

**Centro de Investigación en Alimentación y  
Desarrollo, A.C.**

**Capacidad de carga del estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa**

POR:

CARLOS ROMÁN ZÚÑIGA ZATARÁIN

TESIS APROBADA POR LA:

COORDINACIÓN MAZATLÁN  
EN ACUICULTURA Y MANEJO AMBIENTAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRÍA EN CIENCIAS

MAZATLÁN, SINALOA

DICIEMBRE DEL 2011

## DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD).

La publicación en comunidades científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director de tesis.

---

Dr. Ramón Pacheco Aguilar  
Director General

## APROBACIÓN

Los miembros del comité asignados para revisar la tesis de Carlos Román Zúñiga Zataráin, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias.



Dr. Omar Calvario Martínez

Director de tesis



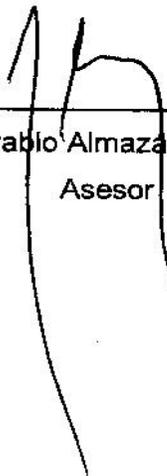
MC. Miguel Ángel Sánchez Rodríguez

Asesor



Dra. Diana Cecilia Escobedo Urías

Asesor



Dr. Pablo Almazán Rueda

Asesor

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a quienes de una u otra manera hicieron posible el logro de esta tesis:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por apoyarme académica y económicamente para poder culminar mis estudios de maestría.

Al Dr. Omar Calvario Martínez, director de tesis, por ser la persona que me guió y me otorgo la oportunidad de obtener este logro y cumplir con la realización de este trabajo. También gracias por sus enseñanzas y el tiempo dedicado durante estos años, pero sobretodo por su profesionalismo para la dirección de esta tesis y por ser una persona de gran admiración.

Al M en C. Miguel Ángel Sánchez Rodríguez, miembro del comité de tesis, por proporcionarme sus conocimientos y enseñanzas, las herramientas para poder culminar mi trabajo, y por el estímulo que todos los días me transmitió para hacer más fácil el camino desde un inicio hasta el final.

A los demás miembros del Comité de Tesis: Dra. Diana Cecilia Escobedo Urías, por su valiosa participación en la revisión del manuscrito final, además de enriquecerlo con los conocimientos que me proporcionó cada reunión de tesis, y al Dr. Pablo Almazán Rueda por apoyarme en todo momento con sus consejos y sugerencias de mis estudios de maestría, con todo lo relacionado con vinculación de posgrado en el CIAD y por supuesto con la revisión del documento escrito.

A mis profesores, quienes supieron darme todas sus enseñanzas y conocimientos que de una u otra manera influyeron para poder terminar mi tesis.

A los técnicos y compañeros del Laboratorio de Química y Productividad Acuática que estuvieron presentes en el momento de realizar los muestreos y análisis químicos ayudándome a obtener resultados que fueron vitales en la redacción de este escrito.

Al Ing. Alberto Duran, por su asesoría en trabajos de computo, y la siempre disposición en la colocación del equipo necesario para la realización de mis exposiciones y videoconferencias. Además por ser una persona con quien compartí muchas experiencias.

A todo el personal del CIAD-Unidad Mazatlán, donde cada persona con su granito de arena contribuyó a sentirme parte de esta gran familia.

Y finalmente, y no por eso menos importante, sino todo lo contrario, a mis compañeros de generación, por su compañerismo y solidaridad a lo largo de nuestros estudios de maestría.

Este trabajo fue realizado en el Laboratorio de Química y Productividad Acuática del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Mazatlán, apoyado con recursos del proyecto 085208 CONAGUA-CONACYT “Dispersión de contaminantes por corrientes costeras y difusión en playas de la bahía de Mazatlán”, cuyo responsable es el Dr. Omar Calvario Martínez.

## DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis está dedicado a las siguientes personas:

Primeramente a mis padres, Francisco Román Zúñiga Vargas y Miroslava Zataráin Jaime, por ser las personas que me dieron la vida, por acompañarme en mis logros y formación de vida y como persona, celebrar mis alegrías, apoyarme siempre en los buenos y malos momentos, por creer en mí y ayudarme a superarme y salir adelante.

A mis hermanos Iris y Cesar, de quienes he recibido su apoyo y consejos que me han ayudado a realizar mis sueños e ilusiones en la vida, y con los cuales he crecido durante todo este tiempo.

A mis abuelos, especialmente a mi abuela Ignacia Jaime, por su apoyo y deseo de verme terminar los estudiar, y con ello a completar mis metas.

A mi familia, novia, amigos y maestros, los cuales siempre me enseñaron a dar el 100% de mi capacidad todo el tiempo y creer en mí, además de nunca dejar de buscar la ilusión de seguir estudiando para superarme y salir adelante en la vida como profesionalista.

# ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	ANTECEDENTES .....	6
III.	HIPÓTESIS .....	11
IV.	OBJETIVOS .....	12
4.1	Objetivo general .....	12
4.2	Objetivos específicos .....	12
V.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
5.1	Área de Estudio .....	13
5.1.1	Características físicas .....	13
5.1.2	Características climáticas e hidrológicas .....	15
5.1.3	Características bióticas .....	16
5.1.4	Fuentes de contaminación antropogénicas .....	17
5.2	Trabajo de Campo .....	18
5.3	Análisis de Laboratorio .....	23
5.4	Modelos Biogeoquímicos .....	23
5.4.1	Balance de agua .....	24
5.4.2	Balance de sal .....	26
5.4.3	Balance de nutrientes .....	28
5.4.4	Estimaciones estequiométricas de MNE y $(N_{fij} - N_{desnit})$ .....	29
5.5	Análisis estadístico .....	32
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	33
6.1	Secas frías (febrero del 2011) .....	33
6.1.1	Variables de campo .....	33
6.1.1.1	Temperatura .....	33
6.1.1.2	Oxígeno disuelto .....	35
6.1.1.3	pH .....	37
6.1.1.4	Salinidad .....	40
6.1.2	Variables químicas .....	41
6.1.3	Cálculo de flujos de agua .....	47
6.1.4	Modelos biogeoquímicos .....	47

6.1.4.1	Balance de agua .....	47
6.1.4.2	Balance de sal.....	48
6.1.4.3	Balance de nutrientes .....	49
6.1.4.4	Estimaciones estequiométricas de MNE y ( $N_{fij} - N_{desnit}$ ) .....	52
6.2	Secas cálidas (junio del 2011).....	53
6.2.1	Variables de campo .....	53
6.2.1.1	Temperatura.....	53
6.2.1.2	Oxígeno disuelto.....	55
6.2.1.3	pH .....	57
6.2.1.4	Salinidad .....	59
6.2.2	Variables químicas.....	61
6.2.3	Cálculo de flujos de agua.....	66
6.2.4	Modelos biogeoquímicos .....	67
6.2.4.1	Balance de agua .....	67
6.2.4.2	Balance de sal.....	69
6.2.4.3	Balance de nutrientes .....	70
6.2.4.4	Estimaciones estequiométricas de MNE y ( $N_{fij} - N_{desnit}$ ) .....	73
6.3	Lluvias (septiembre del 2011) .....	76
6.3.1	Variables de campo .....	76
6.3.1.1	Temperatura.....	76
6.3.1.2	Oxígeno disuelto.....	78
6.3.1.3	pH .....	80
6.3.1.4	Salinidad .....	82
6.3.2	Variables químicas.....	84
6.3.3	Cálculo de flujos de agua.....	89
6.3.4	Modelos biogeoquímicos .....	90
6.3.4.1	Balance de agua .....	90
6.3.4.2	Balance de sal.....	91
6.3.4.3	Balance de nutrientes .....	92
6.3.4.4	Estimaciones estequiométricas de MNE y ( $N_{fij} - N_{desnit}$ ) .....	96
6.4	Anual.....	98
6.4.1	Modelos biogeoquímicos .....	98

6.4.1.1	Balance de agua .....	98
6.4.1.2	Balance de sal.....	99
6.4.1.3	Balance de nutrientes .....	101
6.4.1.4	Estimaciones estequiométricas de MNE y ( $N_{fij} - N_{desnit}$ ) .....	104
6.5	Resultados estadísticos .....	106
6.5.1	Prueba de Holm-Sidak.....	106
6.5.2	Correlación de Pearson .....	115
VII.	CONCLUSIONES .....	118
VIII.	RECOMENDACIONES .....	121
IX.	LITERATURA CITADA.....	122
X.	ANEXOS.....	132

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica del estero de Urías.....	15
<b>Figura 2.</b> Temperatura y precipitación promedio mensuales para el municipio de Mazatlán (1976 - 2010).....	19
<b>Figura 3.</b> Ubicación de estaciones de muestreo en el estero de Urías. ....	19
<b>Figura 4.</b> Método del vertedor triangular con un ángulo (90°).....	23
<b>Figura 5.</b> Diferentes escenarios de un balance de agua en un sistema.....	26
<b>Figura 6.</b> Diferentes escenarios de un balance de sal en un sistema. ....	27
<b>Figura 7.</b> Diferentes escenarios de un balance de nutrientes en un sistema. ....	29
<b>Figura 8.</b> Diferentes escenarios de MNE y ( $N_{fij} - N_{desnit}$ ) en un sistema. ....	31
<b>Figura 9.</b> Temperatura promedio y desviación estándar para la época de secas frías (febrero, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-20 (drenes).....	35
<b>Figura 10.</b> Oxígeno disuelto promedio y desviación estándar en las estaciones para la época de secas frías (febrero, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-20 (drenes). ....	37
<b>Figura 11.</b> pH promedio y desviación estándar para la época de secas frías (febrero, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-20 (drenes). ....	39
<b>Figura 12.</b> Salinidad promedio y desviación estándar para la época de secas frías (febrero, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-20 (drenes).....	41
<b>Figura 13.</b> Variación de NID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo del océano y sistema para la época de secas frías. ....	43
<b>Figura 14.</b> Variación de NID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo de los drenes que desembocan al estero de Urías en la época de secas frías. ....	44
<b>Figura 15.</b> Variación de FID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo del océano y sistema para la época de secas frías. ....	46
<b>Figura 16.</b> Variación de NID promedio en las estaciones de muestreo de los drenes que desembocan al estero de Urías para la época de secas frías. ....	46
<b>Figura 17.</b> Diagrama ilustrativo del balance de agua en el estero de Urías para la época de secas frías.....	48

<b>Figura 18.</b> Diagrama ilustrativo del balance de sal en el estero de Urías para la época de secas frías. ....	49
<b>Figura 19.</b> Diagrama ilustrativo del balance de NID en el estero de Urías para la época de secas frías. ....	50
<b>Figura 20.</b> Diagrama ilustrativo del balance de FID en el estero de Urías para la época de secas frías. ....	51
<b>Figura 21.</b> Temperatura promedio y desviación estándar para la época de secas cálidas (junio, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-26 (drenes).....	54
<b>Figura 22.</b> Oxígeno disuelto promedio y desviación estándar para la época de secas cálidas (junio, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-26 (drenes). ....	57
<b>Figura 23.</b> pH promedio y desviación estándar para la época de secas cálidas (junio, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-26 (drenes). ....	59
<b>Figura 24.</b> Salinidad promedio y desviación estándar para la época de secas cálidas (junio, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-26 (drenes).....	61
<b>Figura 25.</b> Variación de NID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo del océano y sistema para la época de de secas cálidas (junio, 2011).....	63
<b>Figura 26.</b> Variación de NID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo de los drenes que desembocan al estero de Urías para la época de secas cálidas (junio, 2011).....	64
<b>Figura 27.</b> Variación de FID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo del océano y sistema para la época de secas cálidas.....	65
<b>Figura 28.</b> Variación de FID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo de los drenes que desembocan al estero de Urías para la época de secas cálidas. ....	66
<b>Figura 30.</b> Diagrama ilustrativo del balance de sal en el estero de Urías para la época de secas cálidas.....	69
<b>Figura 31.</b> Diagrama ilustrativo del balance de NID en el estero de Urías para la época de secas cálidas.....	71
<b>Figura 32.</b> Diagrama ilustrativo del balance de FID en el estero de Urías para la época de secas cálidas.....	73

<b>Figura 33.</b> Temperatura promedio y desviación estándar para la época de lluvias (septiembre, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-33 (drenes).....	77
<b>Figura 34.</b> Oxígeno disuelto promedio y desviación estándar para la época de lluvias (septiembre, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-33 (drenes).....	80
<b>Figura 35.</b> pH promedio y desviación estándar en las estaciones para la época de lluvias (septiembre, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-33 (drenes).....	82
<b>Figura 36.</b> Salinidad promedio y desviación estándar para la época de lluvias. Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-33 (drenes).....	83
<b>Figura 37.</b> Variación de NID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo del océano y sistema para la época de lluvias. ....	86
<b>Figura 38.</b> Variación de NID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo de los drenes que desembocan al estero de Urías para la época de lluvias.....	86
<b>Figura 39.</b> Variación de FID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo del océano y sistema para la época de lluvias. ....	88
<b>Figura 41.</b> Diagrama ilustrativo del balance de agua en el estero de Urías para la época de lluvias.....	91
<b>Figura 42.</b> Diagrama ilustrativo del balance de sal en el estero de Urías para la época de lluvias.....	92
<b>Figura 43.</b> Diagrama ilustrativo del balance de NID en el estero de Urías para la época de lluvias.....	94
<b>Figura 44.</b> Diagrama ilustrativo del balance de FID en el estero de Urías para la época de lluvias.....	95
<b>Figura 45.</b> Diagrama ilustrativo del balance de agua anual para el sistema del estero de Urías.....	99
<b>Figura 46.</b> Diagrama ilustrativo del balance de sal anual para el estero de Urías.....	100
<b>Figura 47.</b> Diagrama ilustrativo del balance de NID anual para el sistema del estero de Urías.....	102
<b>Figura 48.</b> Diagrama ilustrativo del balance de FID anual para el sistema del estero de Urías.....	103

<b>Figura 49.</b> Temperatura promedio y desviación estándar para las tres época climáticas en el sistema.....	107
<b>Figura 50.</b> Temperatura promedio y desviación estándar para las estaciones de muestreo del sistema. ....	107
<b>Figura 51.</b> pH promedio y desviación estándar para las tres época climáticas en el sistema.....	108
<b>Figura 52.</b> pH promedio y desviación estándar para las estaciones de muestreo del sistema.....	108
<b>Figura 53.</b> Oxígeno disuelto promedio y desviación estándar para las tres época climáticas en el sistema. ....	109
<b>Figura 54.</b> Oxígeno disuelto promedio y desviación estándar para las estaciones de muestreo en el sistema. ....	110
<b>Figura 55.</b> Salinidad promedio y desviación estándar para las tres época climáticas en el sistema.....	111
<b>Figura 56.</b> Salinidad promedio y desviación estándar para las estaciones de muestreo del sistema.....	111
<b>Figura 57.</b> Salinidad promedio y desviación estándar para las tres época climáticas en el sistema.....	112
<b>Figura 58.</b> NID promedio y desviación estándar para las estaciones de muestreo del sistema.....	113
<b>Figura 59.</b> FID promedio y desviación estándar para las tres época climáticas en el sistema.....	114
<b>Figura 60.</b> FID promedio y desviación estándar para las estaciones de muestreo del sistema.....	114

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ubicación geográfica de las estaciones muestreadas en cada una de las épocas, secas frías:(1-20), secas cálidas:(1-26), lluvias:(1-33).....	20
<b>Tabla 2.</b> Datos de flujos de agua para cada dren para la época de secas frías.....	47
<b>Tabla 3.</b> Datos de estimaciones de MNE en el estero de Urías para la época de secas frías.....	52
<b>Tabla 4.</b> Datos de estimaciones del balance ( $N_{fij}-N_{desnit}$ ) en el estero de Urías para la época de secas frías.....	52
<b>Tabla 5.</b> Datos de flujos de agua para cada dren para la época de secas cálidas.....	67
<b>Tabla 6.</b> Estimaciones de MNE en el estero de Urías para la época de secas cálidas. ....	75
<b>Tabla 7.</b> Estimaciones del balance ( $N_{fij}-N_{desnit}$ ) en el estero de Urías para la época de secas cálidas.....	75
<b>Tabla 8.</b> Datos de flujos de agua para cada dren en la época de lluvias. ....	89
<b>Tabla 9.</b> Datos de estimaciones de MNE en el estero de Urías en la época de lluvias. ....	97
<b>Tabla 10.</b> Datos de estimaciones del balance ( $N_{fij}-N_{desnit}$ ) en el estero de Urías en la época de lluvias.....	97
<b>Tabla 11.</b> Datos de estimaciones anuales de MNE en el estero de Urías. ....	105
<b>Tabla 12.</b> Datos de estimaciones del balance ( $N_{fij}-N_{desnit}$ ) anuales en el estero de Urías.....	105
<b>Tabla 13.</b> Resultados del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables analizadas para la época de secas frías. ....	115
<b>Tabla 14.</b> Resultados del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables analizadas para la época de secas cálidas.....	116
<b>Tabla 15.</b> Resultados del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables analizadas para la época de lluvias.....	117
<b>Tabla 16.</b> Resultados anuales del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables analizadas.....	117

## RESUMEN

El estero de Urías, situado en el municipio de Mazatlán, Sinaloa es un cuerpo de agua impactado ambientalmente debido al crecimiento urbano desarrollado en los últimos años, el cual presenta un incremento en el aporte de nutrientes, constituyendo un sistema de interés para el estudio de su capacidad de carga. Se realizaron tres muestreos en diferentes épocas climáticas a lo largo del estero de Urías (febrero como secas frías, junio como secas cálidas y septiembre representativo de lluvias para el 2011), adicionalmente se colectaron muestra oceánicas, así como de los principales drenes que recibe el estero (arroyos, canales, industrias, UPA). Se empleó el uso de modelos de balances biogeoquímicos LOICZ basados en las recomendaciones de Gordon *et al.* (1996), los cuales consistieron en la elaboración de un balance de agua, balance salino y de nutrientes, así como de estimar el metabolismo neto del ecosistema y el balance ( $N_{fij} - N_{desnit}$ ) para cada una de las épocas, además del estudio anual (conjuntando de las tres épocas) del sistema. Durante la época de secas frías el estero de Urías actuó como fuente de NID y FID, exportando 1.6 y 0.14 ton d<sup>-1</sup> respectivamente hacia el océano. Para secas cálidas, el sistema a su vez actuó como reservorio de NID y FID en una cantidad de 2.9 ton d<sup>-1</sup> y 1 ton d<sup>-1</sup> respectivamente, siendo estos nutrientes limitantes en la producción primaria. En tanto en la época de lluvias el sistema del estero de Urías se comportó como fuente de NID y FID exportando al océano 7.2 y 1 ton d<sup>-1</sup> respectivamente. En el caso del estudio anual, el sistema actúa como fuente de NID y FID, exportando 4480 y 602 ton anuales respectivamente hacia el océano. El comportamiento anual del estero de Urías es meramente autotrófico neto, aún sin probabilidades a eutrofizarse debido a que los valores de producción primaria exceden a los de respiración, así como al tiempo de recambio de agua anual estimado en 5.9 días. Estos resultados sugieren la hipótesis de que el sistema todavía no alcanza su capacidad de carga, sin embargo, el sistema pudiese alcanzar niveles de eutrofización, en caso de seguir aumentando las cantidades y concentraciones de nutrientes proveniente de los alrededores del sistema.

# I. INTRODUCCIÓN

La zona costera es un área cubierta de agua permanentemente y sujeta a condiciones cambiantes por el flujo de mareas y los escurrimientos terrestres. En esta franja se encuentra la región litoral marina, delimitada por el borde externo de la plataforma continental, en la que se sitúan los estuarios como cuerpos de agua que resultan de la mezcla de las aguas dulces con las marinas y las lagunas costeras como cuerpos de agua semicerrados protegidos del mar por una barrera natural o artificial, cuyas aguas pueden o no tener un régimen halino altamente variable (Páez *et al.*, 2007).

La calidad de las aguas costeras en muchas regiones del mundo se ha deteriorado en los últimos años, esto debido al incremento de la población y las actividades humanas desarrolladas en las regiones costeras (NRC, 2000). Los aportes de materia orgánica y nutrientes como el fósforo y nitrógeno hacia estos sistemas han aumentado debido a los aportes industriales, comerciales ó drenes domésticos, así como a los originados de la actividad acuícola (Páez *et al.*, 2007).

En los últimos treinta años, los aportes antropogénicos de nutrientes a las zonas costeras se han triplicado de manera exponencial (Smith *et al.*, 2003). En paralelo, los eventos de eutrofización, así como la hipoxia / anoxia han ocurrido con frecuencia en muchos ecosistemas acuáticos costeros y mares adyacentes (EEA, 2001), esto trae como consecuencia que el estado trófico se vea afectado no sólo por el aumento de la producción primaria y el enriquecimiento de la materia orgánica, sino también por la morfología, hidrodinámica y múltiples factores estresantes (Nixon *et al.*, 1995; Cloern, 2001).

Las interacciones que se dan entre sistemas marinos, de aguas dulces y terrestres hacen que la zona costera sea un área de gran variabilidad, complejidad y alta productividad. Por tal razón diversos estudios realizados en todo el mundo han puesto en manifiesto que los ambientes costeros juegan un papel importante en el reciclaje de nutrientes y descomposición de materia orgánica. En dichos estudios, los balances y flujos de nutrientes en los sistemas costeros engloban un acoplamiento funcional de los ecosistemas y aguas costeras, en donde se involucran entradas de energía físicas, flujos de nutrientes disueltos y materia orgánica, flujos netos de material orgánico particulado y de sedimento suspendido (Nixon, 1981).

Existen diversos métodos para el estudio de flujos de nutrientes y metabolismo neto del ecosistema (MNE) en cuerpos costeros, siendo el empleo de modelos biogeoquímicos una herramienta de gran utilidad que permite generar conclusiones sobre su comportamiento trófico.

Los balances biogeoquímicos en ecosistemas costeros permiten evaluar las cargas, los flujos y el destino de los nutrientes, así como el metabolismo neto del ecosistema (Smith y Atkinson, 1994; Kemp *et al.*, 1997). En general, el MNE resulta de la diferencia entre la producción primaria y respiración en un sistema. Los ecosistemas acuáticos, que consumen la materia orgánica derivada de fuentes exógenas, pueden consumir el oxígeno en exceso de la producción *in situ* y por lo tanto se vuelven ambientes heterotróficos (Duarte y Cebrian, 1996).

