox RJ, Connors TA.** 1997. Prodrugs in cancer chemotherapy. *Pathol. Oncol. Res.* 3:309–324.
- Knox RJ, Friedlos F, Boland MP.** 1993. The bioactivation of CB1954 and its use in antibody-directed enzyme prodrug therapy (ADEPT). *Cancer Metast. Rev.* 12:195–212.
- Knox RJ, Burke PJ, Chen S, Kerr DJ.** 2003. CB1954: from the Walker tumor to NQO2 and VDEPT. *Curr. Pharm. Des.* 9:2091–2104.
- Koder RL, Miller AF.** 1998. Steady-state kinetic mechanism, stereospecificity, substrate and inhibitor specificity of *Enterobacter cloacae* nitroreductase. *Biochim. Biophys. Acta* 1387:395–405.
- Koder RL, Haynes CA, Rodgers ME, Rodgers DW, Miller AF.** 2002. Flavin thermodynamics explain the oxygen insensitivity of enteric nitroreductases. *Biochemistry* 41:14197–14205.
- Kutcher W, McCalla D.** 1984. Aerobic reduction of 5-nitro-2-furaldehyde semicarbazone by rat liver xanthine dehydrogenase. *Biochem. Pharmacol.* 33:799–805.
- Lewis TA, Newcombe DA, Crawford RL.** 2004. Bioremediation of soils contaminated with explosives. *J. Environ. Manag.* 70:291–307.
- Marques de Oliveira I, Pêgas JA, Bonatto D.** 2007. *In silico* identification of a new group of specific bacterial and fungal nitroreductase-like proteins. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 355:919–925.
- Mason RP, Holtzman JL.** 1975a. The role of catalytic superoxide formation in the O<sub>2</sub> inhibition of nitroreductase. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 67:1267–1274.
- Mason RP, Holtzman JL.** 1975b. The mechanism of microsomal and mitochondrial nitroreductase. Electron spin resonance evidence for nitroaromatic free radical intermediates. *Biochemistry* 14:1626–1632.
- McCalla DR, Reuvers A, Kaiser C.** 1971. "Activation" of nitrofurazone in animal tissues. *Biochem. Pharmacol.* 20:3532–3537.
- Miskiniene V, Šarlauskas J, Jacquot J, Čėnas N.** 1998. Nitroreductase reactions of *Arabidopsis thaliana* thioredoxin reductase. *Biochim. Biophys. Acta* 1366:275–283.

