

# Importancia de la determinación de la urea en ecosistemas costeros

Francisco Gutiérrez Mendieta,  
Raúl Torres Mejía y  
Rocío Torres Alvarado.

Laboratorio de Ecosistemas Costeros, Departamento de Hidrobiología. D.C.B.S. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.  
Apdo. Postal 55-535. Iztapalapa, México D.F. 09340. México.

Gutiérrez Mendieta, F., R. Torres Mejía y R. Torres Alvarado, 1998. Importancia de la determinación de la urea en ecosistemas costeros. *Hidrobiológica* 8 (2): 155-164.

## RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de la cuantificación de urea en diferentes ambientes costeros de México. En general, se observa que la urea puede ser, dentro de los compuestos nitrogenados, la segunda forma en importancia después del amonio. Así mismo, cuando se considera a la urea en el cálculo del nitrógeno total ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , urea), ésta puede representar entre un 6 y un 35% de la concentración. Su distribución generalmente se da en forma de parches, aunque existen ocasiones en las que se puede presentar una distribución tipo pluma, especialmente en zonas de alta influencia humana, y es por lo anterior que se recomienda su evaluación de manera rutinaria en los estudios de hidrología en este tipo de ambientes ya que puede ser de gran utilidad tanto para tener un adecuado conocimiento de las concentraciones de nitrógeno presente, así como para detectar zonas en las que exista una alta influencia humana.

**Palabras clave:** Urea, lagunas costeras, determinación.

## ABSTRACT

We present here the quantification of urea in different coastal environments of Mexico. In general, considering all the nitrogen forms, the concentration of urea can be the second in terms of importance after ammonia. Also, its distribution presents two kinds of patterns, patchy, which is generally the dominant, or plume pattern, mainly located in areas of high human influence. When the urea concentration is considered along with the other nitrogenous forms normally determined ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ), it can amount from 6 to 35% of the total nitrogen. Therefore, it is recommended that the evaluation of urea should be included in the hydrological studies of this environments due to the fact that it can be very helpful and important to determine the nitrogen concentration of the system, but also to detect areas with high human influence.

**Key words:** Urea, coastal lagoons, quantification.

## INTRODUCCIÓN

Normalmente en los estudios hidrológicos básicos realizados en cuerpos acuáticos se incluyen los resultados provenientes de la cuantificación de tres formas de compuestos nitrogenados inorgánicos: el amonio, los

nitratos y los nitritos. No obstante, y desde hace tiempo, algunos estudios efectuados en zonas oceánicas, costeras y lagos han demostrado que la urea llega a representar una fuente importante de nitrógeno para los productores primarios (McCarthy, 1972 a, b; McCarthy y Whittedge, 1972; McCarthy y Kamykowski, 1972; Gu y Alexander,

1993; Takahashi *et al.*, 1995). Sin embargo, a pesar de la importancia que este compuesto representa, pocos estudios se han efectuado con la finalidad de determinar su concentración y distribución en ambientes acuáticos (Paasche, 1988) y la mayoría se han enfocado a evaluar aspectos relacionados con sus tasas de utilización y regeneración (e.g. Gilbert, 1988). En el caso de las lagunas costeras mexicanas no existen reportes sobre las concentraciones de urea en estos ambientes (De la Lanza y Cáceres, 1994; Castañeda y Contreras, 1995).

La urea puede ingresar al medio acuático por diferentes vías: a) excreción en menor o mayor grado por diversos organismos invertebrados y vertebrados (Lehninger, 1975), aunque la mayoría excretan en forma de amonio la mayor parte de sus desechos y en menor proporción en forma de urea. McCarthy y Kamykowski (1972) y Bidigare (1983) mencionan que algunos organismos zooplanctónicos liberan concentraciones importantes de urea y que, en el caso de las aves, el ácido úrico proveniente de la excreción es altamente inestable al entrar en contacto con el agua marina, lo que provoca su rápida transformación a urea, b) como consecuencia de la degradación de la materia orgánica y la regeneración efectuada por el zooplancton, así como por las bacterias tanto en agua como en sedimentos (Paasche, 1988; Gilbert, 1988), y c) mediante la entrada directa proveniente de las actividades humanas, principalmente ocasionada por desechos industriales, agrícolas o descargas municipales no tratadas (Paasche, 1988).

Con base en las posibles fuentes de entrada de urea a las lagunas costeras es de esperarse que su distribución

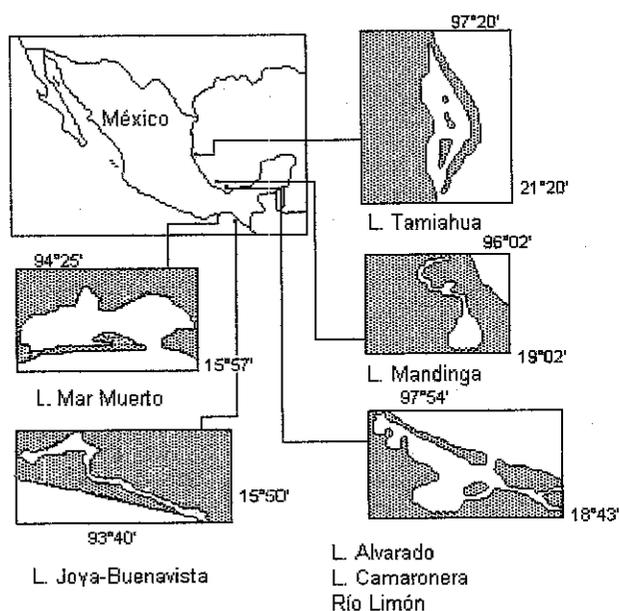


Figura 1. Localización de los diferentes sistemas costeros estudiados.

se presente en forma de parche y con concentraciones moderadas en áreas con baja influencia humana, mientras que se presentará un patrón de pluma y con concentraciones altas en zonas de influencia humana directa.