Las estimaciones de los flujos de nutrientes y MNE mediante modelos biogeoquímicos, representan una medida cuantitativa y son útiles para establecer comparaciones entre distintos ecosistemas costeros, así como para predecir efectos ambientales que puedan afectar la estructura y funcionalidad de estos en un futuro (Eyre y Mckee, 2002; Tappin, 2002).

Dentro de los modelos biogeoquímicos, una alternativa viable es el uso de modelos biogeoquímicos descritos en el proyecto denominado Interacción Tierra-Océano de la Zona Costera (LOICZ), el cual fue llevado a cabo durante una reunión de investigadores y científicos expertos en el tema en el año de 1993, y los cuales permite generar conclusiones sobre el comportamiento trófico de cada ecosistema.

En la construcción de balances biogeoquímicos se emplea el uso de modelos de caja o de balance de masa (Valenzuela *et al.*, 2007) descritos en el proyecto LOICZ, cuyo objetivo principal es describir y comprender los cambios que ocurren en un sistema costero y la forma en que la actividad humana contribuye a estos cambios (Talaue *et al.*, 2003).

El modelo biogeoquímico LOICZ se basa en el balance de masas de agua y materiales (Gordon *et al.*, 1996; Smith *et al.*, 2005). Este modelo supone que el agua y la sal no sufren transformaciones biogeoquímicas importantes en el sistema, mientras que los nutrientes se comportan como componentes no-conservativos debido a su procesamiento biogeoquímico dentro del sistema. Por lo tanto, las entradas y salidas de agua en los balances de sal y agua se utilizan para estimar el intercambio de agua entre el sistema y el océano. El balance de masa de nutrientes esenciales no-conservativos como el fósforo inorgánico disuelto (FID) y nitrógeno inorgánico disuelto (NID) permiten estimaciones de las tasas de las transformaciones biológicas y procesos de los ecosistemas.

En general, el modelo LOICZ abarca un modelo simple y eficiente para estimar el MNE y las funciones biogeoquímicas de los sistemas acuáticos costeros (Gordon *et al.*, 1996). Para conocer la situación actual de los flujos de nutrientes y MNE en los diversos cuerpos de agua costeros, es importante tomar en cuenta las descripciones físicas, biológicas y socio-económicas, así como la escala espacio-temporal que mejor caracterice y se adecue al sistema de estudio.

Esta situación puede verse modificada en los estuarios en todo el mundo, y en donde se encuentran los mexicanos, los cuales presentan una gran variedad de rasgos morfológicos, aportes fluviales, diferente tipo y amplitud de marea, profundidad, vegetación, entre otros factores que influyen en diverso grado y proporción en el intercambio y balance de materiales (De la Lanza y Hernández, 1990).

Una de las principales preocupaciones en los sistemas costeros es la de conocer su capacidad de carga, la cual indica la cantidad de nutrientes que puede soportar un sistema sin alterar el equilibrio ecológico del ecosistema, con el objetivo de contribuir a una mejor gestión de los recursos costeros presentes. La capacidad de carga a su vez puede ser estudiada por medio de lo mencionado en LOICZ.

Existen estudios a nivel internacional sobre balances de nutrientes y procesos biogeoquímicos para un gran número de estuarios y bahías templadas, por ejemplo, los desarrollados por Smith *et al.* (1991); Nienhuis (1992); Kimmerer *et al.* (1993) y Nixon *et al.* (1995), así como a nivel nacional, donde destacan los desarrollados por Lechuga *et al.* (2003). Sin embargo, existe poca información acerca de balances de nutrientes y procesos en ecosistemas costeros tropicales que tengan como finalidad profundizar en un mejor manejo de los sistemas costeros.

El estero de Urías, situado en el municipio de Mazatlán, Sinaloa es cuerpo de agua impactado ambientalmente debido al crecimiento urbano desarrollado en los últimos años, el cual presenta un incremento en el aporte de nutrientes, constituye un sistema de interés para el estudio de su capacidad de carga mediante el uso de modelos biogeoquímicos descritos en LOICZ, esto debido a su importancia biológica y turística que tiene para la ciudad.

Por tal motivo, el presente estudio pretende establecer la capacidad de carga en el estero de Urías mediante el desarrollo de modelos biogeoquímicos que proporcionen estimaciones de la función del estero de Urías como fuente y / o reservorios de nutrientes

(nitrógeno y fósforo), con la finalidad de contribuir a una mejor gestión de los recursos costeros, y de esta manera definir estrategias para un uso sustentable del sistema del estero de Urías.

## II. ANTECEDENTES

La investigación acerca de los efectos de nutrientes en aguas costeras se inició con los estudios realizados por el Comité de Eutrofización dentro del convenio con la Academia Nacional de Ciencias. Esta organización se constituyó a partir de la preocupación por los efectos de eutrofización en lagos, arroyos y esteros, dando lugar a un simposio de referencia sobre el tema en 1967 (NAS, 1969).

Durante ese periodo, se realizaron dos trabajos que constituyeron un punto de referencia para desarrollar más estudios sobre nutrientes en aguas costeras. Carpenter *et al.* (1969) describió la distribución espacial y temporal del nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y nitrito ( $\text{NO}_2$ ) en la Bahía de Chesapeake, encontrando que en invierno las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) por escorrentías alcanzaban valores por encima de  $100 \mu\text{M}$  en la boca,  $30 \mu\text{M}$  en la bahía media, mientras que en verano los valores para la bahía media eran de menos de  $1 \mu\text{M}$ . A pesar de contar con esta información, el trabajo no presenta ninguna conclusión sobre el proceso de eutrofización, pero se sugirió que posiblemente el estuario se encontraba impactado por la concentración de nutrientes presentes en dicho sistema.

Dentro del trabajo realizado por Ketchum (1969), dicho autor concluyó que la eutrofización, en moderación, puede aumentar la productividad en los estuarios. Sin embargo, también especuló que en exceso, formas superiores de vida pueden verse afectadas negativamente debido a la anoxia, siendo eliminadas por completo las especies deseables.

A partir de los trabajos desarrollados por Carpenter y Ketchum, el interés de la comunidad científica se ha centrado en el estudio de la dinámica de los elementos biogeoquímicos importantes en la zona costera a escalas local, regional y mundial, y con

ello se dio lugar a la creación de modelos biogeoquímicos que proporcionen estimaciones de la función de zonas costeras como fuentes o reservorios de nutrientes.

El establecimiento de un balance de masas de nutrientes en un cuerpo de agua es esencial para entender los procesos biogeoquímicos y aquellos que tienen que ver con la calidad de agua y la evaluación de las cargas de nutrientes.

Entre los estudios a nivel mundial sobre nutrientes relacionados con su intercambio y flujo, destacan el desarrollado por Hung y Hung (2003), donde se estudió la dinámica de los nutrientes en la Bahía de Tapong, Taiwán. En este estudio se señala que el sistema tiene un comportamiento autotrófico debido a que existe un dominio de la producción primaria y fijación de nitrógeno sobre la respiración y desnitrificación de nitrógeno respectivamente, concluyendo que el sistema puede ser propenso a una eutrofización si aumentan tanto el tiempo de residencia de agua como la entrada de nutrientes.

Por otra parte Wattayakorn *et al.* (2001) desarrollaron modelos biogeoquímicos para la Bahía Bandon, Tailandia para los periodos de lluvias y secas de 1997 y 1998. Observaron que los flujos de exportación de nutrientes hacia el Golfo de Tailandia fueron mayores durante el periodo lluvias que en el periodo de secas, además que el comportamiento del sistema fue diferente para los dos años, siendo autotrófico en 1997 y heterotrófico en 1998, sugiriendo que las diferencias en el balance de nutrientes pudo ser atribuida a diversos factores, como las diferencias en los tiempos de residencia de agua y el enriquecimiento de nutrientes por aportes antropogénicos.

Otro estudio es el desarrollado por Lei *et al.* (2008) sobre balance de nutrientes en el estuario Changjiang, China, donde menciona que los procesos llevados a cabo como la desnitrificación del agua y la fijación de nitrógeno son de gran importancia para conocer el comportamiento de los nutrientes en dicho estuario.

Sylaios y Tsihrintzis (2009) realizaron un estudio sobre modelos de balances biogeoquímicos para estudiar la dinámica y transporte de materiales conservativos (sal y agua) y no conservativos (nutrientes) en los golfos de Strymonikos y Lerissos, Grecia estableciendo como conclusión que las aguas más cercanas al litoral marino sufren una mayor transformaciones biogeoquímica que las que se encuentran más alejadas.

En México, hasta la década de los 90's se realizaron diversos estudios sobre el intercambio y balance de nutrientes en cuerpos de agua; como el efectuado por De la Lanza y Rodríguez (1993) en la Laguna de Huizache - Caimanero, Sinaloa, el cual permitió señalar que el clima condiciona un alto intercambio de nutrientes en este sistema costero.

Tomando de referencia los trabajos como el realizado por De la Lanza y Rodríguez, y que a partir del acuerdo al que llegó el consejo internacional de científicos donde se dió el inicio del proyecto LOICZ en el año 1996, en México se han realizado diversos estudios sobre balances y flujos de nutrientes en diversos cuerpos de agua utilizando modelos tipo LOICZ.

Camacho *et al.* (1997) en el estudio sobre flujos de nutrientes en el estero de Punta Banda, Baja California, observó que este cuerpo de agua actúa como fuente neta de fósforo y como fuente de nitrógeno, concluyendo que es un sistema heterotrófico.

En otro estudio Camacho *et al.* (1997) para la Bahía de San Quintín, Baja California, en cuanto a los flujos no conservativos de fósforo y nitrógeno concluyó que la Bahía es una fuente neta de fósforo y nitrógeno, mientras que en su comportamiento el sistema se considera heterotrófico en base en los cálculos estequiométricos de MNE y balance de nitrógeno fijado y nitrógeno desnitrificado ( $N_{fij} - N_{desnit}$ ).

A nivel estatal, se han desarrollado diversos trabajos sobre balances biogeoquímicos basados en LOICZ, como el efectuado por Flores *et al.* (2000), en el cual realizaron un estudio de balances de nutrientes en el sistema lagunar Teacapan- Agua

Brava-Marismas Nacionales en Sinaloa y Nayarit concluyendo que el sistema es reservorio de nutrientes (fósforo y nitrógeno), además de presentar un comportamiento neto heterotrófico, y que ese comportamiento heterotrófico se debía a las grandes posibilidades de eutrofizarse debido a las descargas con altos contenidos de nutrientes ocasionadas por la agricultura, principalmente de la caña de azúcar.

Con el mismo objetivo Flores y De la Lanza (1997) desarrollaron balances de nutrientes en Bahía de Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa concluyendo que el sistema es una fuente interna de fósforo pero reservorio de nitrógeno, además de tener un comportamiento neto heterotrófico.

Lechuga *et al.* (2003) realizaron trabajos en diversos ecosistemas costeros en el estado de Sinaloa mediante el uso de balances biogeoquímicos que representaran el funcionamiento de estos sistemas.

Dentro de estos trabajos, se encuentra el estudio realizado en la laguna Huizache - Caimanero, El Rosario, para las épocas de lluvias y estiaje, concluyendo que para la época de estiaje, el sistema presenta un comportamiento autotrófico con niveles adecuados de producción primaria y fijación de nitrógeno, Caso contrario se presenta en la época de lluvias, donde el sistema mantiene una desnitrificación clara, predominando el consumo metabólico de oxígeno e indicando que la heterotrofia presentada, lleva al sistema a un estado eutrófico durante esta época.

Al igual que el estudio anterior, los mismos autores estudiaron la Bahía San Ignacio - Navachiste, localizada en los límites de Guasave y Ahome, concluyendo sobre el comportamiento de las bahías San Ignacio, Navachiste y Macapule en épocas de estiaje y de lluvias. En dicho estudio se observó que para la Bahía de San Ignacio, durante la temporada de estiaje y de lluvias, se tiende hacia un dominio de los procesos heterotróficos, siendo los excesos de nitrógeno y fósforo (por actividades antropogénicas) los causantes de provocar una eutrofización de las áreas de menor energía al interior. En

cambio para la Bahía de Navachiste, existe un equilibrio entre la producción primaria y respiración. Sin embargo, la baja energía del sistema, evaluada por las altas tasas de recambio de agua, puede provocar una continua sedimentación de los aportes de N y F, llevando a la bahía a una eutrofización. Por último se concluyó que la bahía de Macapule en ambas épocas mantiene un ambiente autotrófico, existiendo una acumulación de materia orgánica al interior que es continuamente oxidada, favorecido por las bajas tasas de recambio.

De la misma forma Lechuga *et al.* (2003) estudiaron el comportamiento anual del sistema lagunar estero de Urías en cuanto al flujo e intercambio de nutrientes, concluyendo que el sistema presenta un comportamiento netamente autotrófico, con una buena tasa de recambio, pero sujeto a probables tendencias eutróficas debido a la elevada producción primaria y a las importantes fuentes de N y F del interior no asociadas a la actividad camaronícola.

Por otra parte, se han realizado algunos estudios sobre capacidad de carga; como el desarrollado por Calvario *et al.* (2006) en el cual estudiaron la capacidad de carga de los sistemas lagunares de Navachiste y Altata-Pabellones en Sinaloa concluyendo que los dos sistemas se encuentran en su límite de capacidad ambiental. La Bahía de Navachiste por presentar alternancia entre autotrofia y heterotrofia, mientras que en Altata-Pabellones por presentar elevadas tasas de producción primaria que pueden ser precursoras a una heterotrofia.

En otro trabajo con el mismo objetivo, Calvario *et al.* (2009) realizaron un estudio sobre capacidad de carga del sistema estuarino de Boca de Camichin, concluyendo que se encuentra muy cercano a su capacidad de carga, esto debido a que es un sistema netamente heterotrófico, donde se mantienen condiciones de elevada productividad provocada por la hidrodinámica del sistema, la cual se encuentra influenciada por la penetración de agua de mar y la del río San Pedro.

### **III. HIPÓTESIS**

El sistema estero de Urías todavía no ha alcanzado su capacidad de carga, la cual se encuentra influenciada por factores físicos, químicos y biológicos.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Evaluar la capacidad de carga del estero de Urías mediante la construcción de modelos de balances biogeoquímicos de nitrógeno y fósforo, y determinar cómo afectan estos nutrientes al funcionamiento del sistema.

### **4.2 Objetivos específicos**

- 4.2.1 Determinar la dinámica de los parámetros físicos, químicos y biológicos en el estero de Urías durante tres épocas climáticas.
- 4.2.2 Desarrollar modelos de balance de agua y sal para el sistema del estero de Urías durante tres épocas climáticas y anual.
- 4.2.3 Estimar los aportes de nitrógeno y fósforo disueltos inorgánicos que interactúan con el estero de Urías durante tres épocas climáticas y anual.
- 4.2.4 Estimar el metabolismo neto del ecosistema y balance  $(N_{fij}-N_{desnit})$  del estero de Urías durante tres épocas climáticas y anual.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Área de Estudio

#### 5.1.1 Características físicas

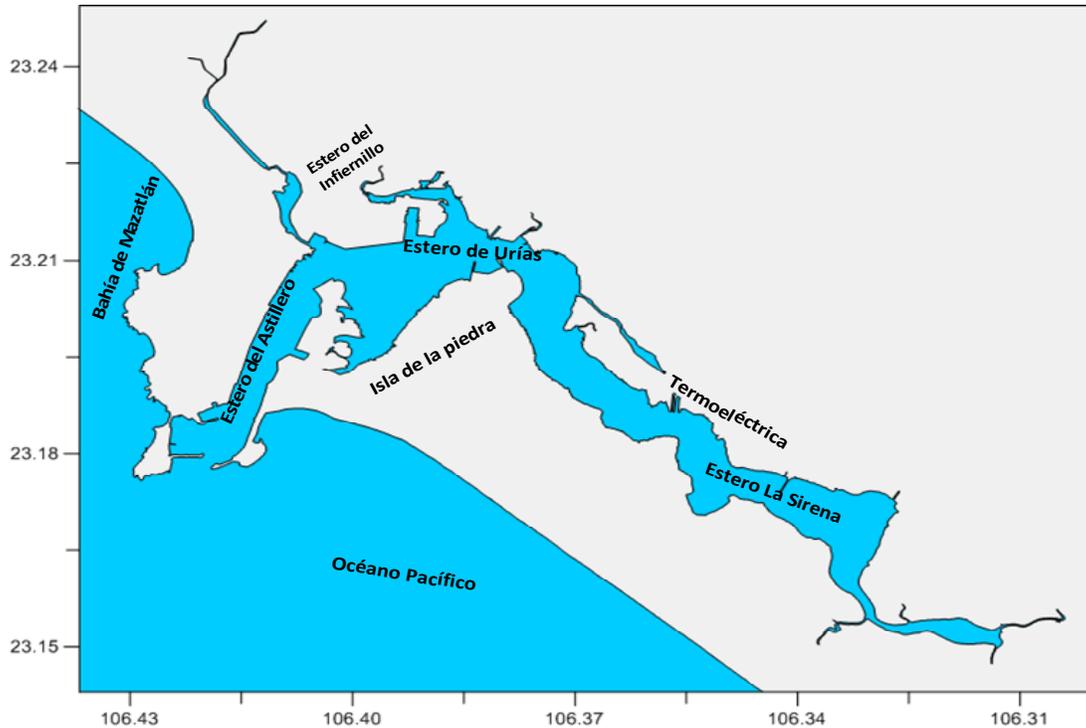
El estero de Urías, considerado uno de los tres esteros más importantes en Sinaloa, se encuentra localizado en el municipio de Mazatlán. Debe su nombre a una población situada en el noroeste de la ciudad (Álvarez y Ramírez, 1977). Se localiza entre los 23° 09' 00" a 23° 13' 00" N y 106° 19' 00" a 106° 25' 00" W. Se encuentra limitada al noroeste por el puerto de Mazatlán y el poblado de Urías, al sur por el ejido de la Isla de la Piedra y granjas camaronícolas y al oeste, su boca con 150 m de ancho y una profundidad de 18 m que se abre al Océano Pacífico y el Golfo de California (Montaño y Páez, 1990). El estero de Urías es el sistema más urbanizado de Sinaloa y uno de los más impactados (Páez *et al.*, 2007).

El estero de Urías es considerado como una laguna costera de tipo III-B de acuerdo a la clasificación de Lankford (1977), debido a que presenta una boca permanente y orientación semiparalela a la línea de costa. Está influenciado por tres corrientes de aguas diferentes, la corriente nor-ecuatorial que predomina durante el verano y otoño, conduciendo agua de 26 a 30 °C con una salinidad intermedia (entre 34.6 y 34.8 UPS). Durante la primavera e invierno el flujo saliente de la corriente del Golfo de California aporta agua de 15 a 20 °C con salinidades menores a 34.6 UPS (Roden, 1964; Álvarez y Schwartzlose, 1979).

El estero de Urías cuenta con aproximadamente 18 km<sup>2</sup> de superficie lagunar y su espejo de agua se calcula en 12.8 km<sup>2</sup> (Ramírez, 1998). Tiene un perímetro litoral de 23

km y una anchura que fluctúa entre 0.1 y 1.13 km (Álvarez y Ramírez, 1977). Puede considerarse un complejo lagunar y está formado por una serie de esteros conocidos localmente como estero del Astillero, estero de Urías y estero la Sirena (Fig. 1). El estero del Astillero es la zona que comprende desde la boca hasta el Parque Industrial Alfredo V. Bonfil. La boca actual del sistema es un área ganada de mar en 1945 que consiste en una serie de rompeolas que unen las Islas del Crestón, Azada y Monte Vigía al oriente y las Islas de la Piedra y Chivos al occidente. Por otra parte el arroyo Jabalíes que cruza parte de la ciudad de Mazatlán, se conecta con un área rodeada de manglares conocida como el estero del Infiernillo, y éste a su vez se comunica con el Estero del Astillero bajo el puente Juárez.

La batimetría del estero de Urías define dos áreas principales, el canal de navegación que se extiende sobre un eje que parte de la sección transversal comprendida entre los dos rompeolas de protección portuaria, hasta los muelles que se ubican en la parte intermedia del Parque Bonfil con profundidades mayores a 13 m (Montaño *et al.*, 2008). La otra parte, comprende una dársena relativamente pequeña y de escasa profundidad, conocida como antepuerto, que usualmente se encuentra ocupada por embarcaciones pequeñas y cuya profundidad máxima es de 5 m (Montaño y Páez, 1990), siendo la boca, donde se encuentra el máximo de profundidad.



**Figura 1.** Ubicación geográfica del estero de Urías.

### 5.1.2 Características climáticas e hidrológicas

El clima de la región de acuerdo a la clasificación modificada de Köopen (García, 1973) es cálido subhúmedo con lluvias en verano (de julio a octubre), siendo el más seco de los subhúmedos (Contreras, 1985). Estas lluvias pueden fluctuar entre 800 y 1500 mm (Villalba, 1986; Ruiz y Berlanga, 1999). La evaporación es más intensa entre noviembre y junio; llegan a registrarse hasta 1,914 mm por año (Villalba, 1986). La temperatura promedio mensual oscila entre los 24 y 34 °C en el área de transición climática determinada por el trópico de Cáncer. Los vientos predominantes provienen del NW y únicamente de junio a septiembre soplan vientos del SW (Contreras, 1985). El estero de Urías se comporta como un estuario durante la época de mayor precipitación pluvial (agosto-octubre); el agua dulce de las lluvias llega por escurrimiento y produce un

descenso en la salinidad del agua que es más marcado hacia la cabecera del sistema. García (1999) observó este comportamiento y registró salinidades tan bajas como de 7 UPS en esta área. De acuerdo a los criterios de Pitchard (1967) y Brusca (1980) se puede considerar al estero de Urías como un sistema antiestuario, ya que en la época de estiaje (enero- junio) la evaporación excede la entrada de agua y por lo tanto, la temperatura y la salinidad se incrementa desde la boca que comunica con el océano hacia las regiones más internas del estero, mientras que de agosto a diciembre se le considera un sistema estuarino. Durante la época de secas, Villalba (1986) observó este gradiente positivo desde la boca hacia el interior del sistema que llegó a incrementarse hasta 40 UPS.