- Moreno S, Mason R, Docampo R.** 1984. Reduction of nifurtimox and nitrofurantoin to free radical metabolites by rat liver mitochondria. *J. Biol. Chem.* 259:6298–6305.
- Nishino SF, Spain JC.** 1993. Degradation of nitrobenzene by a *Pseudomonas pseudoalcaligenes*. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:2520–2525.
- Nokhbeh MR, Boroumandi S, Pokorny N, Koziarz P, Paterson ES, Lambert IB.** 2002. Identification and characterization of SnrA, an inducible oxygen-insensitive nitroreductase in *Salmonella enterica* serovar Typhimurium TA1535. *Mut. Res.* 508:59–70.
- Orna VM, Mason RP.** 1989. Correlation of kinetic parameters of nitroreductase enzymes with redox properties of nitroaromatic compounds. *J. Biol. Chem.* 264:12379–12384.
- Padda RS, Wang C, Hughes JB, Bennett GN.** 2003. Mutagenicity of nitroaromatic explosives during anaerobic transformation by *Clostridium acetobutylicum*. *Environ. Toxicol. Chem.* 22:2293–2297.
- Rafii F, Franklin W, Heflich RH, Cerniglia CE.** 1991. Reduction of nitroaromatic compounds by anaerobic bacteria isolated from the human gastrointestinal tract. *Appl. Environ. Microbiol.* 57:962–968.
- Ramos JL, González-Pérez MM, Caballero A, van Dillewijn P.** 2005. Bioremediation of polynitrated aromatic compounds: plants and microbes put up a fight. *Curr. Opin. Biotech.* 16:275–281.
- Rieger PG, Knackmuss HJ.** 1995. Basic knowledge and perspectives on biodegradation of 2,4,6-trinitrotoluene and related nitroaromatic compounds in contaminated soil. En: Spain JC (ed.), *Biodegradation of Nitroaromatic Compounds*. Plenum Press, New York, pp 1–18.
- Rieger PG, Meier HM, Gerle M, Vogt U, Groth T, Knackmuss HJ.** 2002. Xenobiotics in the environment: present and future strategies to obviate the problem of biological persistence. *J. Biotech.* 94:101–123.
- Riley RJ, Workman P.** 1992. DT-diaphorase in cancer chemotherapy. *Biochem. Pharmacol.* 43:1657–1669.
- Roldán MD, Pérez-Reinado E, Castillo F, Moreno-Vivián C.** 2008. Reduction of polynitroaromatic compounds: the bacterial nitroreductases. *FEMS Microbiol. Rev.* 32:474–500.
- Rooseboom M, Commandeur JNM, Vermeulen NPE.** 2004. Enzyme-catalyzed activation of anticancer prodrugs. *Pharmacol. Rev.* 56:53–102.
- Šarlauskas J, Nemeikaitė-Čėnienė A, Anusevičius Ž, Misevičienė L, Marozienė A, Markevičius A, Narimantas Čėnas.** 2004. Enzymatic redox properties of novel nitrotriazole explosives implications for their toxicity. *Z. Naturforsch.* 59:399–404.
- Searle PF, Chen MJ, Hu L, Race PR, Lovering AL, Grove JI, Guise C, Jaberipour M, James ND, Mautner V, Young LS, Kerr DJ, Mountain A, White SA, Hyde EI.** 2004. Nitroreductase: a prodrug-activating enzyme for cancer gene therapy. *Clin. Experimen. Pharmacol. Physiol.* 31:811–816.
- Smyth G, Orsi B.** 1989. Nitroreductase activity of NADH dehydrogenase of the respiratory redox chain. *Biochem. J.* 257:859–863.
- Spain JC.** 1995a. Biodegradation of nitroaromatic compounds. *Annu. Rev. Microbiol.* 49:523–555.
- Ueda O, Kitamura S, Ohashi K, Sugihara K, Ohta S.** 2003. Xanthine oxidase-catalyzed metabolism of 2-nitrofluorene, a carcinogenic air pollutant, in rat skin. *Drug Metab. Dispos.* 31:367–372.
- Wardman P, Clarke ED.** 1976. Oxygen inhibition of nitroreductase: electron transfer from nitro radical-anions to oxygen. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 69:942–949.
- Watanabe M, Ishidate M, Nohmi T.** 1990. Nucleotide sequence of *Salmonella typhimurium* nitroreductase gene. *Nucleic Acids Res.* 18:1059.
- Watanabe M, Nishino T, Takio K, Sofuni T, Nohmi T.** 1998. Purification and characterization of wild-type and mutant “classical” nitroreductases of *Salmonella typhimurium*. *J. Biol. Chem.* 273:23922–23928.

**Whiteway J, Koziarz PJ, Veall V, Sandhu N, Kumar P, Hoecher B, Lambert IB.** 1998. Oxygen-insensitive nitroreductases: analysis of the roles of *nfsA* and *nfsB* in development of resistance to 5-nitrofurán derivatives in *Escherichia coli*. J. Bacteriol. 180:5529–5539.

**Xu G, McLeod HL.** 2001. Strategies for enzyme/prodrug cancer therapy. Clin. Cancer Res. 7:3314–3324.

**Zbaida S.** 2002. Nitroreductases and azoreductases. Enzyme systems that metabolise drugs and other xenobiotics. Curr. Toxicol. Series. 16:555–566.

**Zenno S, Koike H, Kumar AN, Jayarman R, Tanokura M, Saigo K.** 1996a. Biochemical characterization of NfsA, the *Escherichia coli* mayor nitroreductase exhibiting a high amino acid sequence homology to Frp, a *Vibrio harveyi* flavin oxidoreductase. J. Bacteriol. 178:4508–4514.

**Zenno S, Koike H, Tanokura M, Saigo K.** 1996b. Gene cloning, purification and characterization of NfsB, a minor oxygen-insensitive nitroreductase from *Escherichia coli*, similar in biochemical properties to FRasel, the major flavin reductase in *Vibrio fischeri*. J. Biochem. 120:736–744.

**Zenno S, Kobori T, Tanokura M, Saigo K.** 1998a. Conversion of NfsA, the major *Escherichia coli* nitroreductase, to a flavin reductase with an activity similar to that of Frp, a flavin reductase in *Vibrio harveyi*, by a single amino acid substitution. J. Bacteriol. 180:422–425.