En virtud de lo anterior, este trabajo tuvo como objetivo abordar por primera vez el estudio de dichos aspectos de la urea en seis lagunas costeras y dos ríos de México localizados tanto en el Golfo de México como en la costa del Pacífico, así como demostrar la importancia que la evaluación de este nutriente tiene dentro de los estudios ecológicos para dichos ambientes y su posible utilización como un indicador de la entrada de aguas de desecho a los sistemas como resultado de las actividades humanas.

## AREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en las lagunas costeras de Tamiahua, Mandinga, Camaronera y Alvarado localizadas en el estado de Veracruz, Mar Muerto y La Joya-Buenavista ubicadas en Oaxaca y Chiapas respectivamente; así como en los ríos Limón y Calzadas asociados con los ríos Blanco y Coatzacoalcos, respectivamente. Se seleccionaron estas lagunas con el fin de contar con información que abarcara diversos ambientes lagunares en función de su importancia pesquera, productiva y por su grado de influencia de actividades agrícolas y domésticas. Aunado a lo anterior se consideraron las condiciones ambientales que caracterizan a estos ambientes costeros, esto es: lagunas oligohalinas, eurihalinas e hipersalinas. Una mayor descripción de cada uno de los ambientes estudiados se encuentra en Contreras (1985) y Contreras y Gutiérrez (1989). En la figura 1 se muestra la ubicación de cada uno de los sistemas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras se colectaron en superficie, excepto en la Laguna de Tamiahua en la que se tomaron en superficie y fondo, a 0.5 y 3.0 m, respectivamente. Las muestras de agua fueron colectadas por medio de una botella Niskin y colocadas sin filtrar (se ha encontrado que algunos filtros presentan concentraciones importantes de urea que pueden interferir en la determinación; Grasshoff, 1976) en botellas de plástico de 250 ml (previamente lavadas con agua destilada), se fijaron con 2 ml de ácido sulfúrico y se congelaron hasta el momento de su análisis. El tiempo transcurrido entre la colecta y el análisis de las muestras no fue mayor a dos semanas. La determinación de urea fue realizada mediante la técnica de Diacetil Monoxima

según Grasshoff (1976). El procedimiento fue el siguiente: a 35 ml de muestra colocada en matraces con tapón de rosca se le agregan 3.8-4.0 g de NaCl, se mezcla hasta disolución y se adiciona 1 ml de la solución de fosfato de sodio (70 g  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  en 60 ml de agua destilada y se disuelven en 1 L de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  Q.P.), se disuelve y se agrega 1 ml de la solución de diacetil monoxima (3.0 g de diacetil monoxima y 35 mg de hidrocloreto de semicarbazida en una solución de etanol al 50% v/v, a la cual se le agregan 50 ml de una solución de 40 g de cloruro de manganeso tetrahidratado y 0.8 g de nitrato de potasio diluidos en 100 ml de agua destilada), se agita y se tapa. Las muestras son colocadas en un baño maría con agitación constante a temperatura controlada de 70 °C por 90 min. Transcurrido este lapso de tiempo las muestras se enfrían a temperatura ambiente sumergiendo los matraces en agua y se mide la absorbancia de la muestra mediante un espectrofotómetro a 520 nm; en este caso se utilizó un Shimadzu UV-100-02. Al mismo tiempo se emplearon tres blancos de agua destilada que fueron procesados de la misma manera que las muestras. Se calibró la técnica empleando una solución

stock (60.1 mg de urea diluidos en 100 ml agua destilada) con una concentración de 20  $\mu\text{g-at}$  de N-Urea/ml. Todos los reactivos son de grado analítico y los análisis fueron efectuados por duplicado.

Paralelamente a la cuantificación de urea y con la finalidad de caracterizar física y químicamente los sistemas estudiados, en cada estación se determinó la temperatura con un termómetro de cubeta, la salinidad mediante un salinómetro de inducción Beckman RS7-C; el oxígeno disuelto por el método de Winkler; los nitratos y nitritos según Strickland y Parsons (1972); el amonio con la técnica de Solórzano (1969), los ortofosfatos de acuerdo a Murphy y Riley (1962); fósforo total según Menzel y Corwin (1965) y la clorofila *a* según SCOR-UNESCO (1980). Todas las muestras para nutrientes fueron filtradas en campo (filtros Whatman #42) y congeladas hasta su procesamiento en el laboratorio, el cual no excedió de dos semanas. En el caso de la determinación de clorofila *a*, se filtraron entre 100 y 250 ml de agua, los filtros fueron envueltos en papel aluminio y congelados hasta su análisis espectrofotométrico según SCOR-UNESCO (1980).

Cabe señalar que en el presente estudio, el término Nitrógeno Total se referirá a la suma de las concentraciones de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y urea, siendo similar al empleado en la literatura (Kristiansen, 1983; Takahashi *et al.*, 1995).

## RESULTADOS

En la mayoría de los ambientes estudiados el  $\text{NH}_4^+$  fue la principal fuente de nitrógeno, seguido por la urea, los nitratos y por último los nitritos. En la Laguna de Tamiahua el amonio contribuyó con un porcentaje promedio del 38% del nitrógeno total (NT). Aunque en general el amonio es el nutriente principal, en ocasiones la urea presentó concentraciones más elevadas que éste, dichas concentraciones fluctuaron entre un 22 y un 64% del NT ( $\text{NT} = \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{Urea}$ ). La mayor concentración de urea se cuantificó cerca de la desembocadura del estero Cucharas y los valores tienden a disminuir conforme se incrementa la distancia entre la entrada de este estero y la laguna (Fig.2). Así mismo, en esta laguna los valores registrados fueron de los más altos comparativamente con las otras zonas estudiadas, ocupando el segundo lugar después de los reportados en el Río Coatzacoalcos.