La marea en el sistema es de tipo mixta y semidiurna, donde la velocidad de corriente de marea varía desde -10 cm/seg durante el reflujo hasta 22 cm/seg durante el flujo (Villalba, 1986).

### 5.1.3 Características bióticas

El estero de Urías cuenta con un abundante bosque de manglar en los márgenes del cuerpo de agua, principalmente hacia la cabeza lagunar. Este bosque está compuesto principalmente de mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle rojo (*Rhizophora mangle*). El sistema se caracteriza por tener una gran biodiversidad, observándose la presencia de aves acuáticas migratorias y residentes, peces como lisas (*Mugil curema* y *Mugil cephalus*), mojarra (familia Gerridae) y pargos (familia *Lutjanidae*), bivalvos como; ostiones de la especie *Littoraria avarnas*, mejillones de la especie *Mytella strigata* y caracoles de la especie *Crassostrea corteziensis*, (Álvarez, 1980).

#### 5.1.4 Fuentes de contaminación antropogénicas

El estero de Urías se encuentra muy influenciado por las aguas residuales de la ciudad de Mazatlán. El sistema lagunar incluye el área portuaria, que cubre la parte baja donde se localiza el mayor movimiento de embarcaciones y la zona intermedia y cabeza lagunar, las cuales se encuentran rodeadas de manglares (Páez *et al.*, 2007). La porción intermedia recibe escurrimientos de las aguas sobrecalentadas de la termoeléctrica y de la industria alimentaria que opera en el Parque Industrial Bonfil. La cabeza lagunar recibe los efluentes de las estanquerías de cultivo de camarón de las granjas, cuya superficie de estas granjas es superior a las 400 ha; sin embargo, solamente operan regularmente dos granjas (Paéz *et al.*, 2007), siendo la más importante el complejo acuícola “Don Jorge”, contando con aproximadamente 250 hectáreas de cultivo semi-intensivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. La granja se encuentra bordeada por dos esteros perimetrales, uno se emplea para la alimentación de agua de los estanques (influyente) en marea alta (estero Confites) y el otro para la descarga de los efluentes (estero Barrón) descarga que se realiza preferentemente en periodos de marea baja (Quiñonez, 2008).

Las aguas del estero de Urías son renovadas en un tiempo relativamente corto, lo cual permite que las aguas residuales provenientes de la actividad antropogénica, así como las aguas provenientes de industrias como la termoeléctrica sean reemplazadas rápidamente (Álvarez y Ramírez, 1977). Debido a que el sistema lagunar es profundo tanto en la entrada como en su porción central, el tiempo de recambio hidrodinámico es del orden de 5-7 días en estas zonas (Páez *et al.*, 1990).

## 5.2 Trabajo de Campo

Se realizaron tres muestreos de agua representativas de las tres diferentes épocas climáticas que se presentan durante el año en el municipio de Mazatlán (secas frías, secas cálidas y lluvias), siendo seleccionados los meses de febrero, junio y septiembre del año 2011 respectivamente. Estas épocas se seleccionaron tomando en cuenta la información histórica de temperatura y precipitación anual desde el año 1976 hasta el 2010 para el municipio de Mazatlán (Fig.2). Dicha información fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional.

A partir de lo anterior, se establecieron once estaciones de muestreo desde la boca del estero de Urías hasta la cabeza del sistema lagunar con la finalidad de abarcar y representar al sistema en general. Adicionalmente se seleccionaron dos estaciones en el océano, las cuales permitirán observar las condiciones en las que se encuentra, además de conocer la influencia de este con el sistema en base al intercambio de agua llevado a cabo, esto con la finalidad de cumplir con lo que se requiere más adelante en cuanto a cálculos de flujos de agua, salinidad y nutrientes para la construcción de los balances de masas, así como de conocer la situación general del océano y sistema.

Se seleccionaron los drenes más importantes que desembocan en el sistema de Urías durante las tres épocas, esto debido a la importancia que tienen los drenes en cuanto a flujo de agua y de nutrientes con destino hacia el sistema (Tabla 1).

Anteriormente, se realizó una visita prospectiva en las zonas aledañas al sistema lagunar del estero de Urías para identificar los drenes necesarios a muestrear, incluyendo las plantas de tratamiento de agua residuales (PTAR) y las Unidades de Producción Acuícolas (UPA), esto para conocer cuáles serían las posibles entradas de agua al sistema que van a ser considerados para el cálculo de los balances biogeoquímicos para los tres muestreos representativos de cada época (Fig. 3).

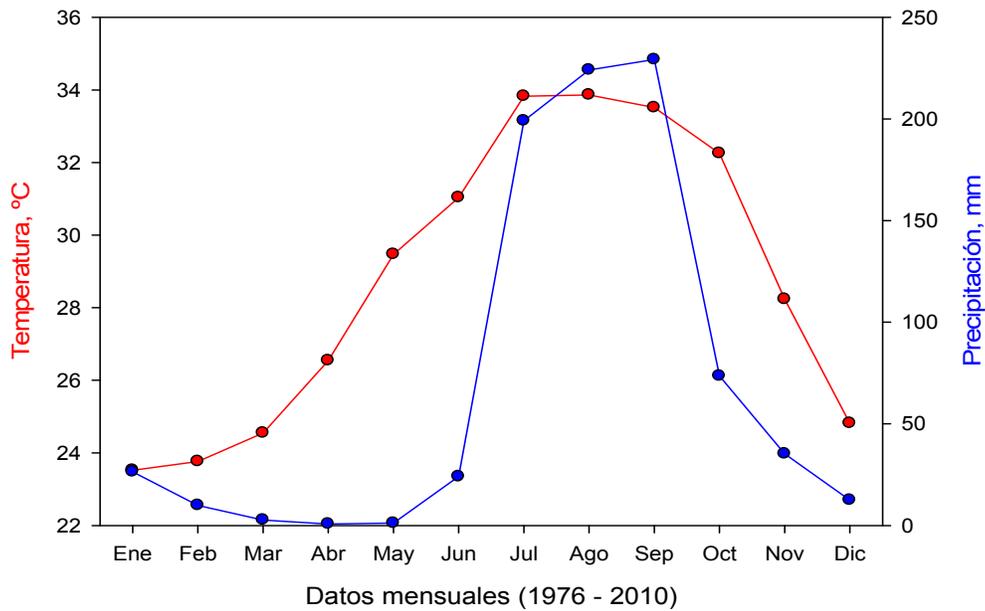


Figura 2. Temperatura y precipitación promedio mensuales para el municipio de Mazatlán (1976 - 2010).

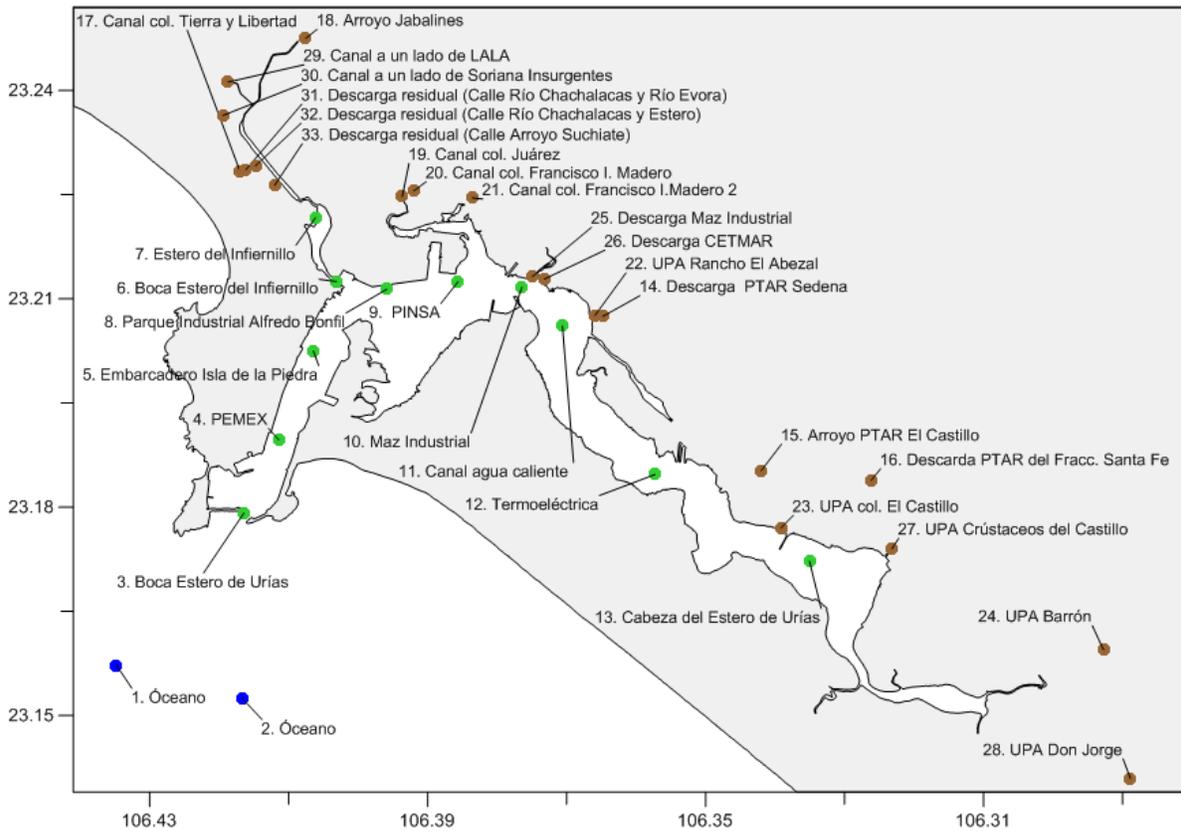


Figura 3. Ubicación de estaciones de muestreo en el estero de Uriás.

**Tabla 1.** Ubicación geográfica de las estaciones muestreadas en cada una de las épocas, secas frías:(1-20), secas cálidas:(1-26), lluvias:(1-33).

<b>Estación</b>	<b>Sitio</b>	<b>Latitud N</b>	<b>Longitud W</b>
1	Océano	23° 09' 26"	106° 26' 16"
2	Océano	23° 09' 9"	106° 25' 11"
3	Boca del Estero de Urías	23° 10' 45"	106° 25' 10"
4	Canal de Navegación frente a PEMEX	23° 11' 23"	106° 24' 52"
5	Canal de Navegación frente al Embarcadero Isla de la Piedra	23° 12' 09"	106° 24' 34"
6	Boca del Estero del Infiernillo	23° 12' 45"	106° 24' 22"
7	Estero del Infiernillo	23° 13' 18"	106° 24' 33"
8	Canal de navegación frente a Parque Industrial Alfredo Bonfil	23° 12' 41"	106° 23' 56"
9	Canal de Navegación frente a PINSA	23° 12' 45"	106° 23' 19"
10	Canal de Navegación frente a Maz Industrial	23° 12' 42"	106° 22' 46"
11	Estero de Urías frente al canal de agua caliente de la Termoeléctrica	23° 12' 22"	106° 22' 25"
12	Estero de Urías frente a la Termoeléctrica	23° 11' 05"	106° 21' 37"
13	Cabeza del Estero de Urías	23° 10' 20"	106° 20' 17"
14	Descarga de agua de la PTAR de la Unidad habitacional 23 de Noviembre	23° 12' 27"	106° 22' 04"
15	Arroyo donde descarga la PTAR El Castillo y lixiviado	23° 11' 07"	106° 20' 42"
16	Descarga de la PTAR del Fracc. Santa Fé	23° 11' 02"	106° 19' 45"
17	Canal de la Col. Tierra y Libertad	23° 13' 42"	106° 25' 12"
18	Arroyo Jabalines	23° 14' 51"	106° 24' 38"
19	Canal Col. Juárez	23° 13' 29"	106° 23' 48"

<b>Estación</b>	<b>Sitio</b>	<b>Latitud N</b>	<b>Longitud W</b>
<b>20</b>	Canal Col. Francisco I. Madero	23° 13' 32"	106° 23' 42"
<b>21</b>	Canal Col. Francisco I. Madero 2	23° 12' 41"	106° 23' 56"
<b>22</b>	UPA Rancho Abezal	23° 12' 45"	106° 23' 19"
<b>23</b>	UPA Col. El Castillo	23° 10' 37"	106° 20' 32"
<b>24</b>	UPA Barrón	23° 9' 34"	106° 17' 45"
<b>25</b>	Descarga Maz Industrial	23° 12' 48"	106° 22' 41"
<b>26</b>	Descarga CETMAR	23° 12' 46"	106° 22' 34"
<b>27</b>	UPA Crustáceos del Castillo	23° 10' 27"	106° 19' 34"
<b>28</b>	UPA Don Jorge	23° 8' 39"	106° 17' 28"
<b>29</b>	Canal a un costado de LALA	23° 14' 28"	106° 25' 18"
<b>30</b>	Canal a un costado de Soriana Insurgentes	23° 14' 11"	106° 25' 21"
<b>31</b>	Descarga residual (calle Río Chachalacas y Río Evora)	23° 13' 43"	106° 25' 09"
<b>32</b>	Descarga residual (calle Río Chachalacas y Estero)	23° 13' 45"	106° 25' 04"
<b>33</b>	Descarga residual (calle Arroyo Suchiate)	23° 13' 35"	106° 24' 54"

Se utilizó un GPS map76 Garmin para ubicar las coordenadas de cada estación de muestreo y realizar la toma de muestra, colectándose un litro de muestra de agua en botes de plástico para cada estación en lo que se refiere a la colecta de muestras. Para el caso de las estaciones del estero y océano, se tomó la muestra en la superficie, en tanto que en las drenes se tomó directamente del flujo de agua proveniente de las descargas, cuidando que no se mezclara con el sedimento en cada de una ellas.

Los muestreos en el sistema, océano y drenes fueron realizados en bajamar, con la finalidad de conocer la situación más crítica del estero en cuanto a su capacidad de carga.

En cada época de muestreo, se registraron las variables ambientales (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH) mediante una sonda multiparamétrica marca Hach, modelo DS5X para cada estación de muestreo. Por otra parte, para el análisis de la concentración de nitrógeno disuelto inorgánico (NID) y fósforo disuelto inorgánico (FID) en el estero de Urías, océano y drenes, se utilizaron las muestras de un litro de los botes de plástico. Después de la colecta de muestra, estas fueron conservadas en hielo durante su transporte al Laboratorio de Química y Productividad Acuática del CIAD - Unidad Mazatlán, esto para su posterior análisis y procesamiento dentro de las próximas 24 horas después de realizado cada muestreo.

Se realizó un estudio de batimetría para estimar la profundidad promedio del estero de Urías con la finalidad de incorporar datos consistentes a los modelos biogeoquímicos. Los puntos utilizados para realizar las líneas de trayecto recorridas en el sistema se ubicaron con ayuda del GPSmap 76 y las mediciones de profundidad se realizaron mediante el uso de un equipo de ecosonda, el cual proporcionó los valores de profundidad en cualquier punto del sistema.

Por otra parte, mediante el programa Google Earth Pro se calculó la superficie del sistema. Los datos de profundidad y superficie fueron utilizados posteriormente para estimar el volumen total del estero de Urías.

Finalmente, se realizó el cálculo de flujo de agua para cada dren para las tres épocas muestreadas, obteniéndose el gasto total para cada uno. Para los cálculos de flujos de agua, se utilizaron los métodos de caudal por los métodos sección velocidad, vertedor triangular con un ángulo de  $90^\circ$  (Fig. 4) y determinación de caudal por conductos circulares según el tipo de dren, así como el método de la media aritmética ponderada

para obtener el la concentración de nutrientes que llega al sistema.de acuerdo al flujo de agua cada uno de los drenes.



**Figura 4.** Método del vertedor triangular con un ángulo (90°).

### **5.3 Análisis de Laboratorio**

Los análisis para determinar la concentración de nitrógeno en forma de nitratos, nitritos y amonio, así como de fósforo en forma de ortofosfatos, se realizaron de acuerdo a lo descrito por Parsons *et al.* (1984), filtrando previamente las muestras de agua con filtros Whatman tipo GF/C de diámetro de 47 mm y con capacidad de retención de 1.2  $\mu\text{m}$ .

Posteriormente se realizó la cuantificación de nutrientes de cada una de las muestras mediante espectrofotometría UV-Vis.

### **5.4 Modelos Biogeoquímicos**

Los flujos de agua, sal, nutrientes y MNE en el sistema se estimaron mediante el uso de los modelos de balances biogeoquímicos LOICZ descritos por Gordon *et al.* (1996), esto para las tres épocas climáticas muestreadas, y a su vez se conjuntó los modelos de las tres épocas para construir un modelo anual que representara el comportamiento del sistema estuarino.

Estos modelos se construyeron en tres etapas, las cuales se dividieron en la construcción de un (1) Balance de agua, (2) balance de sal y (3) balance de nutrientes.

Las ecuaciones generales que se utilizan para calcular estos balances son:

$$\frac{dV_1}{dt} = V_S + V_P + V_G + V_O + V_E + V_R \quad (1)$$

$$\frac{dV_1 S_1}{dt} = V_S S_S + V_P S_P + V_G S_G + V_O S_O + V_E S_E + V_R S_R + V_X S_2 - V_X S_1 \quad (2)$$

$$\frac{dV_1 Y_1}{dt} = V_S Y_S + V_P Y_P + V_G Y_G + V_O Y_O + V_E Y_E + V_R Y_R + V_X Y_2 - V_X Y_1 + \Delta Y \quad (3)$$

Donde:

$V_P$  aporte de agua por precipitación,  $m^3 d^{-1}$

$V_E$  pérdidas de agua por evaporación,  $m^3 d^{-1}$

$V_O$  aporte de agua proveniente de los drenes,  $m^3 d^{-1}$

$V_S$  aporte de agua proveniente de aguas subterráneas,  $m^3 d^{-1}$

$V_G$  aporte de agua proveniente de las UPA,  $m^3 d^{-1}$

$V_R$  flujo residual,  $m^3 d^{-1}$

$V_X$  flujo de mezcla,  $m^3 d^{-1}$

$S_1$  salinidad promedio del sistema estero de Urías, UPS

$S_2$  salinidad promedio del océano, UPS

$S_R$  salinidad asociada al flujo residual, UPS

$\Delta Y_1$  flujo no conservativo de NID,  $mmol d^{-1}$

$\Delta Y_2$  flujo no conservativo de FID,  $mmol d^{-1}$

#### 5.4.1 Balance de agua

El balance de agua está en función de las pérdidas de agua por evaporación, así como de los flujos de entrada de agua por precipitaciones, UPA, aguas subterráneas y otros aportes como en este caso, los drenes.

Los datos de precipitación y evaporación para cada época climática muestreada, valores que fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional - CONAGUA de la estación ubicada en el municipio de Mazatlán, estos fueron necesarios incorporar para la construcción del balance de agua.

El balance entre flujos de entrada y salida de agua debe de ser igual al volumen almacenado dentro del sistema, por lo tanto, la diferencia entre entradas y la salidas de agua debe de ser balanceada por un flujo llamado flujo residual ( $V_R$ ) descrito en la ecuación 4:

$$V_R = V_P - V_Q - V_G - V_O - V_E \quad (4)$$

El balance de agua, en general, representa el comportamiento del sistema en cuanto a su conservación de volumen de agua. El resumen de los diferentes escenarios para el balance de agua se muestra en la figura 5.

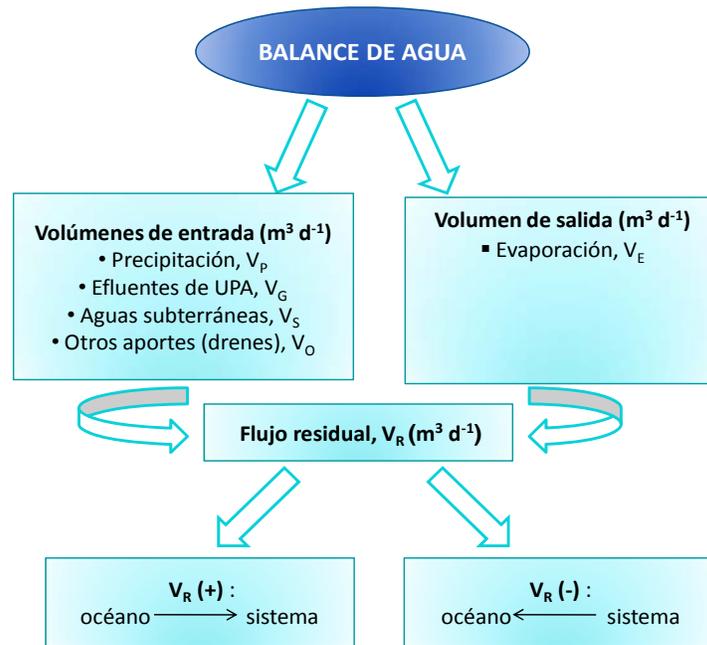


Figura 5. Diferentes escenarios de un balance de agua en un sistema.

#### 5.4.2 Balance de sal

La ecuación 2 describe la sal que es adicionada o removida del sistema por circulación del agua. Los procesos de circulación que mueven la sal incluyen no solamente  $V_R$ , sino también el intercambio de agua de la boca del estero de Urías con el flujo neto del agua ( $V_X$ ), el cual se calcula como lo indica la ecuación 5:

$$V_X = -V_R S_R / (S_2 - S_1) \tag{5}$$

El balance de sal representa la sal que es removida o adicionada del sistema por circulación del agua. El resumen de los diferentes escenarios para el balance de sal se muestra en la figura 6.