# CONTENIDO

<b>“Reciclado de Polietileno Tereftalato (PET), Diversas Opciones”</b> CLAUDIA MARÍA DEL CARMEN CENICEROS GONZÁLEZ.....	5
<b>Evaluación de la Calidad Espermática del Robalo Chucumite (<i>Centropomus parallelus</i>) Usando Implante de GnRH-a Bajo Condiciones de Laboratorio</b> MARÍA DE JESÚS CONTRERAS GARCÍA, WILFRIDO CONTRERAS SÁNCHEZ, ULISES HERNÁNDEZ VIDAL, LENIN ARIAS RODRÍGUEZ, ALEJANDRO MCDONAL VERA, JUAN MANUEL VIDAL LÓPEZ, CARLOS A. ÁLVAREZ GONZÁLEZ, SALOMÓN PÁRAMO DELGADILLO, REINALDO PATIÑO.....	11
<b>Efecto del trifloxystrobin sobre frutos de papaya (<i>Carica papaya L.</i>) infectados por <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (Penz.)</b> MAGDIEL TORRES DE LA CRUZ, MARIÁN GUADALUPE HERNÁNDEZ ARENAS, LUIS ALFONSO AGUILAR PÉREZ.....	17
<b>Valoración Médica para Favorecer la Formación Integral del Alumno de Nuevo Ingreso</b> IRIS SELENE QUIJANO MENDEZ, MARÍA ELENA MACÍAS VALADEZ TREVIÑO, ELIZABETH MAGAÑA VILLEGAS, EUNICE PÉREZ SÁNCHEZ.....	23
<b>Análisis Comparativo del tratamiento y reúso del Agua en México del año 2005 al 2008</b> JERARDO VELÁZQUEZ HERNÁNDEZ, ROBERTO CARLOS DÍAZ PAZ.....	29
<b>Los marcadores moleculares: herramientas innovadoras en biología molecular</b> YAZMÍN HERNÁNDEZ-DÍAZ, MANUEL JIMÉNEZ GARCÍA.....	37
<b>Hábitos alimentarios de <i>Gambusia yucatanana</i> en la División Académica de Ciencias Biológicas (UJAT). Villahermosa Tab.</b> AMÉRICA MONDRAGÓN SÁNCHEZ, OBED RODAS REGIL.....	43
<b>Vegetación y Uso del Suelo de la Reserva Ecológica Cascadas de Reforma, Balancán, Tabasco</b> ISABEL PALOMEQUE MARTÍNEZ, ISRAEL CONTRERAS RODRÍGUEZ, OFELIA CASTILLO ACOSTA, JOSUÉ CANUL HERNÁNDEZ, LUISA CÁMARA CABRALES, HUMBERTO HERNÁNDEZ TREJO, ANA LINDA GARCÍA PÉREZ, SARA IZQUIERDO VALENZUELA, CAROLINA ZEQUEIRA LARIOS, JOEL ZAVALA CRUZ.....	49
<b>Caracterización y propuesta de tratamiento de las aguas residuales generadas en la División Académica de Ciencias Biológicas-UJAT</b> JOSÉ REYES OSORIO, JOSÉ RAMÓN LAINES CANEPA, ROBERTO CARLOS DIAZ PAZ.....	61
<b>Tendencias del Rendimiento Académico en Estudiantes de Nuevo Ingreso en la DACBiol - UJAT</b> MARÍA ELENA MACÍAS VALADEZ, GRETA GÓMEZ, MARÍA DEL ROSARIO BARRAGÁN, JESÚS MANUEL CARRERA.....	71
<b>Potencial ecoturístico de la comunidad Chontal de Olcuatitán, Nacajuca, Tabasco</b> KARINA SÁNCHEZ-CARRIZOSA, EDUARDO S. LÓPEZ-HERNÁNDEZ.....	77
<b>La digestión anaerobia y la bioquímica</b> KARLA CRISTEL CÁMARA MOGUEL, JOSÉ RAMÓN LAINES CANEPA.....	89
<b>Abundancia poblacional del ostión <i>Crassostrea virginica</i> en la laguna Mecoacán del Estado de Tabasco, México</b> ARTURO GARRIDO MORA, FRANCISCO JAVIER FÉLIX TORRES, YESSÉNIA SÁNCHEZ ALCUDIA, ALBERTO DE JESÚS SÁNCHEZ, JOSÉ LUIS RAMOS PALMA, ANDRÉS A. GRANADOS BERBER, ROSA AMANDA FLORIDO ARAUJO, VIOLETA RUIZ CARRERA, LEONARDO ACOSTA DÍAZ.....	97
<b>Las Nitrorreductasas y su Aplicación en Biotecnología</b> RODOLFO GÓMEZ CRUZ.....	101
<b>NOTAS</b>	
<b>Programa de Tutorías: Enfoque, Diseño y Procedimientos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas</b> .....	109
<b>Oda al Hongo</b> SILVIA CAPPELLO G.....	113



ISSN - 1665 - 0514