En la Laguna de Mandinga, el amonio tuvo porcentajes superiores al 60% del NT, llegando inclusive a valores de 90%. La urea ocupó el segundo lugar, con porcentajes que fluctuaron entre el 7 y 22%, seguida por los nitratos y los nitritos. Las mayores concentraciones de urea se detectaron

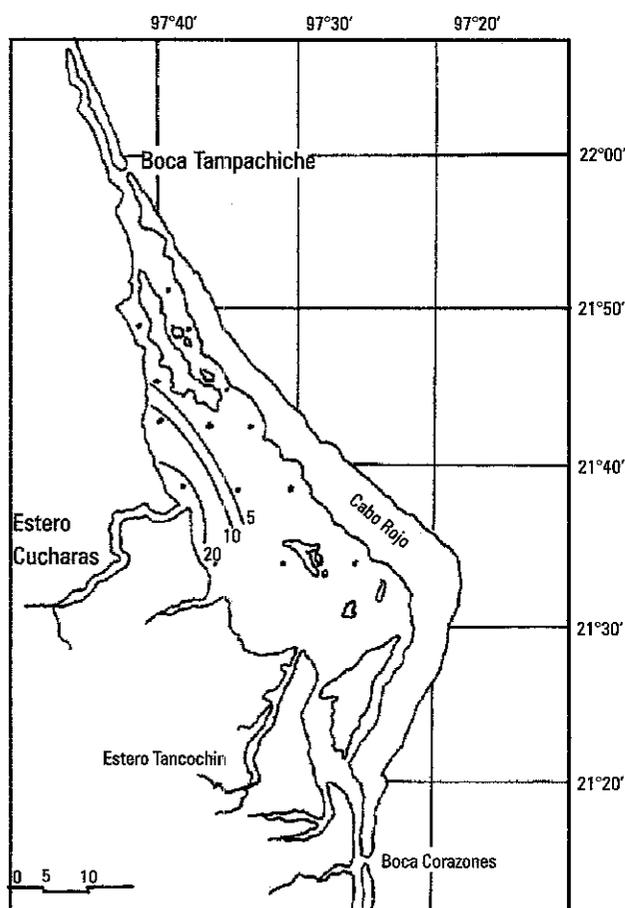


Figura 2. Distribución superficial de las concentraciones de urea en la zona norte de la laguna de Tamiahua, Ver. ( $\mu\text{g-at/l}$ )

en las zonas cercanas a los poblados, punto a partir del cual disminuyen hasta en un 100% en las estaciones alejadas de éstos

En la Laguna Camaronera, el amonio aportó entre el 73 y el 80% del total, mientras la urea contribuyó entre el 8 y el 20% del NT. Las mayores concentraciones de urea se detectaron cerca de los márgenes de la laguna, en donde la presencia de manglares que aportan cantidades considerables de materia orgánica sujeta a descomposición (Gilbert, 1988), pueden ser las principales fuentes de este compuesto. Por último, los nitratos y nitritos tuvieron un porcentaje menor al 10 % del NT.

En el caso de la Laguna de Alvarado, la urea contribuyó entre un 4 y 34% del NT. Se presentaron asimismo, dos zonas con máximos de urea. Una la constituye la desembocadura del río Acula, el cual proviene del área pantanosa que rodea a la laguna, al igual que en el caso de la Laguna Camaronera, el aporte de este compuesto puede deberse a la descomposición de la materia orgánica (Gilbert, 1988) que en este tipo de ambientes se presenta en exceso. La otra región con altas concentraciones es la aledaña al Puerto de Alvarado, en donde las descargas de aguas municipales no tratadas pueden ser la fuente de este compuesto (Fig 3). Al comparar las concentraciones de urea en la Laguna de Alvarado con las de los otros ambientes estudiados, éstas son semejantes a las de los demás sistemas.

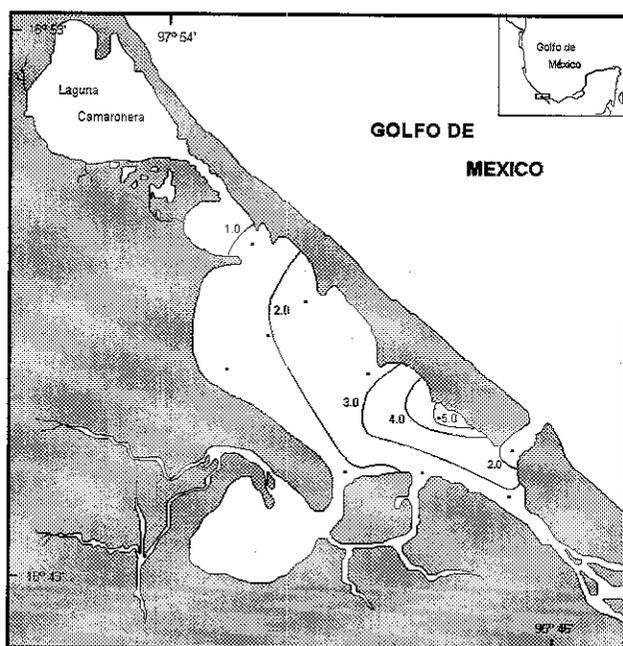


Figura 3. Distribución superficial de la concentración de urea en la Laguna de Alvarado, Ver. ( $\mu\text{g-at N-urea/l}$ )

En el río Limón, que vierte sus aguas directamente a la Laguna de Alvarado, la urea contribuyó del 2 al 80% del NT. De la misma manera que en los otros ambientes estudiados, el amonio constituyó la principal forma de nitrógeno, seguido por la urea; a excepción de enero de 1987 en donde las concentraciones de nitratos se incrementaron hasta presentar niveles de  $30 \mu\text{g-at/l}$  (entre el 11 y 82 % del NT).