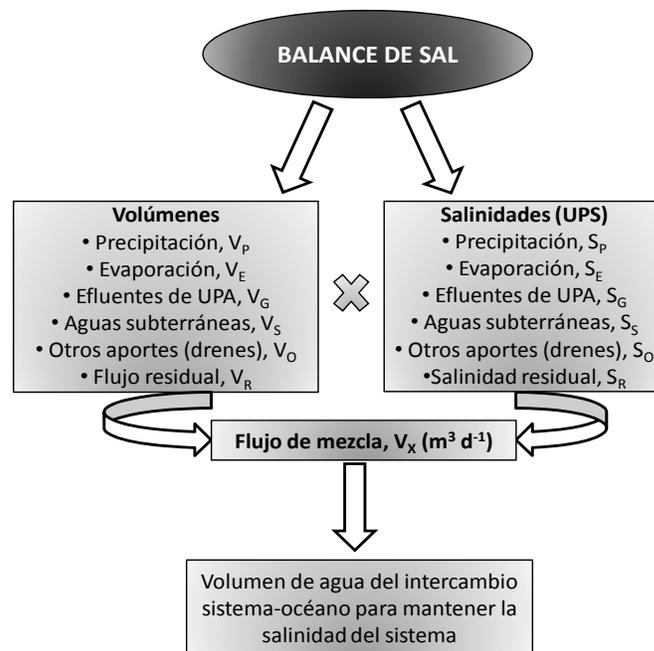
En base a los balances de agua y sal se obtiene el valor de recambio de agua del sistema, el cual se calcula como lo indica la ecuación 6:

$$t = V_{sistema} / (V_X - V_R) \quad (6)$$

Donde:

t tiempo de recambio de agua del sistema, días

$V_{sistema}$  volumen de agua del estero de Urías,  $m^3$



**Figura 6.** Diferentes escenarios de un balance de sal en un sistema.

### 5.4.3 Balance de nutrientes

La ecuación 3 describe el balance de masa del material no conservativo (Y), siendo estos los nutrientes (NID y FID), los cuales sufren transformaciones biogeoquímicas durante su ciclo. En este balance, se toma en cuenta el intercambio de material entre el océano y el estero de Urías con base a los criterios establecidos en el balance de agua y sal.

Las ecuaciones 7 y 8 ejemplifican el cálculo de los flujos de FID y NID respectivamente:

$$\Delta FID = -V_R FID_R - V_X (FID_2 - FID_1) \quad (7)$$

$$\Delta NID = -V_R NID_R - V_X (NID_2 - NID_1) \quad (8)$$

Donde:

$FID_1$  concentración molar de FID en el estero de Urías,  $\text{mmol m}^{-3}$

$FID_2$  concentración molar de FID en el océano,  $\text{mmol m}^{-3}$

$FID_R$  concentración de FID asociada al flujo residual (promedio entre  $FID_1$  y  $FID_2$ ),  $\text{mmol m}^{-3}$

$NID_1$  concentración molar de NID en el estero de Urías,  $\text{mmol m}^{-3}$

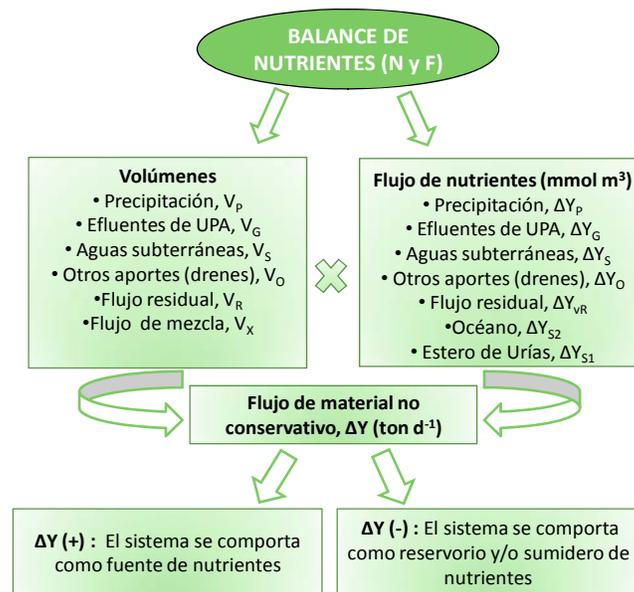
$NID_2$  concentración molar de NID en el océano,  $\text{mmol m}^{-3}$

$NID_R$  concentración de NID asociada al flujo residual (promedio entre  $NID_1$ ,  $NID_2$ ),  $\text{mmol m}^{-3}$

Los flujos calculados para el balance de materiales no conservativos (NID y FID) son estimados a partir de la desviación de flujos entre las entradas y salidas del sistema

basados en los balances de agua y sal, indicando las concentraciones de cada nutriente en el sistema, donde la diferencia principal son las tasas relacionadas al intercambio de volumen de agua del sistema con el océano.

El resumen de los diferentes escenarios para el balance de nutrientes se muestra en la figura 7.



**Figura 7.** Diferentes escenarios de un balance de nutrientes en un sistema.

#### 5.4.4 Estimaciones estequiométricas de MNE y $(N_{fij} - N_{desnit})$

Las relaciones de flujos no conservativos de FID y NID estiman las relaciones aparentes de fijación de nitrógeno menos desnitrificación  $(N_{fij} - N_{desnit})$  y el MNE en el sistema.

El metabolismo neto del ecosistema representa la diferencia entre la producción primaria ( $p$ ) y la respiración ( $r$ ). El MNE se calcula sobre la hipótesis de que  $\Delta FID$  está dominado por la descomposición de materia orgánica cercana a la del fitoplancton, siendo

este el productor primario en la estero de Urías, por esta razón en las estimaciones estequiométricas se adoptó el índice molar de Redfield (1934) C:N:P (106:16:1). El MNE se estimó por medio de la ecuación 9:

$$(p - r) = -\Delta FID \times (C : P)_{part} \quad (9)$$

Donde:

$\Delta FID$ , flujo no conservativo de FID estimado

$(C:P)_{part}$ , razón carbono a fósforo en la materia orgánica particulada que está siendo reciclada en el sistema lagunar.

Por otra parte el metabolismo del nitrógeno en el sistema expresado como el resultado del balance entre el nitrógeno fijado y el desnitrificado se estimó usando la siguiente ecuación (10):

$$(N_{fij} - N_{desnit}) = \Delta NID_{obs} - \Delta FID \times (N : P)_{part} \quad (10)$$

Donde:

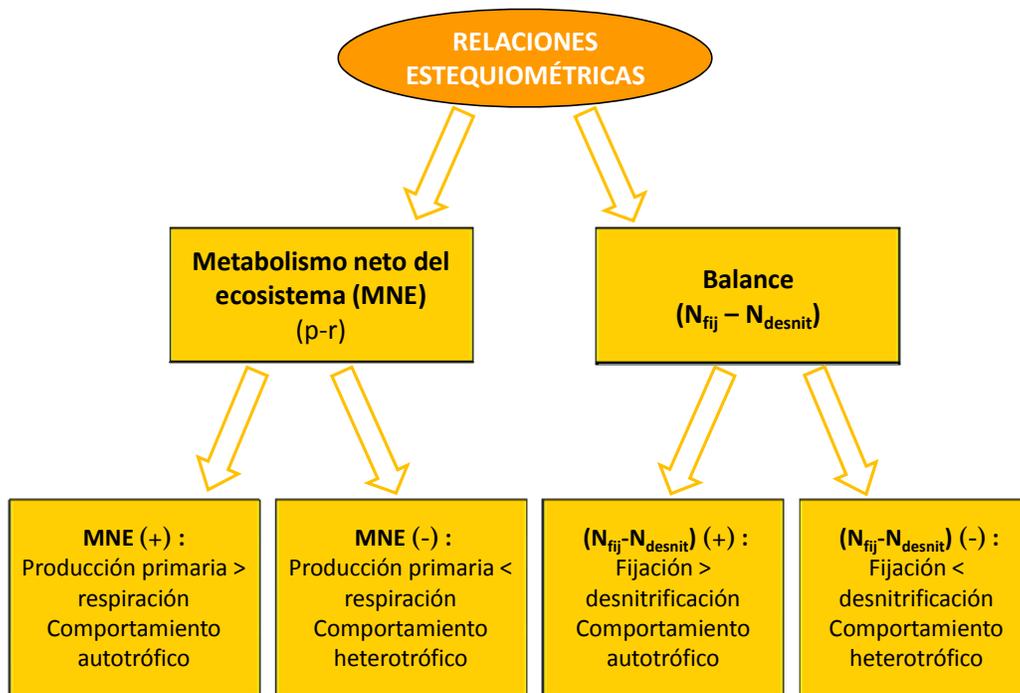
$\Delta NID_{obs}$  flujo no conservativo de NID observado

$(N:P)_{part}$  razón nitrógeno a fósforo, es decir, la cantidad de fósforo atribuida a la descomposición de la materia orgánica.

La estimación ( $N_{fij}-N_{desnit}$ ) se establece como la diferencia entre los valores observados y esperados de  $\Delta NID$ , donde  $\Delta NID$  estimado resulta de la multiplicación de  $\Delta FID$  por la relación de Redfield (1934).

Los resultados de las estimaciones estequiométricas, proporcionan una idea del comportamiento del sistema en cuanto si es autotrófico, es decir cuando se asume que existe una mayor fijación de nitrógeno que desnitrificación, ó heterotrófico, es decir si se asume que existe mayor desnitrificación que fijación de nitrógeno en el sistema.

Además de lo mencionado anteriormente, estas estimaciones ayudan a generar conclusiones sobre el estado ambiental de un cuerpo de agua en niveles de concentración de nutrientes, y en cuanto a la presencia y/o ausencia de procesos como la eutrofización. El resumen de los diferentes escenarios de las relaciones estequiométricas se muestra en la figura 8.



**Figura 8.** Diferentes escenarios de MNE y ( $N_{fij} - N_{desnit}$ ) en un sistema.

## 5.5 Análisis estadístico

Una vez, realizados los análisis de las variables de campo y químicas (nutrientes), se elaboró una matriz que contenía los datos de las variables mencionadas para cada estación y para las tres épocas climáticas de interés.

Posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías mediante la prueba de comparación de Holm-Sidak con un nivel de significancia ( $<0.05$ ), esto con la finalidad de determinar si hay diferencias entre las variables ambientales y los nutrientes entre las condiciones entre estaciones y entre las tres épocas climáticas.

Previo a lo anterior, se les realizó a los datos una prueba de normalidad y homoscedasticidad (Prueba de Shapiro-Wilk). En caso de no cumplir con estos supuestos, los datos fueron transformados estadísticamente ( $\log^{10}$ ) y analizados de la misma manera. Estos análisis fueron llevados a cabo con ayuda del software SigmaPlot 11.0.

A su vez, para conocer la relación entre las variables muestreadas en las distintas épocas y durante el año, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson con un nivel de significancia ( $<0.05$ ) con ayuda del paquete estadístico Statistica 7.0.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En esta sección, los datos obtenidos de las variables de campo, variables químicas (nutrientes) y de los balances biogeoquímicos, junto con sus discusiones correspondientes se presentarán por orden de muestreo de las épocas climáticas, es decir, primero los datos referentes a la época de secas frías, seguido de la época de secas cálidas y por último los de lluvias.

Posteriormente, se presentan los resultados y discusiones obtenidos del estudio anual referente a los balances biogeoquímicos y finalmente los relacionados a los análisis estadísticos que se realizaron.

### 6.1 Secas frías (febrero del 2011)

#### 6.1.1 Variables de campo

##### 6.1.1.1 Temperatura

Durante la época de secas frías, los valores de temperatura fueron variables en base a la localización de las estaciones de muestreo, tal como se observa en la figura 9. En las estaciones pertenecientes al océano, el valor fue de  $19.19 \pm 0.01$  °C, en tanto, que para las estaciones que abarcan el sistema estero de Urías, los valores de temperatura oscilaron entre los 18.04 y 24.51 °C, encontrándose los valores más bajos en las estaciones más cercanas a la boca del estero de Urías, donde la estación tres, perteneciente a la de la boca del estero de Urías, fue la que presentó la más baja temperatura ( $18.04 \pm 0.02$  °C). Por otro lado, las temperaturas más cálidas se presentaron

en las estaciones que se encuentran en la parte media y cabeza del estero de Urías, destacando el estero del Infiernillo como la de mayor temperatura ( $24.51 \pm 0.08$  °C).

Esta variación de temperaturas entre las estaciones de muestreo se debe a que las estaciones más cercanas a la cabeza del estero de Urías presentan profundidades menores comparadas a las estaciones del océano y las que se ubican próximas a la boca del sistema, siendo los cambios de temperatura mayores. Por esta razón, hay una mayor incidencia de radiación solar aumentando las temperaturas en estos puntos de muestreo.

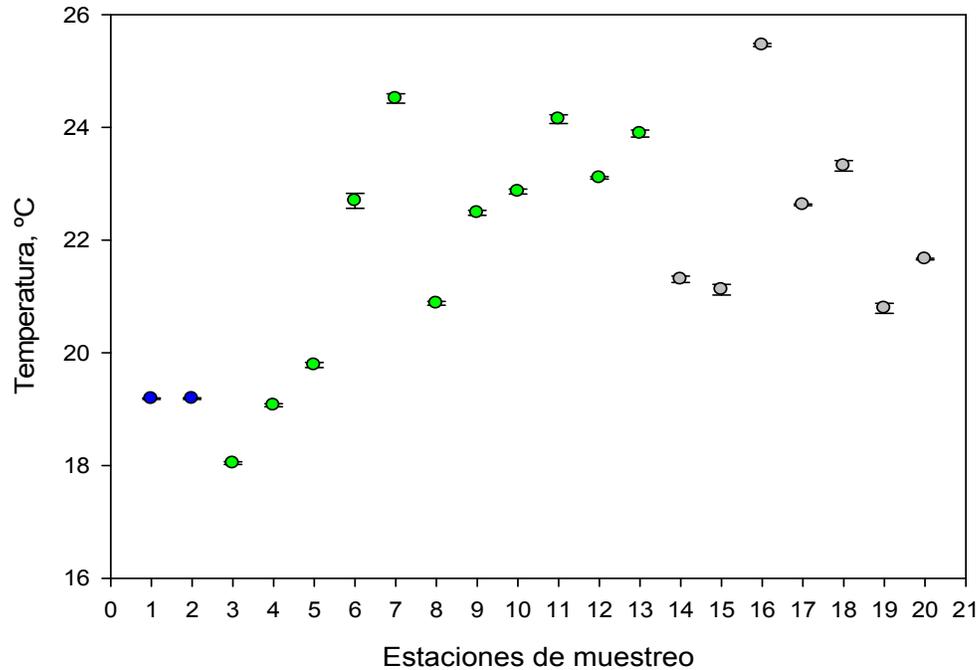
Así mismo, en las estaciones de la parte intermedia y de la cabeza de Urías se observa un aumento de temperatura considerable, influenciadas fuertemente por la descarga de agua caliente de la central termoeléctrica.

Tomando en cuenta los datos obtenidos en este estudio los valores de temperaturas concuerdan con lo mencionado por Pérez (1995), donde menciona que el sistema para la misma época y el mismo mes mantiene una relación estrecha con la temperatura ambiente, alcanzando valores de temperatura que oscilaban entre los 19 y 23 °C, estando el valor mínimo y máximo, solamente 1 °C de diferencia de los resultados de este estudio.

Contrariamente a los resultados de este trabajo, se encuentran los valores de temperatura obtenidos por Ochoa (1999) para el mismo sistema, en el cual obtuvo valores de temperatura en la época de secas y el mismo mes entre los 24.5 y 26.4 °C. Esta diferencia es atribuida a las condiciones climatológicas presentes en cada estudio, siendo que en el estudio de Ochoa (1999) hubo un calentamiento de las aguas provocado por el fenómeno del “El Niño” presente a finales del año 1997 y principios de 1998 (Garza, 1999), mientras que en el año de este estudio, hubo temperaturas bajas en comparación a los últimos años.

En tanto para los drenes que desembocan al estero de Urías, la temperatura osciló entre los 20.79 y 25.46 °C, encontrándose el valor más alto en la estación 16 (descarga

de agua PTAR Santa Fe) y la menor temperatura en las estación 19 (canal de la col. Juárez).



**Figura 9.** Temperatura promedio y desviación estándar para la época de secas frías (febrero, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-20 (drenes).

#### 6.1.1.2 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto tuvo un comportamiento contrario al de la temperatura en las estaciones de muestreo para la época de secas frías, encontrándose los valores más altos en las estaciones pertenecientes a las del océano con valores entre 8.64 y 8.65 mg L<sup>-1</sup> y valores más bajos en las estaciones pertenecientes al sistema estuarino, los cuales oscilaron entre 5.42 y 7.65 mg L<sup>-1</sup>.

Como se observa en la figura 10, en el sistema, las estaciones más cercanas a la cabeza del estero presentan valores de oxígeno disuelto mayores en comparación a las estaciones más cercanas a la boca del estero, siendo la estación ubicada en el canal de

agua caliente de la termoeléctrica como la de mayor oxígeno ( $7.65 \pm 0.03 \text{ mg L}^{-1}$ ) y la estación perteneciente a la de la boca del estero del Infiernillo como la de menor concentración de oxígeno disuelto ( $5.42 \pm 0.05 \text{ mg L}^{-1}$ ).

Este comportamiento contrario al de la temperatura es debido a que en esta época las estaciones del océano las aguas son más frías en comparación a las del sistema, y por lo tanto son ricas en oxígeno, lo que puede sugerir que durante el muestreo, los procesos de fertilización de surgencias estuvieron presentes, lo cual aumenta las concentraciones de oxígeno en el agua, además de la influencia de la temperatura ambiente durante esta época. Por su parte, en el sistema del estero de Urías, el comportamiento presentado se debe principalmente al factor de penetración de la luz solar, principalmente en aguas menos profundas, lo que ocasiona un aumento de los niveles de oxígeno disuelto por actividad fotosintética, como fue el caso del estero del Infiernillo y de las estaciones cercanas a la cabeza del sistema

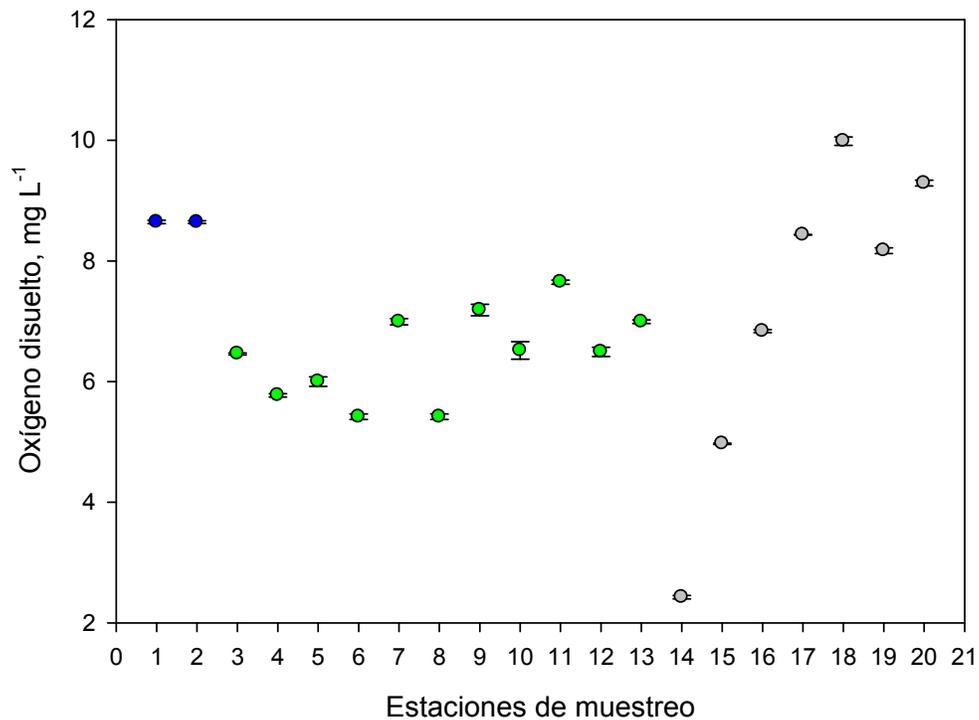
Villalba (1986) en su descripción general del estero de Urías, menciona que el sistema presenta valores superiores a  $2 \text{ mg L}^{-1}$  en todo el año, dando promedios anuales de 3 y  $4 \text{ mg L}^{-1}$ , dichos valores son bajos comparados con los de este estudio donde el promedio para secas frías fue de  $6.44 \text{ mg L}^{-1}$ .

Por su parte Ochoa (1999) en su estudio menciona que los valores de oxígeno disuelto en el mes de febrero para las tres estaciones muestreadas que abarcan al estero de Urías se encuentran entre 3.17 y  $3.57 \text{ mg L}^{-1}$ , valores también más bajos en comparación a este estudio, y que probablemente puede ser atribuido a la presencia de surgencias y al fuerte intercambio de agua dado entre el océano y el sistema en este estudio, lo que ocasionó un aumento de oxígeno en el sistema.

En lo que se refiere a las estaciones pertenecientes a los drenes, los valores de oxígeno disuelto fueron muy variables, encontrándose valores que oscilaron entre 2.43-  $6.84 \text{ mg L}^{-1}$ , en donde la estación 18 (arroyo Jabalines) presentó los mayores niveles de

oxígeno y la estación 14 (descarga de agua PTAR SEDENA) la de menor concentración de esta variable.

Durante esta época se observó la presencia de algas en la mayoría de los drenes analizados, presencia que contribuye a explicar los niveles altos de oxígeno en el agua en dichas estaciones.



**Figura 10.** Oxígeno disuelto promedio y desviación estándar en las estaciones para la época de secas frías (febrero, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-20 (drenes).

### 6.1.1.3 pH

Durante secas frías, los valores se comportaron de manera similar al oxígeno disuelto, encontrándose los valores más altos en las estaciones del océano y valores más bajos en el sistema.

En general, para el sistema no hubo mucha diferencia de pH entre las estaciones, aunque si se puede observar, que al igual que con el oxígeno disuelto, las estaciones más cercanas a la cabeza del estero de Urías presentan valores ligeramente más altos que las estaciones más cercanas a la boca del estero de Urías, encontrándose el valor más alto en la estación ubicada en el canal de agua caliente de la termoeléctrica en un valor de  $8.19 \pm 0.03$  y el valor más bajo en la estaciones de la boca del estero de Urías y el canal de navegación frente a PEMEX con  $7.94 \pm 0.01$  (Fig. 11).

El reducido intervalo de valores de pH entre las estaciones del océano y del sistema (7.94-8.24), es ocasionada por el fuerte intercambio y mezcla de agua dada entre el océano y el estero de Urías, además al potencial buffer, el cual es capaz de mantener los valores básicos en el sistema.

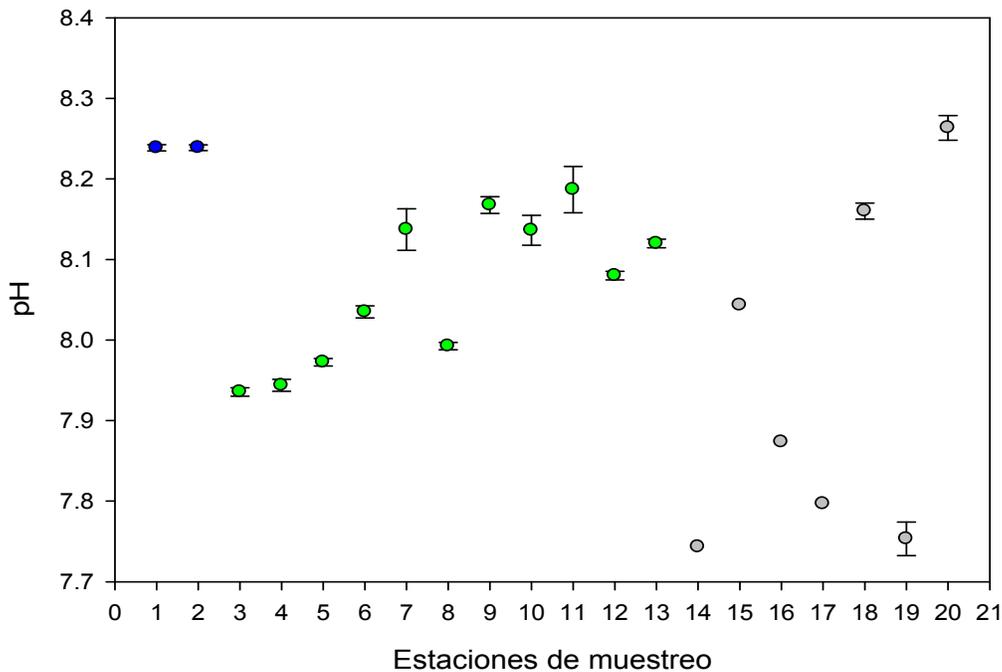
En promedio, el pH del agua de mar y de las zonas costeras varía entre 7.6 a 8.1, y aunque la presencia de carbonatos, fosfatos, boratos y otros sistemas amortiguadores permite que en general el pH permanezca constante, éste puede variar por procesos biogeoquímicos naturales o por descargas de naturaleza ácida o básica, como fue comprobado por Osuna *et al.* (1994), que registraron un intervalo de 6.7 a 7.7 para los cinco días después de un evento de descargas urbanas masiva.

En el caso del sistema, el comportamiento de pH en las estaciones de muestreo no se encuentra influenciado fuertemente por el efecto de la temperatura, siguiendo el patrón de que a una temperatura mayor el pH disminuye y viceversa, y que es ocasionado por el nivel de disociación de moléculas que se comportan como ácidos o bases. En cambio, si se encuentra influenciado por los niveles de evaporación y profundidad, principalmente en las ubicadas cerca a la cabeza de estero, existiendo una mayor remoción de  $\text{CO}_2$  del sistema por actividad fotosintética, ocasionando un aumento de pH en el agua.

Villalba (1986) en su descripción de estero de Urías, menciona que los valores de pH en el estero de Urías no muestran un patrón definido de variación, registrando valores mínimos de 7.7 y máximos de 8.3, con valores promedio de 7.8 en todo el año, mientras que 7.7 en periodos de estiaje. Estos resultados comparados con el presente estudio concuerdan en cuanto a valores y a la poca variación de estos.

Caso contrario ocurre en comparación al estudio de Ochoa (1999), donde obtuvo valores de pH entre 7.37 y 7.85 en el mes de febrero, siendo ligeramente más bajos en comparación a los del actual estudio. Esta diferencia puede estar dada por la actividad de las microalgas y el consumo de CO<sub>2</sub> durante la fotosíntesis, lo cual incrementa el pH.

Por otra parte para los drenes que desembocan el estero de Urías, los valores de pH tuvieron mucha variación entre las estaciones, con valores en un intervalo de 7.74-8.26, siendo el valor más alto presentado en la estación del canal de la col. Francisco I. Madero y el valor mínimo en la estación de la descarga agua PTAR SEDENA.



**Figura 11.** pH promedio y desviación estándar para la época de secas frías (febrero, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-20 (drenes).

#### 6.1.1.4 Salinidad

En cuanto a la variable de salinidad, para la época de secas frías, no hubo diferencia entre las estaciones del océano y en el sistema, en donde los valores promedios de salinidad fueron de  $35.01 \pm 0.01$  UPS y  $35.6 \pm 0.03$  UPS para las estaciones del océano y del sistema estero de Urías respectivamente.

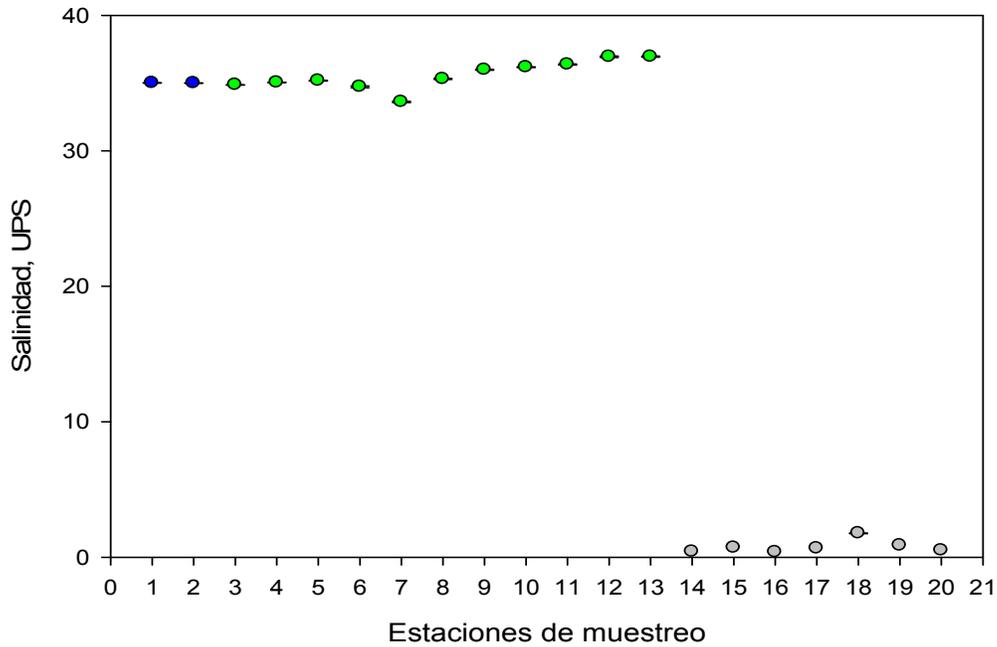
Dentro de las estaciones que comprenden el sistema, los valores más altos de salinidad se encontraron en las estaciones más cercanas a la cabeza del estero, mientras que los valores más bajos se presentaron en las estaciones más cercanas a la boca del estero, siendo la estación perteneciente al estero del Infiernillo donde la salinidad es más baja con un valor de  $33.61 \pm 0.03$  UPS y la del estero de Urías frente a la termoeléctrica la de mayor salinidad con  $36.95 \pm 0.03$  UPS (Fig. 12).

Este comportamiento de la salinidad, se debe principalmente al fuerte intercambio de volúmenes de agua entre el océano y el sistema, y por lo tanto, también de salinidades.

Otros factores determinantes en cuanto a la salinidad, está causada por los niveles de evaporación y de profundidad, los cuales ocasionan que la salinidad aumente en las estaciones pertenecientes al sistema. En esta época, los niveles de evaporación para el municipio de Mazatlán son de  $3.4 \text{ mm d}^{-1}$ , mientras que en cuanto a la batimetría, esta varía dependiendo de la ubicación de las estaciones del sistema, siendo menor en la cabeza y mayor en la boca del estero, ocasionando que la salinidad sea mayor en la cabeza del estero que en la boca del estero.

Tomando de referencia lo mencionado anteriormente, el estero de Urías se comporta como un antiestuario durante secas frías, alcanzando salinidades más altas en la cabeza del estero. Este comportamiento concuerda con lo mencionado por Páez y colaboradores en el 2007.

Por otra parte, en los drenes, las salinidades se mantuvieron por debajo de 1 UPS, con excepción de la estación del arroyo Jabalines donde se obtuvo una salinidad de  $1.76 \pm 0.02$  UPS. Estas salinidades demuestran que los drenes no tenían influencia de agua del estero durante la realización del muestreo.



**Figura 12.** Salinidad promedio y desviación estándar para la época de secas frías (febrero, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-20 (drenes).

## 6.1.2 Variables químicas

### 6.1.2.1 NID

Dentro del periodo representativo de la época de secas frías, en lo que respecta al NID (amonio, nitratos y nitritos) los valores promedios fueron de  $1.614 \pm 0.076$ ,  $14.301 \pm 0.364$  y  $115.963 \pm 3.476$   $\text{mmol m}^{-3}$  para el océano, sistema y drenes respectivamente.

En lo que respecta a las estaciones del océano la forma química de mayor contribución fue el amonio y la de menor fueron los nitritos.

En el caso del sistema del estero de Urías, los resultados obtenidos fueron iguales a los del océano en cuanto al nutriente mayormente encontrado, siendo el amonio el de mayor abundancia y nitritos el de menor presencia.

La estación ubicada en el estero del Infiernillo como la de mayor concentración de NID con  $42.184 \pm 0.258 \text{ mmol m}^{-3}$  y la estación localizada en la cabeza del estero de Urías como la de menor concentración con  $0.214 \pm 0.115 \text{ mmol m}^{-3}$  (Fig. 13). El valor elevado de NID en el estero del Infiernillo se debe a diversas causas, entre las que están la abundancia de algas, al recambio de agua y al aporte de NID proveniente del arroyo Jabalines y de aguas residuales, las cuales descarga sus aguas hacia el sistema.

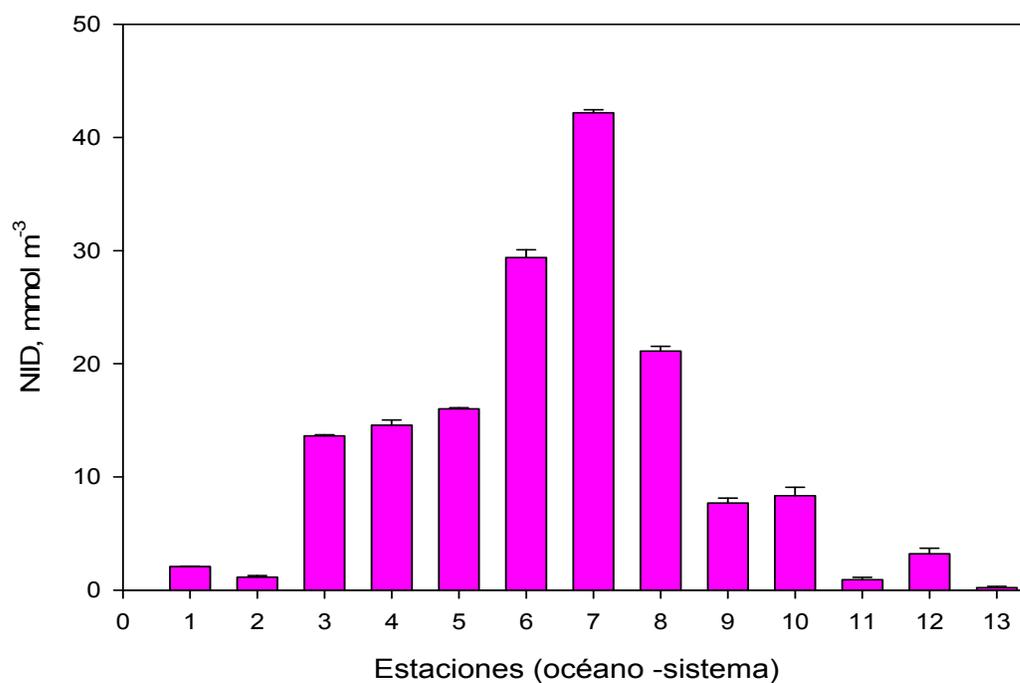
La misma situación se observa en las estaciones cercanas a la boca del estero, donde se encuentran los valores más altos dentro del sistema, ocasionado por los aportes de la zona industrial localizada en esa parte del canal de navegación, con respecto a las estaciones ubicadas cerca de la cabeza, donde el efecto de los drenes no es tan notable en esta época del año.

Durante esta época, solamente la estaciones pertenecientes al canal de agua caliente de la termoeléctrica, estero de Urías frente a la termoeléctrica y cabeza del estero de Urías no sobrepasan el límite de NID en agua ( $3.71 \text{ mmol m}^{-3}$ ) establecido en los Criterios Ecológicos de Calidad de agua para protección de la vida acuática marina publicada dentro del Diario Oficial de la Federación en el año de 1989.

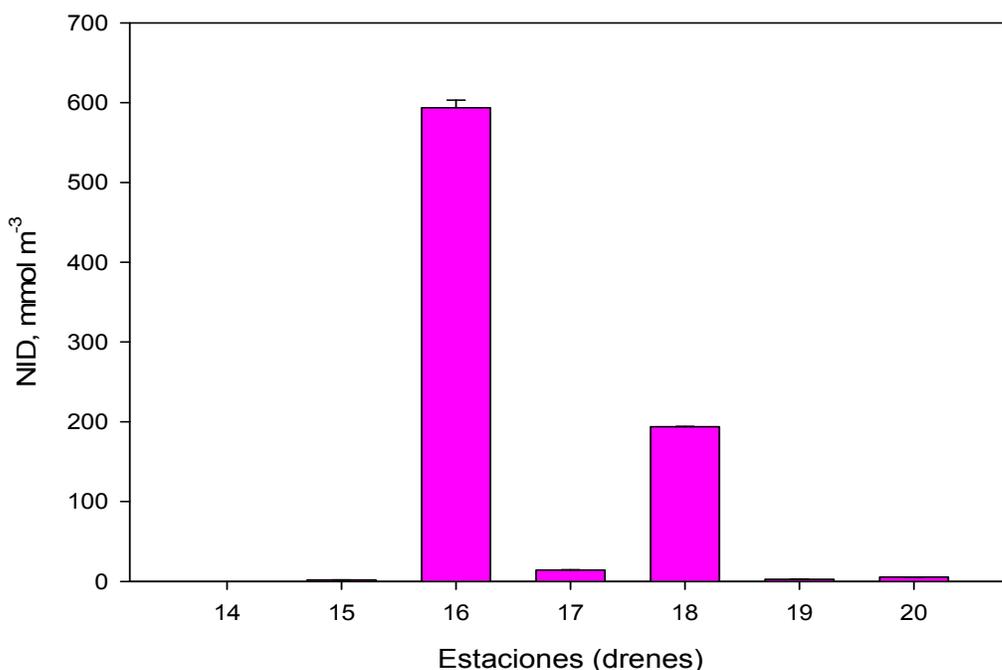
Los resultados de NID para la época de secas frías (febrero) en comparación a los resultados de Ochoa (1999) para el mismo mes, se encuentran entre  $16.22\text{-}34.82 \text{ mmol m}^{-3}$  con un promedio de  $17.8 \text{ mmol m}^{-3}$ , siendo un valor cercano con referencia al promedio obtenido en este estudio ( $14.301 \text{ mmol m}^{-3}$ ), pero diferentes en cuanto a concentraciones en las estaciones, como el caso del estero del Infiernillo, donde el

crecimiento poblacional e industrial ha influenciado en los niveles de nutrientes. Esta ligera diferencia entre los promedios es debido a que en el presente estudio se tomaron en cuenta más estaciones a lo largo del sistema, encontrándose valores muy bajos en algunas estaciones y en otros muy altos, lo que modifica el promedio.

Por otra parte, en lo que respecta a los drenes, en general, el orden de presencia fue el mismo que en el sistema y el océano, siendo el amonio el nutriente mayormente encontrado y nitritos el de menor presencia, en la cual la estación 16 ubicada en la descarga PTAR Fracc. Santa Fé presenta el valor máximo con  $593.668 \pm 9.479 \text{ mmol m}^{-3}$  y el valor mínimo la estación 14 ubicada en la descarga PTAR SEDENA con  $0.102 \pm 0 \text{ mmol m}^{-3}$  (Fig.14).



**Figura 13.** Variación de NID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo del océano y sistema para la época de secas frías.



**Figura 14.** Variación de NID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo de los drenes que desembocan al estero de Urías en la época de secas frías.

#### 6.1.2.2 FID

En el caso del cálculo final de FID, durante la época de secas frías se obtuvieron concentraciones de FID de  $0.032 \pm 0$  mmol m<sup>-3</sup> para el océano,  $0.744 \pm 0.122$  mmol m<sup>-3</sup> para el sistema y de  $5.945 \pm 0.121$  mmol m<sup>-3</sup> para los drenes.

En lo que respecta al FID en el sistema, la estación 7 ubicada en el estero de infiernillo fue la de mayor concentración con  $3.851 \pm 0.128$  mmol m<sup>-3</sup> y las estaciones pertenecientes al canal de navegación frente a los canales de Fco. I. Madero, canal de navegación frente a Maz Industrial, canal de agua caliente de la termoeléctrica y estero de Urías frente a la termoeléctrica las de menor concentración con  $0.032 \pm 0$  mmol m<sup>-3</sup> (Fig. 15).

Este comportamiento dado se atribuye a que el estero del Infiernillo es una zona de descargas antropogénicas, lo que ocasiona un aumento de FID en comparación a las

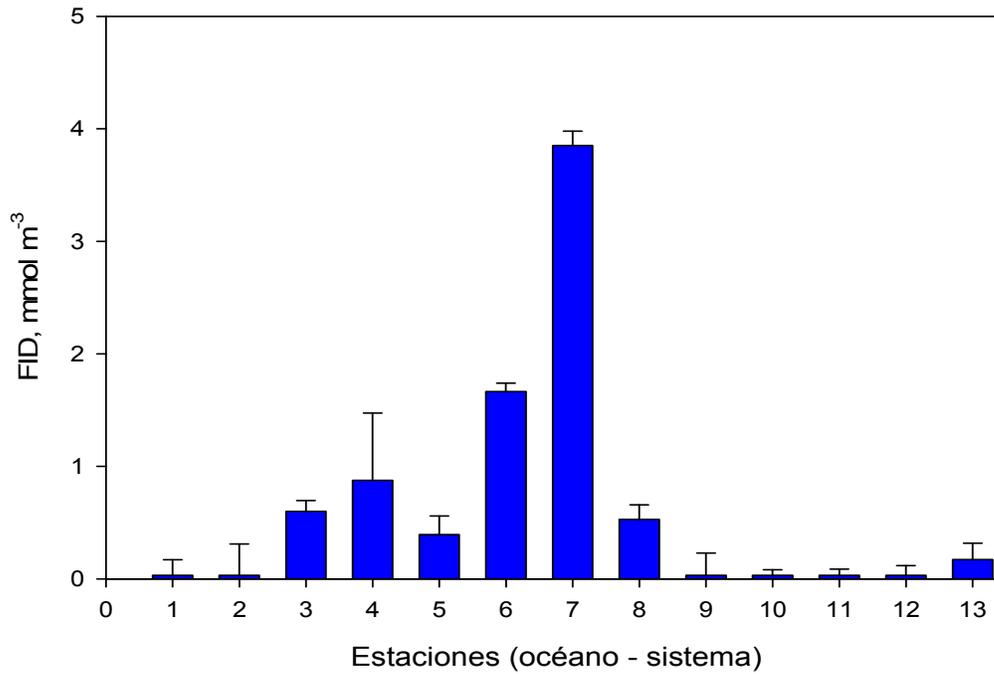
demás estaciones, mientras que en las restantes estaciones los valores de FID son resultado de los arrastres de ortofosfatos ocasionados por las corrientes y mareas propias del sistema.

En el caso del FID se observa que las estaciones 9, 10, 11 y 12 (canal de navegación frente a los canales de Francisco. I. Madero, canal de navegación frente a Maz Industrial, canal de agua caliente de la termoeléctrica y estero de Urías frente a la termoeléctrica respectivamente) son las únicas que se encuentran dentro del límite establecido en el DOF (1989) para FID en agua ( $0.065 \text{ mmol m}^{-3}$ ).

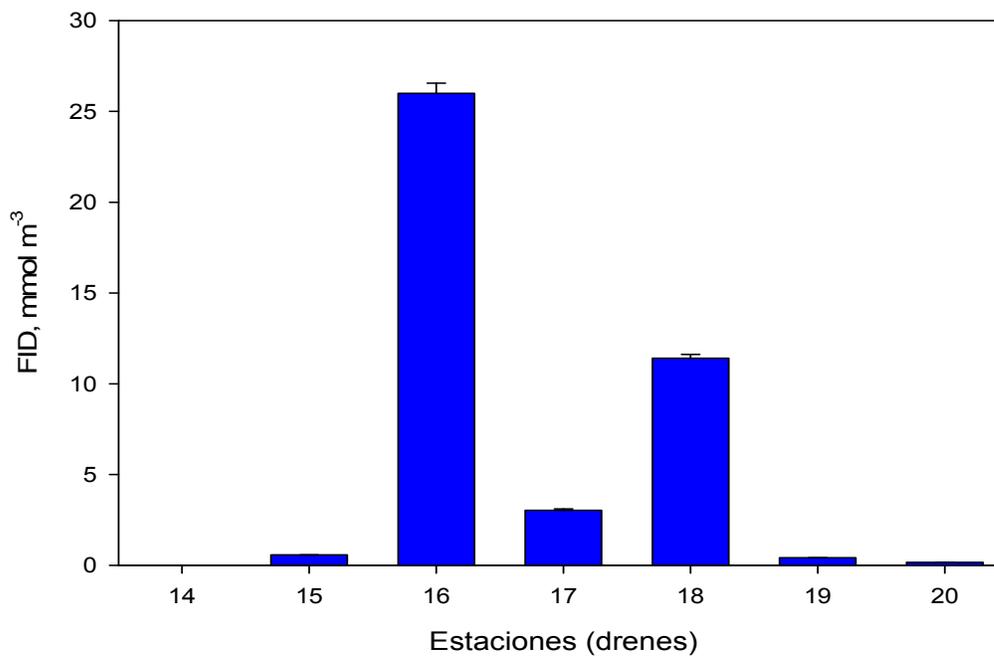
Estos resultados de concentraciones de FID en el sistema comparados con el trabajo de Ochoa (1999), donde los valores encontrados estuvieron dentro de un intervalo entre  $0.68$  y  $4.57 \text{ mmol m}^{-3}$  para el mes de febrero y un promedio de  $0.94 \text{ mmol m}^{-3}$  en secas, se encuentran por debajo de los obtenidos en el presente estudio ( $0.744 \text{ mmol m}^{-3}$ ). Esto sugiere que la diferencia entre los dos estudios, se debe a la tasa de incorporación por los productores primarios, y por lo tanto de su incremento de la biomasa.