En lo que se refiere al Río Calzadas, que se localiza en las inmediaciones del Río Coatzacoalcos, éste resulta ser un sistema interesante en virtud de las elevadas concentraciones de urea, amonio y fosfatos determinadas en sus aguas. Los niveles de urea en esta localidad fluctuaron entre los  $19.0$  y  $52.0 \mu\text{g-at/l}$ , con un promedio de  $21.25 \mu\text{g-at/l}$ , el cual triplica la concentración media registrada en los otros sistemas analizados (Tabla 1). Paasche (1988) menciona que las concentraciones que se han determinado para zonas costeras están en el intervalo de  $0.0-0.3 \mu\text{M}$  ( $0.0-0.6 \mu\text{g-at/l}$ ), mientras que para zonas estuarinas y costeras contaminadas los niveles fluctúan en un intervalo de  $0.1-10 \mu\text{M}$  ( $0.2-20 \mu\text{g-at/l}$ ); por lo tanto, los contenidos registrados en el Río Calzadas son de los más elevados que se presentan en la literatura disponible. Asimismo, el amonio, los nitritos y los nitratos también fueron superiores a los determinados en las otras localidades. (Tabla 1). Es importante recalcar que el Río Calzadas se ubica dentro de la zona industrial más grande del país, encontrándose en las riberas de este río diversos complejos petroquímicos, los que posiblemente son los responsables en buena medida de las altas concentraciones de nutrientes cuantificadas (Toledo *et al.*, 1987).

En la Laguna Mar Muerto, el amonio contribuyó con un 70% del NT, mientras que la urea aportó un promedio del 18% del NT.

En La Joya-Buenavista, el contenido medio de la urea fue ligeramente superior al de la mayoría de las lagunas estudiadas en el Golfo de México, y aún mayor al de la laguna de Mar Muerto (Tabla 1), fluctuando entre los  $0.75$  y  $6.02 \mu\text{g-at/l}$ , con una media de  $3.09 \mu\text{g-at/l}$ , con una tendencia a disminuir con la proximidad al mar, encontrándose una correlación negativa con la salinidad ( $r = -0.82$ ), lo cual indica que los aportes de urea en este sistema provienen de fuentes internas de la laguna (excreción, regeneración o entradas antropogénicas) más que de la zona costera.

## DISCUSIÓN

Uno de los aspectos importantes de la urea es su significado como nutriente, ya que puede representar una

Tabla 1. Valores de los diversos parámetros evaluados paralelamente a las determinaciones de urea ( $\mu\text{g-at/l}$ , excepto %NT y Salinidad).

	Urea	Amonio	NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub>	ΣN	% NT			Urea	Amonio	NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub>	ΣN	% NT			
					Urea	Fosfatos	Salinidad					Urea	Fosfatos	Salinidad	
Tamiahua. Abril 1981								Río Limón. Noviembre, 1986.							
Máximo	20,00	11,44	14,82	29	61	2,06	25,79	Máximo	5,2	18,01	44,65	64	18	6,6	-
Mínimo	1,90	1,06	0,55	8	17	0,82	22,55	Mínimo	0,40	2,45	0,33	9	3	0,80	-
Promedio	7,28	7,26	5,16	18	34	1,40	24,20	Promedio	1,99	10,47	9,97	22	11	2,23	-
Desv. std.	5,17	2,96	5,01	7	16	0,54	0,86	Desv. std.	1,23	3,50	15,42	17	7	1,34	-
n	12	12	10	10	10	12	12	n	21	20	21	20	20	21	-
Mandinga. Febrero, 1984.								Río Limón. Enero, 1987.							
Máximo	2,73	14,11	1,62	18	22	0,72	28,88	Máximo	64,08	6,78	30,92	102	81	19,15	6,80
Mínimo	1,10	6,12	0,50	8	8	0,07	25,43	Mínimo	1,71	1,40	1,21	4	17	5,39	0,26
Promedio	1,67	10,90	0,94	14	13	0,34	26,76	Promedio	8,38	2,22	14,84	25	52	11,48	2,30
Desv. std.	0,75	2,93	0,42	4	7	0,25	1,32	Desv. std.	14,28	1,38	8,87	25	26	4,53	2,40
n	5	5	5	5	5	5	5	n	18	18	18	18	18	18	18
Camaronera. Febrero, 1984.								Río Calzadas, Abril, 1984. 24 horas.							
Máximo	2,52	10,90	5,00	18	20	5,00	26,76	Máximo	90,00	343	46,45	479	11	14,71	10,06
Mínimo	1,47	2,93	0,42	5	8	0,07	1,32	Mínimo	11,00	89	0,49	101	3	4,64	2,18
Promedio	2,08	6,24	1,72	10	15	1,42	14,63	Promedio	23,00	215	26,99	265	7	9,43	6,16
Desv. std.	0,43	3,38	2,20	6	4	2,39	13,34	Desv. std.	22,87	105	17,16	145	4	3,85	3,06
n	6	6	6	6	6	4	4	n	11	11	11	11	11	11	11
Alvarado. Febrero, 1984								Río Calzadas, Abril, 1984.							
Máximo	5,68	23,91	7,62	37	23	0,76	31,29	Máximo	52,20	338	47,21	437	31	88,21	10,01
Mínimo	1,05	7,92	0,76	10	5	0,15	5,62	Mínimo	19,00	100	1,06	120	5	11,97	1,34
Promedio	2,32	13,23	3,44	19	13	0,44	10,96	Promedio	34,43	292	38,01	365	12	37,48	3,25
Desv. std.	1,52	5,67	2,70	10	7	0,28	9,07	Desv. std.	13,07	95	18,14	126	10	32,27	3,34
n	6	6	6	6	6	6	7	n	6	6	6	6	6	6	6
Alvarado. Abril, 1984								Mar Muerto. Enero, 1987.							
Máximo	5,22	22,55	9,19	37	35	25,30	24,05	Máximo	3,19	37,45	1,90	42,5	34	12,48	58,54
Mínimo	1,33	7,26	0,49	9	10	1,33	0,42	Mínimo	1,69	3,52	0,40	5,6	5	1,97	37,26
Promedio	2,79	12,92	2,54	18	17	4,84	11,61	Promedio	2,32	8,48	1,27	12,1	24	4,45	51,13
Desv. std.	1,13	5,20	3,21	10	9	7,27	6,08	Desv. std.	0,47	10,89	0,43	11,8	10	3,26	6,81
n	10	9	10	6	6	10	10	n	9	9	9	6	6	9	9
								La Joya-Buenavista. Enero, 1987.							
Máximo	6,02	10,33	-	16,4	50	11,43	29,03	Máximo	6,02	10,33	-	16,4	50	11,43	29,03
Mínimo	0,75	2,93	-	3,7	18	1,97	9,87	Mínimo	0,75	2,93	-	3,7	18	1,97	9,87
Promedio	3,09	4,97	-	8,1	37	5,35	16,99	Promedio	3,09	4,97	-	8,1	37	5,35	16,99
Desv. std.	1,94	2,73	-	4,7	13	3,43	7,66	Desv. std.	1,94	2,73	-	4,7	13	3,43	7,66
n	6	6	-	6	6	6	6	n	6	6	-	6	6	6	6

fracción considerable dentro del cálculo de nitrógeno total disuelto. Los resultados obtenidos muestran que la urea constituyó, de manera general, el segundo lugar después del amonio. Esto concuerda con los resultados de

Kristiansen (1983) quien trabajó en Oslofjord y determinó que la urea formaba parte importante del nitrógeno disuelto. Por lo anterior, la cuantificación de la urea debería incluirse en los estudios de este tipo de ambientes, ya que representa

también una fuente importante de nutrientes para el fitoplancton.

Diversos investigadores, Dudgale y Goering (1967); Eppley *et al.*, (1971); Mc Carthy (1972 a, b); Mc Carthy y Whitledge (1972); Mc Carthy y Kamykowski (1972); Mitamura y Saijo (1975, 1985); Harvey y Caperon (1976); Horrigan y Mc Carthy (1981) y Kanda *et al.*, (1985), mencionan que son varias las especies de fitoplancton que pueden emplear urea, inclusive como única fuente de nitrógeno, y en su gran mayoría son especies que habitan zonas costeras, estuarinas y de agua dulce. Sin embargo, Remsen (1971) y Mc Carthy (1972b) mencionan que el fitoplancton tiene preferencia por el amonio como fuente de nitrógeno por ser un compuesto más reducido y que en presencia de este nutriente se produce cierta inhibición para la utilización de urea, mientras que los nitratos no son utilizados (Mc Carthy, 1981).

La urea es la segunda forma nitrogenada de importancia en los ambientes acuáticos analizados, detectándose además que su concentración presenta grandes fluctuaciones en cada uno de ellos. Lo anterior es un indicativo de la

distribución de la urea en forma de "parche" que Remsen (1971) y McCarthy y Kamykowski, (1972) establecen. A su vez, McCarthy (1972a) expone la existencia de "parches" de urea con una extensión mayor de la encontrada en este estudio, sobre todo con un gradiente vertical, en donde la concentración de urea varía ampliamente desde la superficie al fondo; es conveniente aclarar, que en las localidades estudiadas la profundidad media no fue mayor a los 2 metros (Contreras, 1985), por lo que, no se presentó una estratificación importante de urea. Como ya se mencionó anteriormente, existe poca información disponible contra la cual comparar los resultados obtenidos, especialmente en el caso de lagunas costeras.

En el caso de la laguna de Tamiahua, en la figura 2 se presenta la distribución de urea frente al estero Cucharas, en la que claramente se detecta el patrón de «pluma» en las muestras de superficie. En las riberas del estero se localizan dos poblados de pescadores que vierten sus aguas directamente sin ningún tratamiento. Más allá de la franja de influencia urbana, el patrón de distribución se torna irregular mostrando una estructura de "parche".

Tabla 2. Factores de correlación entre la urea y los demás parámetros estudiados por localidad.

	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PTotal	Clor a	M.O.	Sal.	O. Dis.	N	
Río Limón (nov-86)	0,01	0,03	0,09	0,3	0,15	—	0,26	—	—	21	
Río Limón (ene-87)	-0,02	-0,26	-0,05	-0,25	-0,29	-0,16	-0,08	0,27	—	18	
Alvarado (feb-84)	0,15	-0,05	—	—	0,02	—	—	0,55	-0,13	17	
							*				
Alvarado (feb-84)	0,36	0,19	-0,06	0,28	-0,05	—	0,11	-0,73	-0,34	10	
							**				
Mandinga (feb-84)	0,38	0,47	—	—	-0,29	—	—	—	0,65	5	
Camaronera (feb-84)	-0,58	0,12	—	—	0,28	—	—	-0,57	-0,4	6	
Coatzacoalcos (abr-84)	0,13	-0,47	-0,85	0,26	-0,31	—	—	—	0,48	0,12	6
			*								
Coatzacoalcos 24 horas (abr-84)	-0,29	-0,24	-0,25	-0,19	-0,16	—	—	—	0,15	-0,22	11
Mar Muerto (feb-87)	-0,06	—	0,67	—	0,17	0,13	—	—	0,62	0,01	9
			*								
La Joya (feb-87)	0,76	—	-0,06	—	0,18	0,13	—	—	0,01	—	6
									-0,82	0,46	
									*		
Tamiahua (abr-81)	0,15	0,19	0,5	0	0,28	—	0,73	—	0,05	—	12
							***		0,04	—	
Total	0,45	0,3***	0,59***	0,07	0,51***	0,11	0,11	-0,18	-0,35***	0,16	121

M. O. = Materia orgánica, Sal. = Salinidad, O. Dis. = Oxígeno Disuelto. N = Número de muestras por localidad;

\* =  $p < 0.05$ ; \*\* =  $p < 0.02$ ; \*\*\* =  $p < 0.01$ ; n.s. = no significativo.