Para esta época, se presenta la misma situación del NID para el fósforo disuelto inorgánico en los drenes, donde la estación de la descarga PTAR Fracc. Santa Fé y la descarga PTAR SEDENA son la de mayor y menor concentración con  $25.991 \pm 0.556$  y  $0.027 \pm 0$   $\text{mmol m}^{-3}$  (Fig. 16).

Los altos niveles tanto de NID como de FID en la descarga de PTAR Fracc. Santa Fe se le atribuye al deficiente o nulo tratamiento que se le da a esta planta de aguas residuales.



**Figura 15.** Variación de FID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo del océano y sistema para la época de secas frías.



**Figura 16.** Variación de NID promedio en las estaciones de muestreo de los drenes que desembocan al estero de Urías para la época de secas frías.

### 6.1.3 Cálculo de flujos de agua

El volumen total de agua estimado de todos los drenes con destino al estero de Urías durante esta época fue de  $6,881 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ , valor que fue utilizado en los balances biogeoquímicos. Los cálculos de flujo de agua de los drenes se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Datos de flujos de agua para cada dren para la época de secas frías.

Estación	Flujo de agua ( $\text{m}^3 \text{ día}^{-1}$ )
14. Descarga PTAR Unidad Habitacional 23 de Noviembre	1.3
15. Arroyo donde descarga la PTAR El Castillo	7.3
16. Descarga PTAR del fracc. Santa Fé	3,616.6
17. Canal de la Col. Tierra y Libertad	615.7
18. Arroyo Jabalines	1,695.7
19. Canal de la Col. Juárez	280.4
20. Canal de la Col. Francisco I. Madero	664.3

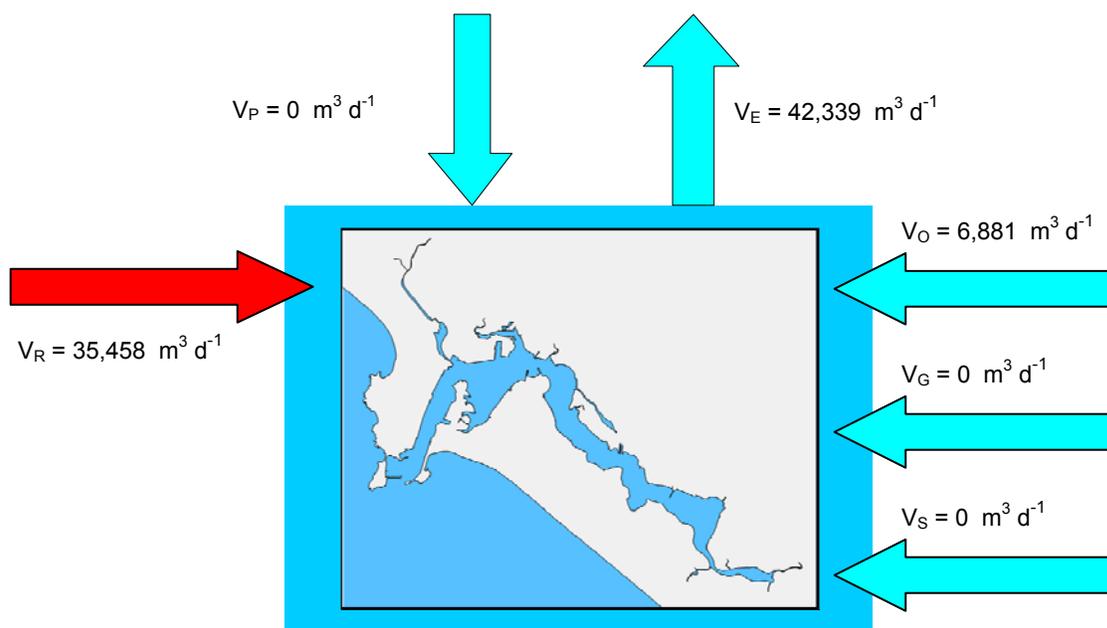
### 6.1.4 Modelos biogeoquímicos

#### 6.1.4.1 Balance de agua

Durante esta época del año, el sistema solamente recibe volúmenes de entrada de agua de los drenes que desembocan al estero de Urías en una cantidad estimada total de  $6,881 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ , siendo los de mayor aporte los provenientes del Arroyo Jabalines y arroyo El Castillo. Tanto los volúmenes de entrada de agua aportados por la precipitación, así como los de las UPA son nulos, ya que todavía no hay presencia de precipitación y en el caso de las UPA no se encuentran operando. El volumen aportado por aguas subterráneas se asume como 0, ya que en ausencia de precipitación, no existe flujo de agua subterránea, o en caso de haberlo es despreciable. En tanto que las pérdidas de

volumen de agua del sistema por evaporación se estiman en  $42,339 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ , siendo este volumen calculado de la información proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional de evaporación para este mes multiplicado por la superficie del sistema.

Tomando en cuenta los datos anteriores existe un volumen de flujo residual calculado de  $35,458 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$  del océano al sistema del estero de Urías, lo que sugiere que el océano aporta agua hacia el sistema, de tal forma que se compense la pérdida de agua por evaporación y mantener el volumen de agua constante en el estero de Urías. En la ilustración de la figura 17 se resume el balance de agua.



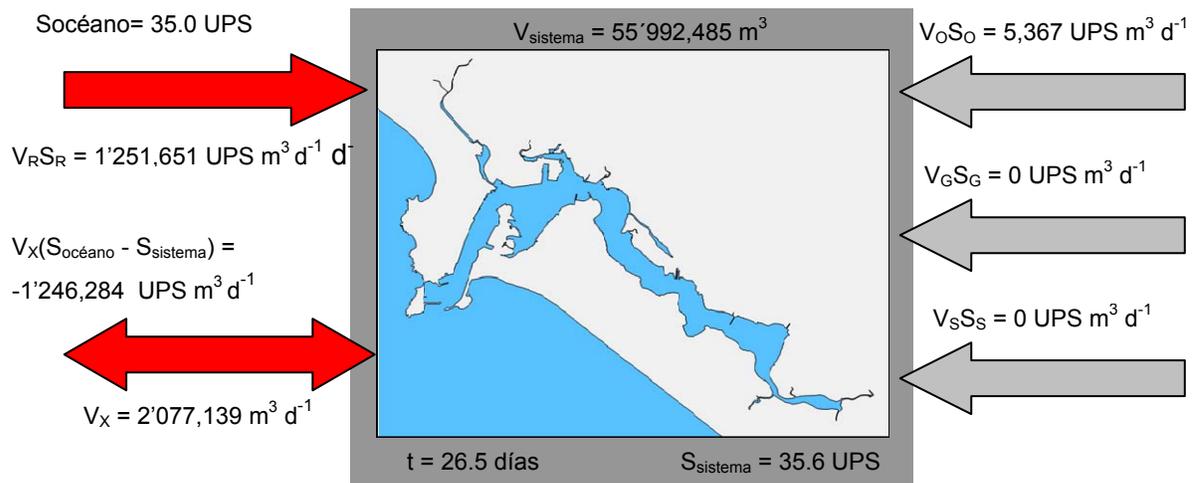
**Figura 17.** Diagrama ilustrativo del balance de agua en el estero de Urías para la época de secas frías.

#### 6.1.4.2 Balance de sal

La salinidad proveniente de los drenes que desembocan en el estero de Urías es de 0.8 UPS, resultado que permite calcular un flujo de salinidad asociado a los drenes de  $5,367 \text{ UPS m}^3 \text{ día}^{-1}$ . Por otro lado, tanto la salinidad como su flujo proveniente de los UPA

son 0, mientras que en las aguas subterráneas se asume como 0, esto debido a que tanto en las UPA como de las aguas subterráneas hay ausencia de estos flujos en esta época.

El sistema intercambia por acción de mareas y corrientes un volumen de mezcla de agua con el océano de  $2'077,139 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ . Con base a estos volúmenes calculados el tiempo de recambio de agua para todo el sistema es de 26.5 días durante esta época.



**Figura 18.** Diagrama ilustrativo del balance de sal en el estero de Urías para la época de secas frías.

#### 6.1.4.3 Balance de nutrientes

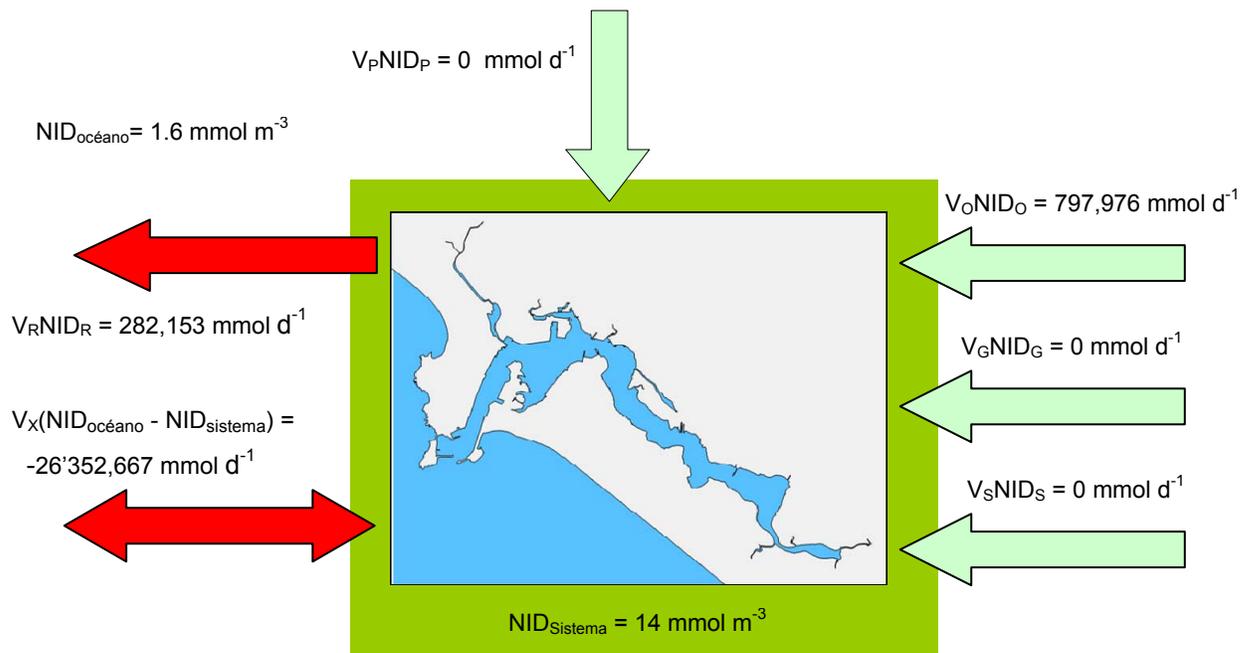
##### a) NID

Durante la época de secas frías, el océano y el estero de Urías tienen una concentración promedio de NID de 1.6 y  $14 \text{ mmol m}^{-3}$ . El flujo de NID asociado a los drenes es de  $797,976 \text{ mmol d}^{-1}$ . El sistema recibe  $0.05 \text{ ton d}^{-1}$  de NID proveniente solamente de estos, ya que todavía no existen flujos, y por lo tanto, tampoco de concentraciones de nutrientes provenientes de la precipitación y drenes acuícolas,

mientras que el aporte por aguas subterráneas es despreciable durante esta época, por lo que se considera como 0.

Existe un flujo de NID asociado al flujo residual de  $282,153 \text{ mmol d}^{-1}$ , mientras que el flujo de NID asociado al intercambio de flujos es de  $26'352,667 \text{ mmol d}^{-1}$ .

Tomando en cuenta el intercambio que se da entre el sistema y la bahía de Mazatlán, se estima el sistema exporta  $1.6 \text{ ton d}^{-1}$  de nitrógeno inorgánico disuelto hacia la bahía de Mazatlán, comportándose el estero de Urías como fuente de NID en esta época. Lo anterior indica que el sistema exporta NID al océano por incremento de volumen de mezcla, presumiéndose que existe una producción de NID, probablemente, derivado de la oxidación efectiva de la materia orgánica en el sistema. El balance de NID se observa en la figura 19.



**Figura 19.** Diagrama ilustrativo del balance de NID en el estero de Urías para la época de secas frías.

b) FID

Durante la misma época, el océano y el estero de Urías tienen una concentración promedio de FID de 0.03 y 0.7 mmol m<sup>-3</sup>. El flujo de FID asociado a los drenes es de 40,909 mmol d<sup>-1</sup>. Solamente los drenes aportan 0.05 ton d<sup>-1</sup> de FID al sistema, ya que los flujos de entrada provenientes de la precipitación, UPA y aguas subterráneas se toman como 0. En el caso de las aguas subterráneas, porque se considera despreciable y en cuanto a la precipitación y UPA debido a que no hay aporte en esta época.

Existe un flujo de FID asociado al flujo residual de 13,811 mmol d<sup>-1</sup>, mientras que el flujo de FID asociado al intercambio de flujos es de 1'485,155 mmol d<sup>-1</sup>.

El sistema exporta 0.14 ton d<sup>-1</sup> hacia la bahía de Mazatlán, comportándose como fuente de FID. Al igual que con el NID, el sistema exporta fósforo inorgánico disuelto al océano por incremento de volumen de mezcla, siendo probable una producción de nitrógeno disuelto inorgánico, el cual es derivado de la oxidación efectiva de la materia orgánica en el sistema. Los resultados del balance de FID se observan en la figura 20.

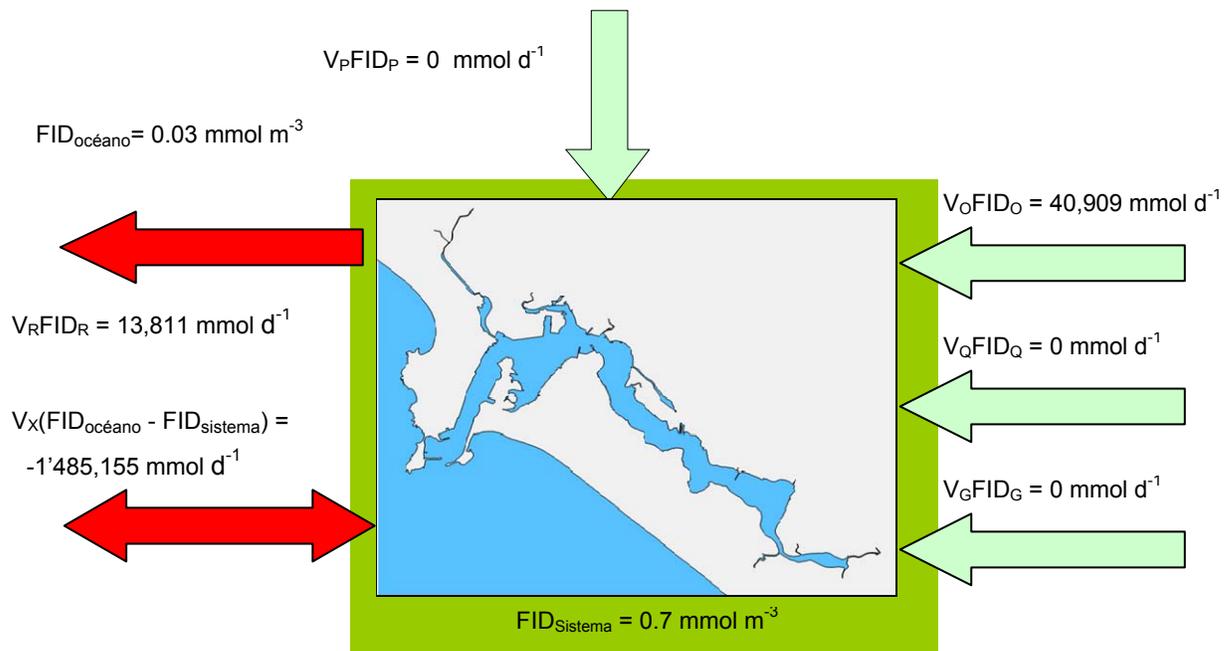


Figura 20. Diagrama ilustrativo del balance de FID en el estero de Urías para la época de secas frías.

#### 6.1.4.4 Estimaciones estequiométricas de MNE y ( $N_{fij} - N_{desnit}$ )

El sistema estero de Urías durante la época de secas frías presenta una producción primaria de  $0.15 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  y una desnitrificación de nitrógeno de  $0.0118 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$  (Tablas 3 y 4).

Para esta época el sistema es levemente autotrófico sin posibilidades de tener una tendencia a eutrofizarse debido a que la producción primaria estimada excede a la respiración en cantidades menores. Por su parte se observa un metabolismo del nitrógeno autotrófico en cuanto al balance ( $N_{fij} - N_{desnit}$ ), siendo el nitrógeno un nutriente importante en la producción primaria del sistema.

Teniendo de referencia los anteriores datos, durante este periodo el sistema se encuentra en buen estado ambiental, por lo que no se encuentra a su capacidad de carga.

**Tabla 3.** Datos de estimaciones de MNE en el estero de Urías para la época de secas frías.

<b>METABOLISMO NETO DEL ECOSISTEMA</b>		
$(p-r)=\Delta FID*(C:P)$	151'626,069	mmol C $\text{d}^{-1}$
	12.1	mmol C $\text{m}^2 \text{ d}^{-1}$
$(p-r)=-\Delta FID*(C:P) / \text{superficie}_{\text{sistema}}$	0.15	gr C $\text{m}^2 \text{ d}^{-1}$

**Tabla 4.** Datos de estimaciones del balance ( $N_{fij} - N_{desnit}$ ) en el estero de Urías para la época de secas frías.

<b>BALANCE (<math>N_{fij} - N_{desnit}</math>)</b>		
$\Delta NID_{\text{estimado}}$	22'886,954	mmol $\text{d}^{-1}$
$\Delta NID_{\text{obs}}$	25'272,538	mmol $\text{d}^{-1}$
$(N_{fij} - N_{desnit})$	2'385,584	mmol $\text{d}^{-1}$
	0.190	mmol $\text{m}^2 \text{ d}^{-1}$
$(N_{fij} - N_{desnit}) / \text{superficie}_{\text{sistema}}$	0.0118	gr $\text{m}^2 \text{ d}^{-1}$

## 6.2 Secas cálidas (junio del 2011)

### 6.2.1 Variables de campo

#### 6.2.1.1 Temperatura

Los valores de temperatura para la época de secas cálidas, se incrementaron de manera muy notoria en comparación a los de secas frías.

En las estaciones pertenecientes al océano, los valores se encontraron entre los  $30.00 \pm 0.01$  y  $30.07 \pm 0.01$  °C, en tanto para las estaciones que abarcan el sistema estero de Urías los valores de temperatura oscilaron entre 30.18 y 37.09 °C, encontrándose los valores más bajos en las estaciones más cercanas a la boca del estero de Urías y temperaturas más cálidas en las estaciones que se encuentran en la parte media y cabeza del estero de Urías (Fig. 21). Dentro de estas estaciones la estación perteneciente a la boca del estero de Urías fue la que presentó la menor temperatura ( $30.18 \pm 0.01$  °C) y la estación ubicada en el canal de agua caliente de la termoeléctrica la de mayor temperatura ( $37.09 \pm 0.35$  °C).

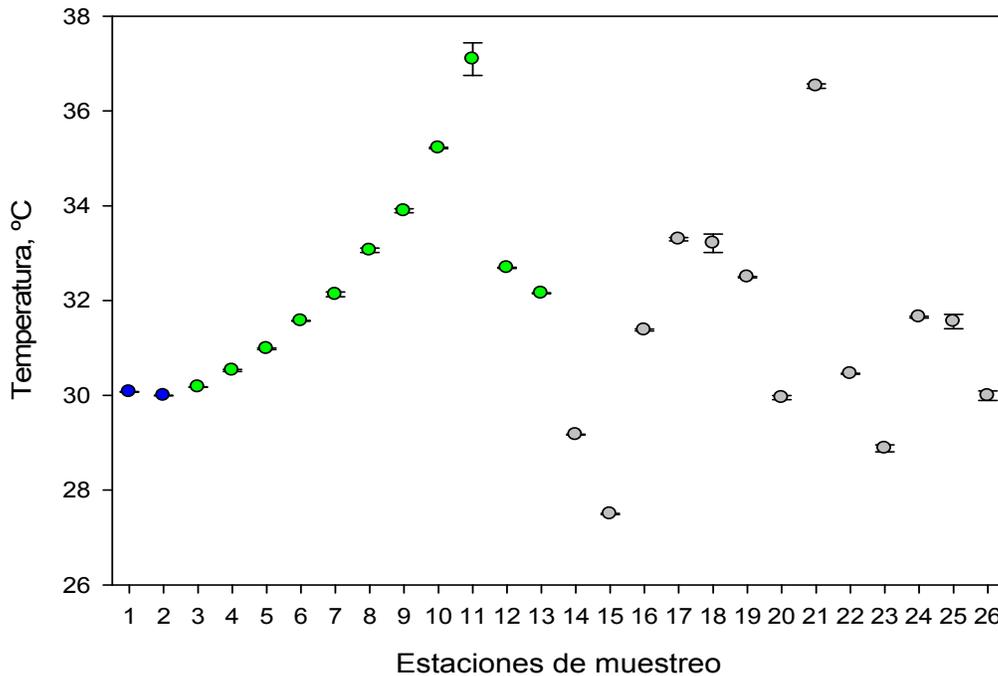
Esta variación de temperaturas entre las estaciones del sistema de debe a que las que se encuentran en la parte media y cabeza del estero de Urías presentan menores profundidades comparadas a las estaciones que se encuentra cerca de la boca del estero de Urías, por lo tanto la incidencia de radiación solar es más fuerte en las primeras, lo que provoca un aumento en las temperaturas de estas estaciones. Además de la radiación solar, el aumento de temperatura en las estaciones cercanas a la cabeza del sistema también se debe a la influencia del canal de agua de agua caliente de la termoeléctrica.