En la tabla 2, se presentan los factores de correlación entre la urea y los demás parámetros físicos y químicos estudiados por localidad. En la laguna de Tamiagua se detectó una correlación positiva con la clorofila *a* (0.73;  $p < 0.01$ ). Probablemente, la concentración de urea tiene un efecto directo sobre el fitoplancton favoreciendo su actividad, lo que se refleja en contenidos altos de clorofila *a*. Correlaciones similares han sido descritas para otros ambientes (Lorenzen, 1967; Mc Carthy y Kamykowski, 1972; Kristiansen, 1983). Por ejemplo, Mc Carthy (1972a), encontró para la costa sur de California, que del total de la productividad primaria fitoplanctónica debida al nitrógeno, la aportación de la urea presentaba un promedio del 28%.

Asimismo, se observan correlaciones significativas con los nitritos (Coatzacoalcos y Mar Muerto), materia orgánica (Alvarado), clorofila *a* (Cucharas) y la salinidad (La Joya). Es importante señalar que algunas de estas correlaciones son positivas y negativas para el mismo parámetro en localidades diferentes (e.g. Coatzacoalcos y Mar Muerto). Lo anterior indica el carácter altamente variable de la urea en este tipo de ambientes, debido a la dinámica propia de éstos (Contreras, 1985), a las diferentes vías de entrada al medio que se pueden presentar, así como a la distribución en "parches" más pequeña de la urea con respecto a los otros nutrientes (Mc Carthy y Kamykowski, 1972), producto de tiempos de residencia diferentes de la urea en el agua como consecuencia de tasas de reciclamiento y utilización distintas.

El valor de correlación aplicado al conjunto de 121 muestras se presenta al final de la tabla 2. De ésta, sobresalen las correlaciones positivas y significativas estadísticamente de la urea con la suma de nitratos más nitritos, con los nitritos y con los fosfatos. Estas correlaciones con los nutrientes pueden indicar que el origen de la urea, así como de los otros nutrientes, es el reciclamiento a partir de la remineralización de la materia orgánica por parte de bacterias y zooplancton, tanto en agua como en sedimentos lagunares. En el caso de la correlación negativa con la salinidad, ésta puede explicarse, como ya se mencionó, a la entrada de este compuesto al medio proveniente de las actividades humanas.

De lo anterior se desprende que, aunque localmente se puedan presentar correlaciones importantes entre la urea y otros parámetros, en general el grado de correlación es bajo. Resultados semejantes son reportados por McCarthy (1972a) quien registró solamente una correlación importante entre la concentración de urea y amonio, y no entre la relación urea-feopigmentos/clorofila, como sugiere Lorenzen (1967).

Asimismo, la urea es útil como indicador de influencias antropogénicas, al respecto, Remsen (1971) McCarthy (1972), y Paasche y Kristiansen (1982) Kristiansen (1983), detectaron las mayores concentraciones de urea en las proximidades de las zonas urbanas a partir de las cuales, se establece un gradiente debido al efecto de la dilución. En este estudio también se determinaron gradientes en varios de los ambientes estudiados, relacionados estrechamente con la cercanía de áreas urbanas e industriales, por tanto la urea presumiblemente proviene de los desechos humanos. Dicho comportamiento podría ser utilizado como un índice para establecer la calidad del agua en los sistemas. La región pantanosa asociada al Río Coatzacoalcos resulta un caso muy claro de la influencia antropogénica sobre la cantidad de urea. En esta área se vierten desechos de plantas industriales y de fabricación de fertilizantes (Toledo *et al.*, 1987) instaladas en sus alrededores que, aunado a las concentraciones existentes de urea y otros nutrientes propias de estos ambientes, provocan que esta zona sea la que mayor cantidad de urea tiene de todos los sistemas estudiados (Tabla 1).

En las estaciones alejadas de zonas urbanas, la urea presentó generalmente una distribución variable con niveles altos en entradas de ríos y esteros, en estos casos la urea puede provenir de fuentes diferentes a la antropogénica (excreción y/o descomposición de materia orgánica).

Otro de los aspectos analizados en el presente trabajo, fue el de determinar la variación en la concentración de urea a lo largo de un ciclo de muestreo de 24 horas, así como la magnitud del aporte de nitrógeno en forma de urea hacia la zona costera (Fig. 4). Este experimento fue llevado a cabo en la zona pantanosa de Coatzacoalcos, conocida como Río Calzadas. Al efectuar un cálculo simple en el que se

Fig. 4. Variación de la concentración de Urea a lo largo de un ciclo de 24 hrs en el Río Calzadas, Ver. (Abril, 1984).

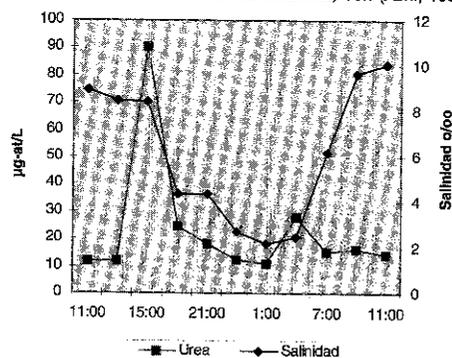


Figura 4. Variación de la concentración de urea a lo largo de un ciclo de 24 horas en el Río Calzadas, Ver. (Abril, 1984).

consideraron: 1) la concentración media de urea, 2) el volúmen de agua desplazado hacia el mar, tomando en cuenta la amplitud de la marea y, 3) la superficie del río; se obtuvo el resultado de que el Río Calzadas exporta a través del Río Coatzacoalcos, 964 mg de N-Urea/m<sup>3</sup>/día, lo que representa una fuente importante de este compuesto para la zona costera adyacente. Contreras y Gutiérrez (1989); De la Lanza y Rodríguez-Medina (1990) y Contreras y Casillas (1992) con base en ciclos individuales de 24 horas han mostrado la importancia de esta exportación de nutrientes a la zona costera aledaña como parte fundamental del funcionamiento de las lagunas costeras en México.