Ochoa (1999), para el caso del estero de Urías obtuvo valores de temperatura para el mes de junio que oscilaron entre los 30.2 y 32.00 °C, valores más bajos respecto a

los del presente trabajo, atribuyendo esas diferencias a las temperaturas ambientales, las cuales influyeron en los muestreos durante los dos trabajos.

Pérez (2007) en su trabajo sobre determinación de variables fisicoquímicas encontró valores de temperatura superficial en el océano para el mes de junio de 29.2 °C y entre 30.9 y 44.1 °C para las estaciones del puente Juárez y entrada y salida de la termoeléctrica, que en comparación con este estudio se encuentran bajos en 1° C en el océano y valores dentro del intervalo reportado por este autor para el sistema.

En lo que respecta a los drenes que desembocan al estero de Urías la temperatura osciló entre los 27.5 y 36.5 °C, encontrándose la temperatura más alta en las estación ubicada en canal de la Col. Francisco I. Madero II y la temperatura más baja en la estación perteneciente al arroyo donde descarga la PTAR El Castillo



**Figura 21.** Temperatura promedio y desviación estándar para la época de secas cálidas (junio, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-26 (drenes).

### 6.2.1.2 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto, en la época de secas cálidas al igual que en secas frías, tuvo un comportamiento contrario al de temperatura en las estaciones que abarcan el océano y el sistema, encontrándose los valores más altos en las estaciones pertenecientes al océano ( $6.87 \pm 0.02$  y  $6.88 \pm 0.01$  mg L<sup>-1</sup>) y los valores más bajos en las estaciones situadas en el estero de Urías ( $3.62$ - $6.84$  mg L<sup>-1</sup>).

Dentro de las estaciones del sistema se observa que las estaciones más cercanas a la cabeza del estero presentan valores de oxígeno disuelto menores en comparación con los valores de las estaciones más cercanas a la boca del estero, siendo la estación localizada en el estero del Infiernillo la de mayor oxígeno disuelto con  $6.84 \pm 0.16$  mg L<sup>-1</sup> y la estación ubicada en el estero de Urías la de menor con  $3.62 \pm 0.02$  mg L<sup>-1</sup> (Fig. 22).

Este comportamiento contrario al de la temperatura, es debido a que en las estaciones del océano, las aguas son más frías siendo más ricas en oxígeno. Se observa una baja de oxígeno disuelto considerable en comparación a los valores presentados para el mismo océano en el periodo de secas frías, esto debido al aumento de temperatura ocurrido entre las dos épocas.

Por otro lado, las estaciones pertenecientes a la cabeza del sistema presentaron niveles más bajos de oxígeno disuelto que las ubicadas cerca de la boca del estero. Este comportamiento se debe a diversos factores; uno de ellos es la temperatura del agua, cuando se incrementa la temperatura del agua se presenta una disminución en la solubilidad de gases, especialmente en los niveles de oxígeno disuelto. El segundo factor son las descargas de agua por parte de los drenes localizados en la zona de la cabeza del estero, la cual traen consigo aguas pobres en oxígeno.

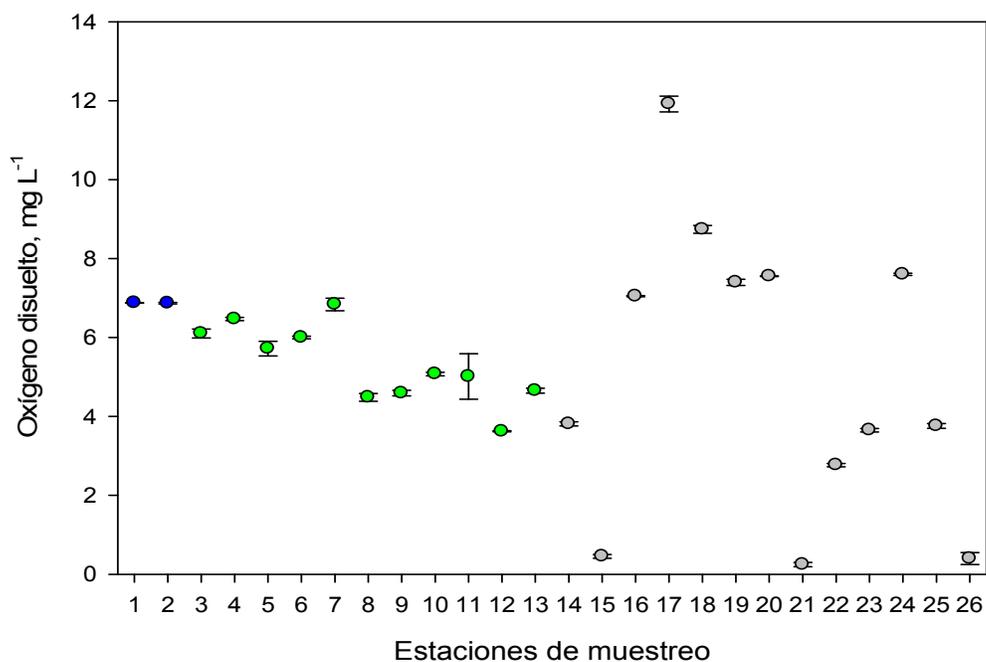
Estos resultados comparados con los obtenidos con Ochoa (1999), donde obtuvo valores dentro de un intervalo de  $1.63$  y  $6.67$  mg L<sup>-1</sup>, son valores que se encuentran

dentro de ese rango de valores, aunque el rango manejado para el valor mínimo es mayor en este trabajo ( $3.62 \text{ mg L}^{-1}$ ), siendo la única diferencia la cantidad de estaciones muestreadas.

Por su parte, Pérez (2007), durante el mes de Junio obtuvo valores de oxígeno disuelto de 3.5 y entre 1.7 y  $4.3 \text{ mg L}^{-1}$  para el océano y sistema respectivamente, mostrando valores más bajos en comparación al presente estudio, siendo las estaciones del puente Juárez y de la salida y entrada de la termoeléctrica las estaciones que se muestrearon y compararon solamente.

De la Lanza (1994) señala que en los sistemas lagunares y estuarinos los niveles de oxígeno son determinados por la respiración y la fotosíntesis, con variantes locales como las características geomorfológicas y de circulación

En cuanto a los valores de oxígeno disuelto en los drenes, los valores fueron muy variables, encontrándose dentro de un intervalo entre  $0.25\text{-}11.92 \text{ mg L}^{-1}$ , en donde la estación perteneciente al canal de la Col. Tierra y Libertad presenta los valores de oxígeno más elevados y la estación del canal de col. Francisco I. Madero II la de menor concentración.



**Figura 22.** Oxígeno disuelto promedio y desviación estándar para la época de secas cálidas (junio, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-26 (drenes).

### 6.2.1.3 pH

Durante la época de secas cálidas, en el caso de la variable pH, los valores se comportaron de manera similar al oxígeno disuelto, encontrándose los valores máximos en las estaciones del océano ( $8.19 \pm 0.01$ ) y valores menores en el sistema ( $7.74$ - $8.14$ ).

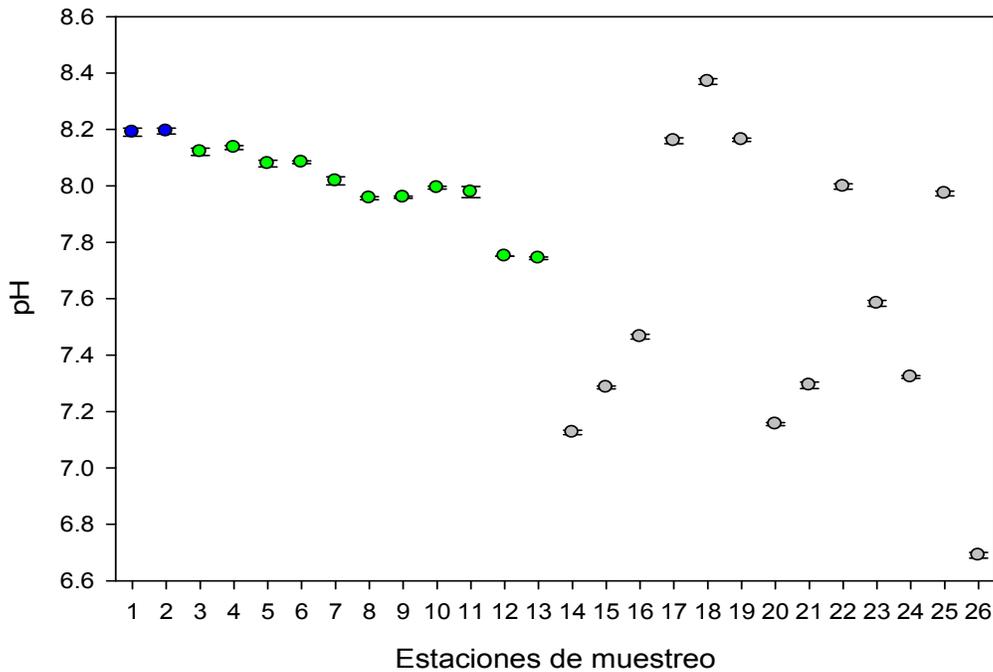
Dentro del sistema se puede observar que al igual que con el oxígeno disuelto las estaciones más cercanas a la cabeza del estero de Urías presentan valores más bajos en comparación con las estaciones más cercanas a la boca del estero de Urías, destacando la estación ubicada en el canal de navegación frente a PEMEX como la de mayor pH con  $8.14 \pm 0.01$  y la perteneciente a la cabeza del estero de Urías como la de menor pH con  $7.74 \pm 0$  (Fig. 23).

En general, si hay una diferencia en el pH en las estaciones del sistema, debido principalmente a que las estaciones ubicadas en la parte media y cabeza del estero de Urías se encuentran influenciada por la carga orgánica proveniente de los drenes que desembocan en esas estaciones, que sumado al tiempo de recambio de agua mucho mayor en esas zonas del sistema que en el cuerpo principal la materia orgánica se concentra, además en menor medida a los aportes antropogénicos, como es el caso del estero del Infiernillo, la cual para el proceso de degradación de carga orgánica, las aguas tienden a acidificarse.

Los valores de pH medidos en el presente estudio se comportaron de manera similar para el mismo sistema y misma época con los reportados por Maldonado *et al.* (1980), registrando valores de 8.

De la misma manera, los valores de pH registrados de este trabajo son similares en comparación a los reportados por Pérez (2007) para el mismo mes en la superficie del océano (8.20) y valores más bajos, aunque no tan marcados en el sistema (8.2-8.4), siendo la diferencia los aportes de materia orgánica provenientes de los drenes y zonas industriales desarrolladas en los alrededores del sistema, los cuales acidifican las aguas, como en el caso del presente de estudio, donde el crecimiento urbano es mayor en comparación de hace tres años.

Por otra parte, en cuanto a los drenes que desembocan el estero de Urías, los valores de pH tuvieron mucha variación, abarcando valores que van desde los 6.69 a 8.37, siendo el valor mínimo en la estación de la descarga del CETMAR y el más alto presentado en la estación del Arroyo Jabalines.



**Figura 23.** pH promedio y desviación estándar para la época de secas cálidas (junio, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-26 (drenes).

#### 6.2.1.4 Salinidad

La variable de salinidad, en la época de secas cálidas, se comportó de manera similar a la época de secas frías, siendo poca la diferencia entre las salinidades del océano y el sistema. La salinidad promedio fue de  $35.00 \pm 0.01$  UPS para las estaciones del océano y  $36.60 \pm 0.01$  UPS para las estaciones del estero de Urías.

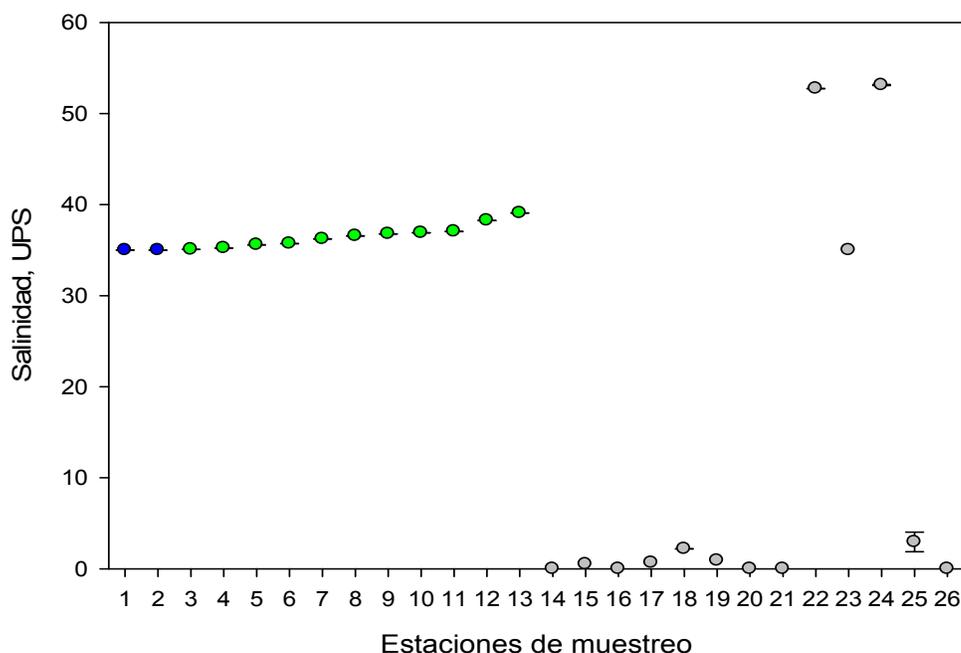
Dentro de las estaciones que abarcan el sistema, se observó que el sistema al igual que en el periodo representativo de secas frías se comporta como antiestuario, alcanzando las salinidades máximas en las estaciones ubicadas en la cabeza del estero de Urías y las menores en las ubicadas cerca de la boca del estero.

La explicación a lo anterior se debe a que conforme las estaciones están más alejadas de la boca del estero, los valores de salinidad aumentan debido a las diferencias

en profundidad entre las estaciones, disminuyendo conforme se adentra al sistema en el canal de navegación, donde la salinidad es mayor en la cabeza del estero y menor en la boca del estero. Además, los niveles de evaporación para este periodo ( $6.27 \text{ mm d}^{-1}$ ) juegan un papel muy importante en la salinidad del sistema, alcanzando incluso salinidades más altas que en el periodo de secas frías (Fig. 24).

Los valores de salinidad resultantes para el sistema son diferentes comparados con los del estudio de Pérez (2007) donde obtuvo salinidades de 37 UPS en el océano y entre 38 y 41 UPS en el sistema, atribuyendo las altas salinidades a la ubicación de sus estaciones, cercanas a la termoeléctrica en la región media interna del sistema lagunar, y por tanto tiene menor circulación y mezcla con el agua de origen marino, predominando la evaporación sobre los procesos de mezcla, de dilución con aportes continentales (Álvarez y Ramírez, 1977).

Por otro lado, la mayoría de los drenes con excepción de los drenes acuícolas tuvieron salinidades menores a 1 UPS, siendo las estaciones del arroyo Jabalines ( $2.18 \pm 0.01$  UPS) y la descarga de Maz Industrial ( $2.94 \pm 1.07$  UPS) las únicas por encima de este valor. En el caso de los drenes acuícolas las salinidades alcanzaban hasta valores por encima de los 50 UPS, con excepción de la UPA col. El Castillo, donde se alcanzó una salinidad de  $35 \pm 0$  UPS. Estas salinidades atribuidas a la evaporación del agua de las UPA, las cuales toman agua del estero necesaria para su funcionalidad durante todo el proceso de producción del camarón.



**Figura 24.** Salinidad promedio y desviación estándar para la época de secas cálidas (junio, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-26 (drenes).

## 6.2.2 Variables químicas

### 6.2.2.1 NID

Dentro de la época de secas cálidas, en general el nitrógeno fue más abundante que el fósforo en forma disuelta inorgánica en todas las estaciones de muestreo, excepto en los drenes de UPA.

En cuanto al NID los valores promedios fueron de  $1.528 \pm 0.174$ ,  $6.346 \pm 0.275$  y  $920.050 \pm 0.265 \text{ mmol m}^{-3}$  para el océano, sistema y drenes respectivamente.

En lo que respecta a las estaciones del océano la forma química con mayor aporte fueron los nitratos y la de menor fueron los nitritos.

En contraparte, en el sistema los resultados en cuanto a las formas químicas presentes fueron diferentes que en el océano, siendo el amonio el nutriente con mayor

abundancia en la mayoría de las estaciones y nitritos el de menor presencia. Dentro del sistema, la estación ubicada en el canal de navegación frente a PINSA fue donde se presentó la mayor concentración de NID con  $13.012 \pm 0.413 \text{ mmol m}^{-3}$ , y la estación localizada en el canal de navegación frente a PEMEX la menor concentración con  $1.976 \pm 0.017 \text{ mmol m}^{-3}$  (Fig. 25).

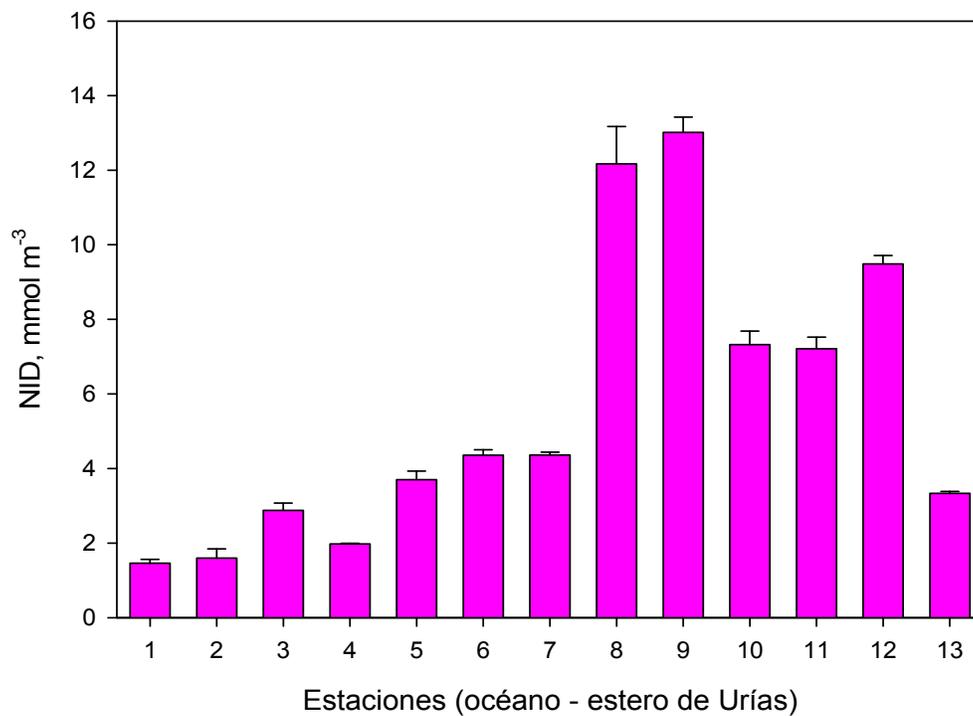
En esta época, el sistema tiene un comportamiento diferente con respecto a la época de secas frías, siendo las estaciones más cercanas a la cabeza del estero las que presentan valores de NID más elevados en comparación a las cercanas a la boca del estero. Esto puede ser atribuido a que durante esta época, los drenes localizados cerca de las estaciones anteriormente mencionadas, tienen un efecto sobre ellas al momento de descargar sus volúmenes de agua hacia el sistema, sobretodo por el incremento del flujo de agua con dirección al sistema en esta época, el cual es mucho mayor en la mayoría de los drenes.

Tomando en base que las UPA estaban empezando a operar, no se observó que estas afectaran los niveles de estos nutrientes en el sistema. También se observó la presencia de algas, las cuales pudieran estar consumiendo los nutrientes presentes en el estero de Urías, encontrándose menos NID durante este periodo que en el representativo de secas frías.

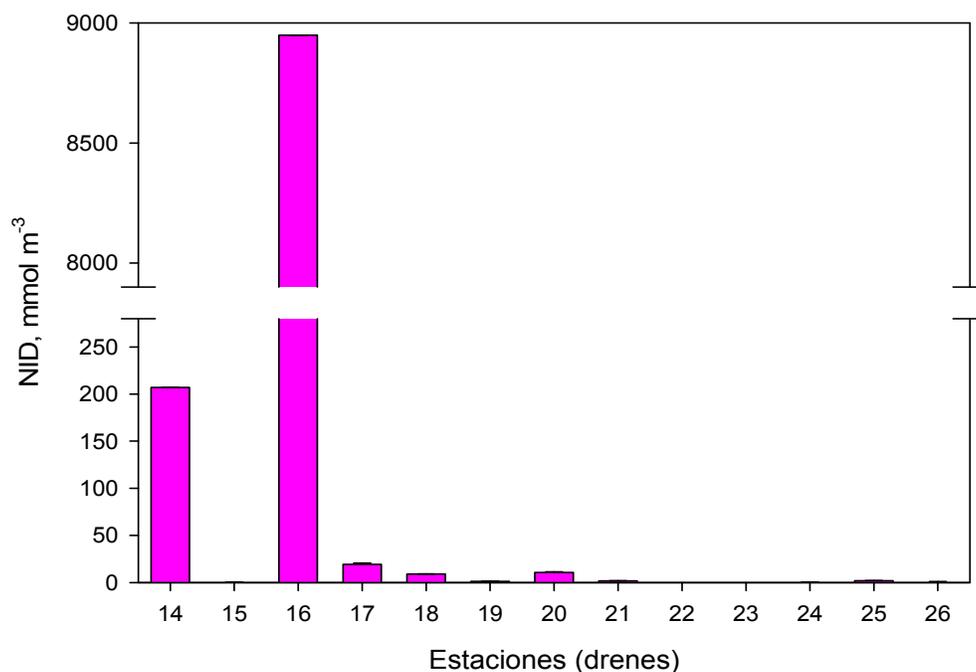
Para esta época, solo las estaciones pertenecientes a la boca del estero de Urías, canal de navegación frente a PEMEX, canal de navegación frente al embarcadero de la Isla de la Piedra, así como la estación de la cabeza del estero de Urías no sobrepasan el límite de NID en agua establecido en los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua (1989) de  $3.71 \text{ mmol m}^{-3}$ .