Por último, en la tabla 3, se presenta una comparación de los valores de urea determinados en el presente trabajo y los disponibles en la literatura. Como se puede apreciar, en general los promedios para todos los ambientes se mantienen dentro del mismo intervalo, con la única excepción del Río Calzadas cuyo promedio es el más elevado

de todos los reportados. A pesar de la diversidad de ambientes que se incluyen en la misma (zonas de surgencia, zona costera, lagos, ríos y lagunas costeras) el intervalo de concentraciones es el mismo, lo cual nos indica que a pesar de esta diversidad de fuentes de entrada y como consecuencia de la alta tasa a la que este compuesto es utilizado y/o degradado, las concentraciones difícilmente superarán estos valores bajo condiciones normales.

Es también importante recalcar, que la mayoría de los datos presentados en este trabajo forman parte de muestreos esporádicos en diversos ambientes lagunares y no incluyen, por lo tanto, la posible variación que pueda presentar este compuesto a lo largo de un ciclo anual, aspecto que resta por ser evaluado.

En conclusión, la urea es un compuesto importante que debe ser incluido en la determinación de los parámetros hidrológicos en los ecosistemas estuarino-lagunares. Puede representar una fuente de nitrógeno de gran valor para el

Tabla 3. Comparación de las concentraciones de urea en diversas localidades, así como las encontradas en el presente estudio ( $\mu\text{g-at/l}$ ).

Localidad	Mínimo	Máximo	Promedio	Referencia
Oahu, Hawaii. U.S.A	0,46	2,77	1,42	Harvey y Caperon, 1976
Río Savannah. U.S.A.	—	8,89	3,41	Remsen, <i>et al.</i> , 1972.
Río Ogeechee, U.S.A.	0,56	4,9	2,16	Remsen, <i>et al.</i> , 1972.
Cape Cod U.S.A.	0,25	11,2	—	Carpenter y Remsen, 1972.
California, U.S.A.	0,54	1	—	Remsen, 1971.
La Joya, California. U.S.A.	—	1,28	0,15	Mc Carthy y Kamykowski, 1972.
La Joya, California. U.S.A.	—	0,59	0,23	Mc Carthy y Kamykowski, 1972.
Oslo, Noruega	0,1	10		Kristiansen, 1983.
Bahía Sagami, Japón.	0,85	1,43	1,07	Mitamura y Saijo, 1980.
Bahía Mikawa, Japón.	1,3	5,9	1,49	Mitamura y Saijo, 1980.
Zona costera, Perú.	2,19	51,9	7,31	Remsen, 1971.
Zona Oceánica, Perú.	1,37	23,5	8,86	Remsen, 1971.
Lago Smith, Alaska.	0,5	5,8	—	Gu y Alexander, 1993
Lago Biwa, Japón	2,8	6,72	6	Takahashi <i>et al.</i> , 1995.
Tamiahua, Ver.México.	1,69	20	7,26	Este estudio.
Mandinga, Ver.México.	1,1	2,73	1,67	Este estudio.
Camaronera, Ver. México.	1,47	2,52	2,08	Este estudio.
Alvarado, Ver. México.	1,05	5,68		Este estudio.
Río Limón, Ver. México.	1,71	15,18	4,69	Este estudio.
Río Calzadas, Ver. México.	11	90	27,84	Este estudio.
Mar Muerto, Oax. México.	1,69	3,19	2,31	Este estudio.
La Joya, Chis. México.	1,88	6,02	3,09	Este estudio.

fitoplancton, y en consecuencia para la productividad primaria, se presenta tanto en forma de "parche" o "pluma" en función de sus vías de entrada y utilización. Asimismo, es significativa dentro del proceso de intercambio de materia (exportación e importación) entre las zonas estuarino-lagunares y la zona costera adyacente. Y por último, puede servir como indicador para detectar áreas o ambientes en los que la influencia humana pueda estar afectando de manera importante la calidad del agua.

### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa y parcialmente por el Centro de Ecodesarrollo A.C. Así mismo se agradecen las revisiones hechas al manuscrito por Francisco Contreras y dos revisores anónimos.

### BIBLIOGRAFÍA

- BIDIGARE, R. R., 1983. Nitrogen excretion by marine zooplankton. En: E. J. CARPENTER y D. G. CAPONE. 1983. (Eds.) *Nitrogen in the marine environment*. Academic Press. New York, 900 p.
- CARPENTER, E. J., C. C. REMSEN y S. W. WATSON, 1972. Utilization of urea by some marine phytoplankters. *Limnology and Oceanography* 17: 265-269.
- CASTAÑEDA, L. O. y F. CONTRERAS E., 1995. (Comps.) *Ecosistemas Costeros Mexicanos*. CD-ROM. CONABIO-UAMI. México.
- CONTRERAS, E. F. y J. R. CASILLAS G., 1992. Importancia del intercambio mareal en lagunas costeras. *Universidad y Ciencia. UJAT* 9 (18): 22-27
- CONTRERAS, E. F., 1985. *Las Lagunas Costeras Mexicanas*. Centro de Ecodesarrollo, Secretaria de Pesca. México, D.F. 253 p.
- CONTRERAS, F. y F. GUTIÉRREZ, 1989. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en lagunas costeras. En: V. J. DE LA ROSA y F. F. GONZÁLEZ (Eds.). *Temas de oceanografía biológica en México*. UABC. Cap. 3: 57-78.
- DE LA LANZA, E. G. y C. CÁCERES M., 1994. (Eds.) *Lagunas costeras y el litoral mexicano*, UABC, La Paz, BCS. 535 p.
- DE LA LANZA, E. G. y M. A. RODRÍGUEZ MEDINA, 1990. Caracterización de la laguna de Caimanero, Sinaloa, México, a través de algunas variables geoquímicas. *Ciencias Marinas* 16(3): 27-44.
- DUDGALE, C. R. y J. J. GOERING, 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnology and Oceanography* 12: 196-206.
- EPPLEY, W. R., A. F. CARLUCCI, O. HOLM-HANSEN, D. KIEFER, J. J. McCARTHY, E. VENRICK y P. M. WILLIAMS, 1971. Phytoplankton growth and composition in shipboard cultures supplied with nitrate, ammonium, or urea as the nitrogen source. *Limnology and Oceanography* 16: 741-751.
- GILBERT, P. M., 1988. Primary productivity and pelagic nitrogen cycling. pp 3-31. En T. H. BLACKBURN y J. SORESENSE (Eds.) *Nitrogen cycling in coastal marine environments*. 1988 SCOPE 33. John Wiley and Sons, Great Britain, 451 p.
- Grasshoff, K. 1976. *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie. New York. 317p.
- GU, B. y V. ALEXANDER, 1993. Dissolved nitrogen uptake by a cyanobacterial bloom (*Anabaena flos-aquae*) in a subarctic lake. *Applied Environmental Microbiology* 59(2): 422-430.
- HARVEY, A. W. y J. CAPERON, 1976. The rate of utilization of urea, ammonium, and nitrate by natural populations of marine phytoplankton in an eutrophic environment. *Pacific Science* 30: 329-340.
- HORRIGAN, G. S. y J. J. McCARTHY, 1981. Urea uptake by natural populations of phytoplankton and primary production in the Pacific Ocean: Regional variability of uptake capacity. *Journal of Plankton Research* 3(3):403-414.
- KANDA, J., T. SAINO y A. HATTORI, 1985. Nitrogen uptake by natural populations of phytoplankton and primary production in the Pacific Ocean. Regional variability of uptake capacity. *Limnology and Oceanography* 30(5): 987-999.
- KRISTIANSEN, S., 1983. Urea as a nitrogen source for the phytoplankton in the Oslofjord. *Marine Biology* 74: 17-24.
- LEHNINGER, A., 1975. *Biochemistry*. Worth Publ. N.Y. 1104 p.
- LORENZEN C. J., 1967. Vertical distribution of chlorophyll and phaeopigments: Baja California. *Deep Sea Research* 14: 735-745.
- Mc CARTHY, J. J., 1972 a. The uptake of urea by natural populations of marine phytoplankton. *Limnology and Oceanography* 17(5): 738-748.
- Mc CARTHY, J. J., 1972 b. The uptake of urea by some marine phytoplankton. *Journal of Phycology* 8 (3): 216-222.
- Mc CARTHY, J. J., 1981. Uptake of major nutrients by estuarine plants. pp. 139-163. En: B. Neilson y E. Cronin (Eds). *Estuaries and Nutrients*. Humana Press. New Jersey.
- Mc CARTHY J. J. y D. KAMYKOWSKI, 1972. Urea and other nitrogenous nutrients in La Joya Bay during february, march and april 1970. *Fisheries Bulletin* 70 (4): 1261-1274.
- Mc CARTHY J. J. y T. E. WHITLEDGE, 1972. Nitrogen excretion by anchovy (*Engraulis mordax* and *E. ringens*) and jack mackerel (*Trachurus symmetricus*). *Fisheries Bulletin* 70:395-401.

- MENZEL, D. W. y N. CORWIN, 1965. The measurement of total phosphorus in seawater based on the liberation of organically bound fractions by persulphate oxidation. *Limnology and Oceanography* 10: 280-282.
- MITAMURA O. y Y. SAJO, 1975. Decomposition of urea associated with photosynthesis of phytoplankton in coastal waters. *Marine Biology* 30(1): 67-72.
- MITAMURA O. y Y. SAJO, 1985. *In situ* measurement of urea decomposition rate and its turnover in the Pacific Ocean. *Marine Biology* 58: 147-152.
- MURPHY, J. y J. P. RILEY, 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analitica et Chemica Acta*. 27: 31-36.
- PAASCHE E. y S. KRISTIANSEN, 1982. Nitrogen nutrition of the phytoplankton in the Oslofjord. *Estuarine Coastal Shelf Science* 14: 237-49.
- PAASCHE E., 1988. Pelagic primary production in nearshore waters. pp. 33-57. En BLACKBURN, T. H. y J. SORENSEN (Eds.) *Nitrogen cycling in coastal marine environments*. 1988 SCOPE 33. John Wiley and Sons, Great Britain, 451 p.
- REMSEN, C. C., 1971. The distribution of urea in coastal and oceanic waters. *Limnology and Oceanography* 16: 732-740.
- STRICKLAND, J. y T. R. PARSONS, 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fisheries Research Board of Canada 310 p.
- SOLÓRZANO, L., 1969. Determination of ammonia in natural water by the phenol-hypochlorite method. *Limnology and Oceanography* 14: 799-801.
- SCOR-UNESCO, 1980. *Determination of chlorophyll in seawater*. UNESCO Technical papers in marine science. France. 35 p.
- TAKAHASHI, M., T. HAMA, K. MATSUNAGA y N. HANDA, 1995. Nitrogenous nutrient uptake by phytoplankton and ammonium regeneration by microbial assemblage in Lake Biwa. *Journal of Plankton Research* 17(5): 1027-1037.
- TOLEDO, A., A. V. BOTELLO y M. HERZIG, 1987. *El pantano: una riqueza que se destruye*. CECODES, México, 140 p.

Recibido: 8 de mayo de 1998.

Aceptado: 25 de septiembre de 1998.