Contreras *et al.* (1996), encontraron que el promedio encontrado en lagunas costeras es entre 5 y  $10 \text{ mmol m}^{-3}$ , valores encontrados para NID en este trabajo.

Por otra parte, en lo que respecta a los drenes en general el orden de presencia de nutrientes varió, encontrándose los nitratos en mayor proporción en algunos drenes y en otros el amonio era el nutriente con mayor presencia. Dentro de los drenes, al igual que en la época de secas frías, la estación 16 ubicada en la descarga PTAR Fracc. Santa Fé presenta el valor máximo de NID con  $8948.124 \pm 0.212 \text{ mmol m}^{-3}$  y el valor mínimo en la estación 22 ubicada en la descara de la UPA Rancho El Abezal con  $0.003 \pm 0 \text{ mmol m}^{-3}$  (Fig. 26).



**Figura 25.** Variación de NID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo del océano y sistema para la época de de secas cálidas (junio, 2011).



**Figura 26.** Variación de NID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo de los drenes que desembocan al estero de Uriás para la época de secas cálidas (junio, 2011)

#### 6.2.2.2 FID

Los valores promedios de FID fueron de  $0.984 \pm 0.043$ ,  $2.225 \pm 0.185$  y  $9.220 \pm 0.161$   $\text{mmol m}^{-3}$  para el océano, sistema y drenes respectivamente, dentro de la época de secas cálidas.

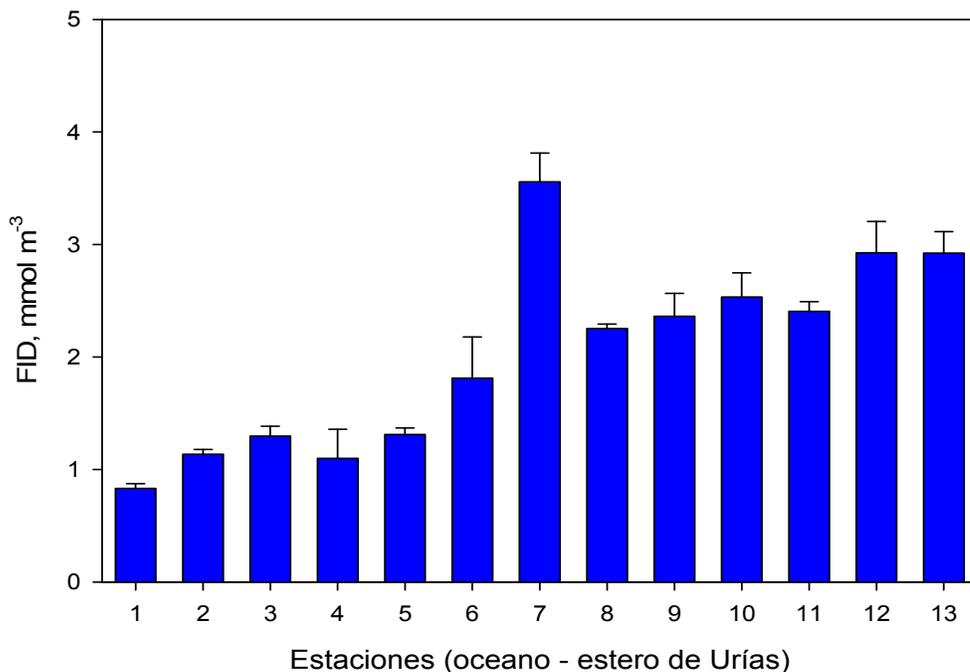
En lo que respecta al FID en el sistema, al igual que en secas frías la estación 7 ubicada en el estero de infiernillo se mantiene como la de mayor concentración con  $3.557 \pm 0.225$   $\text{mmol m}^{-3}$  y las estación perteneciente al canal de navegación frente a PEMEX la de menor concentración con  $1.1 \pm 0.258$   $\text{mmol m}^{-3}$  (Fig. 27). Lo anterior se debe a que el FID se observan valores más altos en las estaciones cercanas a la cabeza del estero porque esta zona del sistema se encuentra afectada por los aportes de nutrientes

provenientes de los drenes que desembocan al estero, así como de la actividad antropogénica, que en el caso del estero del Infiernillo se nota más marcado.

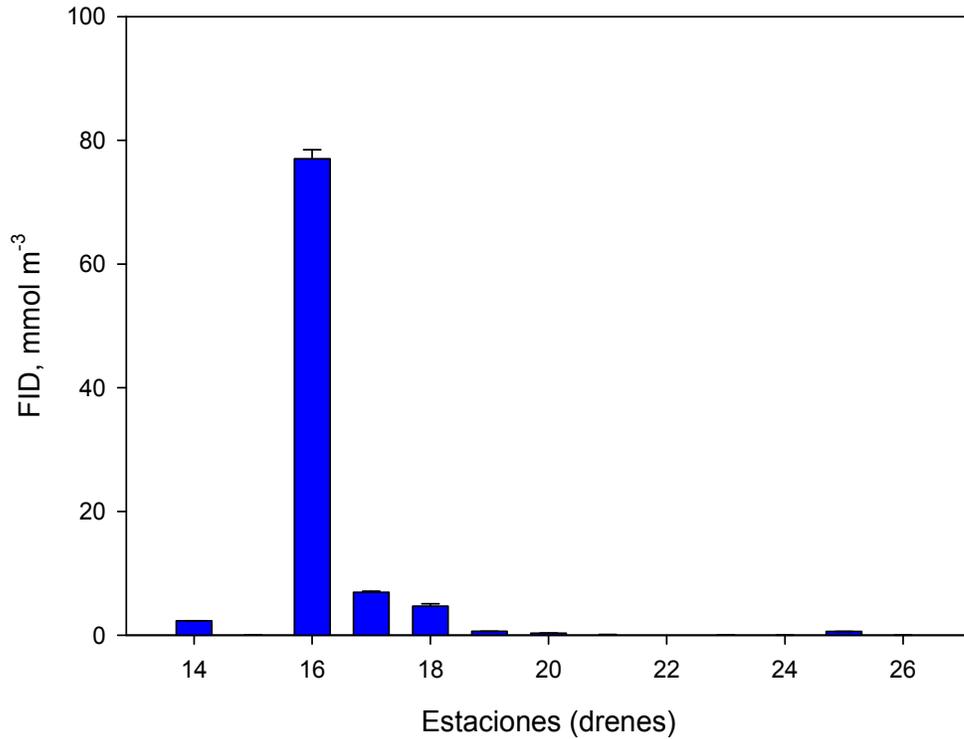
Para esta época, todas las estaciones del sistema se encuentran por encima del valor establecido en los Criterios Ecológico de Calidad de Agua para ortofosfatos de  $0.065 \text{ mmol m}^{-3}$  (DOF, 1989).

Contreras *et al.* (1996) mostraron que el promedio de FID en lagunas costeras es de entre  $0.01$  y  $5 \text{ mmol m}^{-3}$ , coincidiendo con lo reportado para esta época.

En cuanto a los drenes, se presenta la misma situación del NID para el fósforo disuelto inorgánico, donde la estación de la descarga PTAR Fracc. Santa Fé y la descarga UPA Rancho El Abezal son la de mayor y menor concentración con  $77.015 \pm 1.468$  y  $0.004 \pm 0 \text{ mmol m}^{-3}$  (Fig. 28). Los altos niveles mantenidos tanto de NID como de FID en la descarga de PTAR Fracc. Santa Fe para esta época al igual que en secas frías es debido al deficiente o nulo tratamiento que se le da a la planta de aguas residuales.



**Figura 27.** Variación de FID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo del océano y sistema para la época de secas cálidas.



**Figura 28.** Variación de FID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo de los drenes que desembocan al estero de Urías para la época de secas cálidas.

### 6.2.3 Cálculo de flujos de agua

El volumen total de agua estimado de todos los drenes en la época de secas cálidas fue de 7,916 m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup>, valor que fue utilizado en los balances biogeoquímicos. Los cálculos se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5.** Datos de flujos de agua para cada dren para la época de secas cálidas.

<b>Estación</b>	<b>Flujo de agua (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>)</b>
14. Descarga PTAR Unidad Habitacional 23 de Noviembre	217.1
15. Arroyo donde descarga la PTAR El Castillo	1.3
16. Descarga PTAR del fracc. Santa Fé	3960.0
17. Canal de la Col. Tierra y Libertad	702.0
18. Arroyo Jabalines	1780.6
19. Canal de la Col. Juárez	281.7
20. Canal de la Col. Francisco I. Madero	927.6
21. Canal de la Col. Francisco I. Madero II	2.5
22. UPA Rancho El Abezal	322.9
23. UPA col. El Castillo	3038.6
24. UPA Barrón	53218.6
25. Maz Industrial	43.2
26. CETMAR	0.7
27. UPA Crustáceos del Castillo	14325.3
28. UPA Don Jorge	117204.2

## 6.2.4 Modelos biogeoquímicos

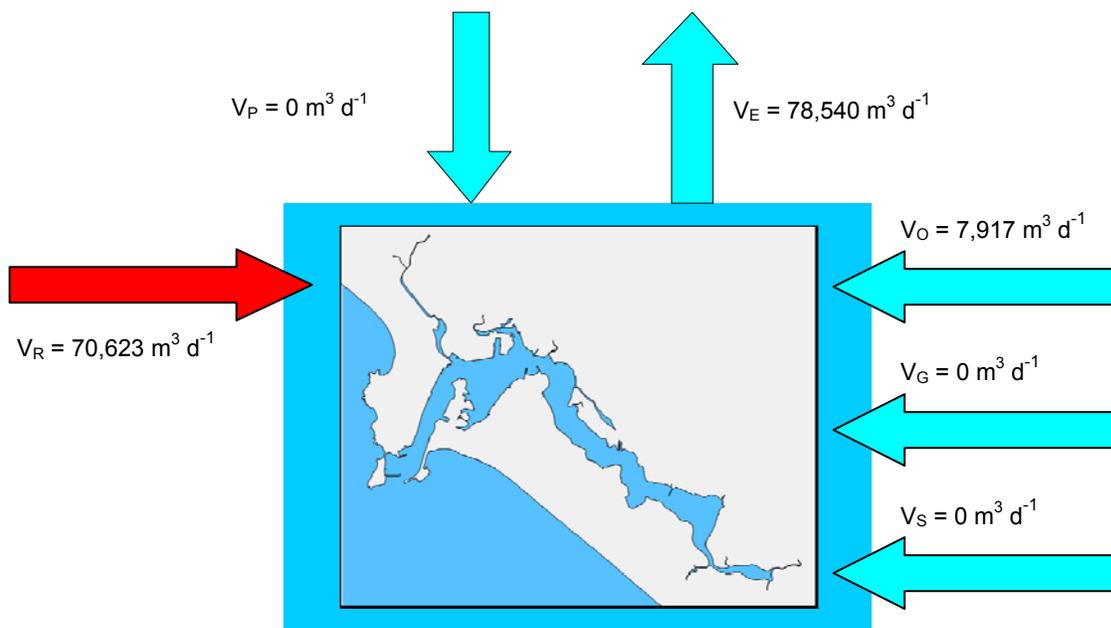
### 6.2.4.1 Balance de agua

El sistema recibe volúmenes de agua principalmente provenientes de los efluentes de UPA en una cantidad de 188,110 m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup>, sin embargo, debido a que hay una recirculación de agua en este tipo de drenes, el flujo de agua proveniente de las UPA se toma como 0. Además, el estero de Urías recibe un flujo de agua de otros drenes, principalmente del arroyo Jabalines y la descarga de PTAR del fraccionamiento Santa Fé en una cantidad total estimada en 7,917 m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup>. Las pérdidas de agua por evaporación son de 78,540 m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup>, volumen calculado de la información de evaporación del SMN-

CONAGUA para el mes de junio multiplicado por la superficie del sistema. El volumen aportado por aguas subterráneas se asume como 0 debido a que el aporte de flujo de agua subterráneo para esta época es despreciable, debido a la ausencia de precipitación.

Existe un volumen de flujo residual calculado de  $70,623 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$  proveniente del océano hacia el estero de Urías, por lo tanto existe entrada de agua del océano al sistema, esto para mantener el volumen de agua constante en el sistema. La elaboración del balance de agua se observa en la figura 29.

Los resultados anteriores son diferentes a los obtenidos para otras lagunas y cuerpos costeros en Sinaloa desarrollados por Lechuga *et al.* (2003) en el periodo de estiaje, como es el caso de la Bahía de Navachiste y Laguna Huizache-Caimanero, en estos sistemas, el flujo residual indica que el océano aporta agua hacia estos sistemas para compensar las pérdidas de agua. Esta situación se da porque los niveles de evaporación en el sistema son mayores a los flujos de entrada al sistema como en el caso de la Bahía de Navachiste y laguna Huizache-Caimanero, donde los aportes por efluentes de UPA y/o agrícolas son menores a los de evaporación.

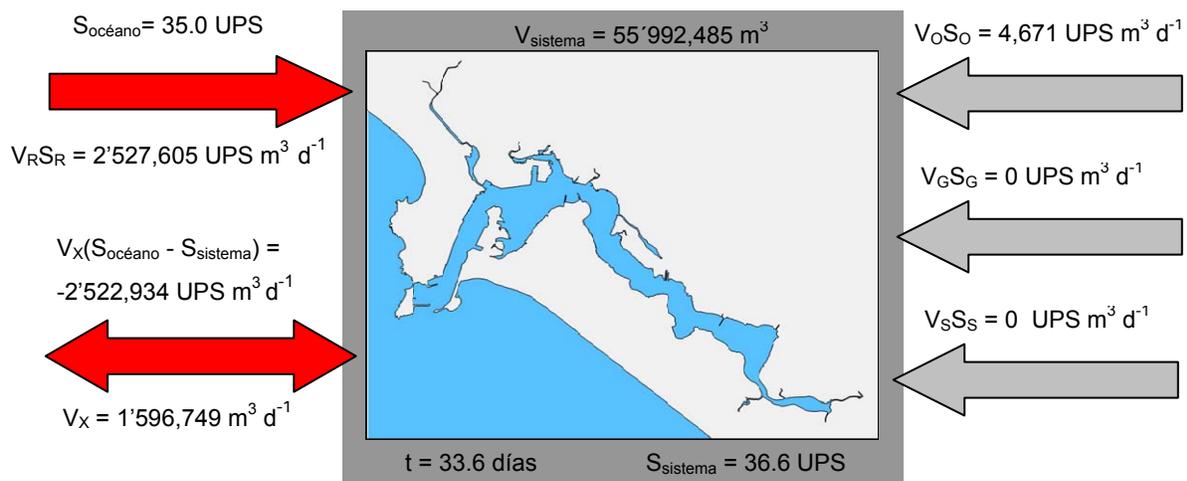


**Figura 29.** Diagrama ilustrativo del balance de agua en estero de Urías para la época de secas cálidas.

### 6.2.4.2 Balance de sal

La salinidad proveniente de los drenes es de 0.6 UPS, calculándose un flujo de salinidad asociado a los drenes de  $4,671 \text{ UPS m}^3 \text{ día}^{-1}$ . Para el caso de las UPA, la salinidad es de 47 UPS, sin embargo, el flujo de salinidad asociado al flujo de entrada de volúmenes de agua al sistema de las UPA es de  $0 \text{ UPS m}^3 \text{ día}^{-1}$ , esto causado porque el flujo de agua de las UPA es recirculada, por lo que se considera como 0 y en el caso de las aguas subterráneas el flujo de salinidad es de 0, debido a la que los datos de flujos de aguas subterráneas se asumieron como 0 para esta época.

El flujo de salinidad asociado al flujo residual se estimó en  $2'527,605 \text{ UPS m}^3 \text{ día}^{-1}$ , mientras que el flujo de salinidad asociado al intercambio de agua entre el océano y el sistema fue de  $2'522,934 \text{ UPS m}^3 \text{ día}^{-1}$ . El sistema intercambia por acción de mareas y corrientes un volumen de mezcla de agua con el océano de  $1'596,749 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ . Con base a estos volúmenes calculados el tiempo de recambio de agua para todo el sistema en secas cálidas es de 33.6 días, El balance de sal completo para el sistema del estero de Urías se observa en la figura 30.



**Figura 30.** Diagrama ilustrativo del balance de sal en el estero de Urías para la época de secas cálidas.

#### 6.2.4.3 Balance de nutrientes

##### a) NID

Los resultados obtenidos durante el periodo de secas cálidas, muestran que el océano y el estero de Urías tienen una NID promedio de 1.5 y 6.3 mmol m<sup>-3</sup>.

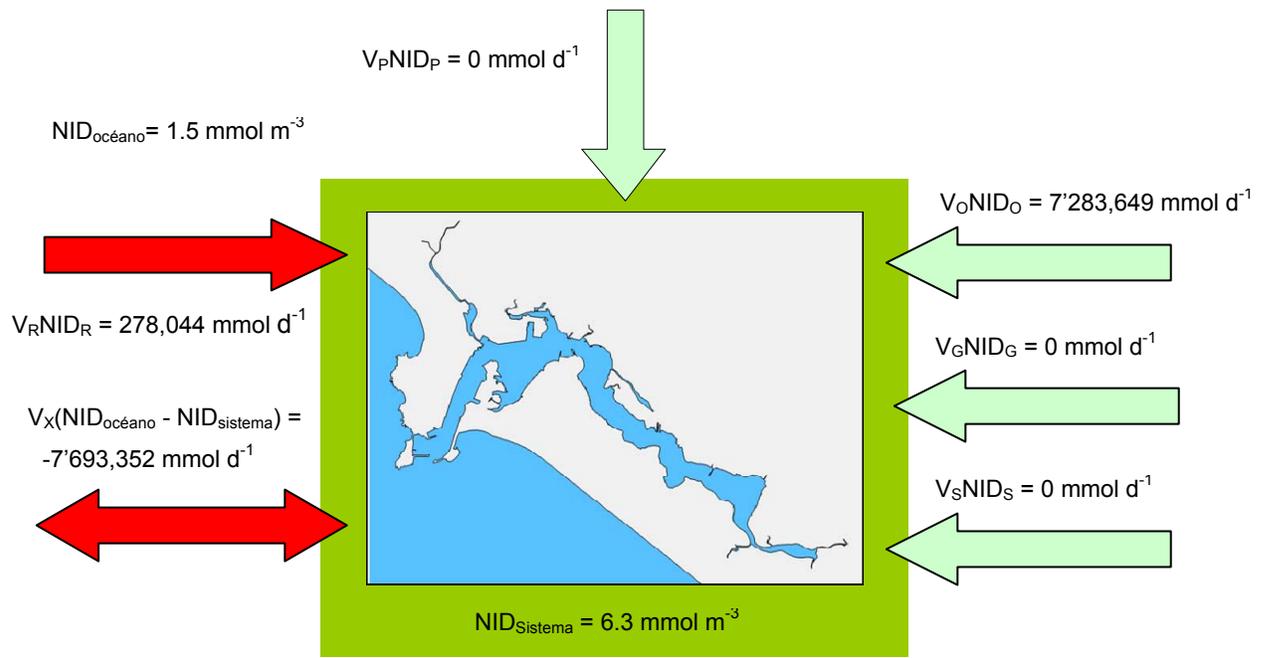
El sistema recibe un flujo de NID asociado a los drenes de 7'283,649 mmol d<sup>-1</sup>, los cuales equivalen a 0.5 ton d<sup>-1</sup> de NID. El flujo de NID asociado a las granjas acuícolas es de 0 mmol d<sup>-1</sup>, debido a que no se tomaron en cuenta los flujos de entrada de agua al sistema por la circulación de la misma en las UPA. Los flujos de nutrientes por parte de las aguas subterráneas y precipitación se asumen como 0 debido a los datos de flujos de aguas subterráneas se asumieron como 0 y en el caso de la precipitación debido a la ausencia de estos flujos durante esta época.

Existe un flujo de NID asociado al flujo residual de 278,044 mmol d<sup>-1</sup> del océano hacia el sistema y el flujo de NID al intercambio de flujos de 7'693,352 mmol d<sup>-1</sup>.

En base a los resultados anteriores, se observa que el estero de Urías funciona como fuente de NID en una cantidad de 0.01 ton d<sup>-1</sup> en esta época del año. Lo anterior indica que el sistema exporta NID al océano por incremento de volumen de mezcla, presumiéndose que existe una producción de NID, probablemente, derivado de la oxidación efectiva de la materia orgánica en el sistema. El balance de NID para la época de seca cálidas se observa en la figura 31.

Comparando los resultados de nitrógeno para otros cuerpos de agua, Lechuga *et al.* (2003), donde mencionan que para la Bahía de San Ignacio en época de estiaje el sistema funciona como reservorio reteniendo 0.23 ton d<sup>-1</sup> de NID, no coincide con los resultados de este estudio en cuanto al balance de este nutriente. Mientras que en otros casos como la Bahía de Navachiste y laguna Huizache-Caimanero los sistemas se comportan como fuente de NID durante la época de estiaje exportando 4.9 y 0.45 ton d<sup>-1</sup>,

resultados similares en cuanto a que son fuente de nitrógeno hacia el océano. Los resultados diferentes en cuanto a nutrientes, se debe principalmente a las diferentes entradas de flujo de nutrientes en cada uno de los sistemas mencionados.



**Figura 31.** Diagrama ilustrativo del balance de NID en el estero de Urías para la época de secas cálidas.

b) FID

Durante secas cálidas, el estero de Urías tiene una concentración de FID de  $2.2 \text{ mmol m}^{-3}$ , mientras que el océano  $1.0 \text{ mmol m}^{-3}$ .

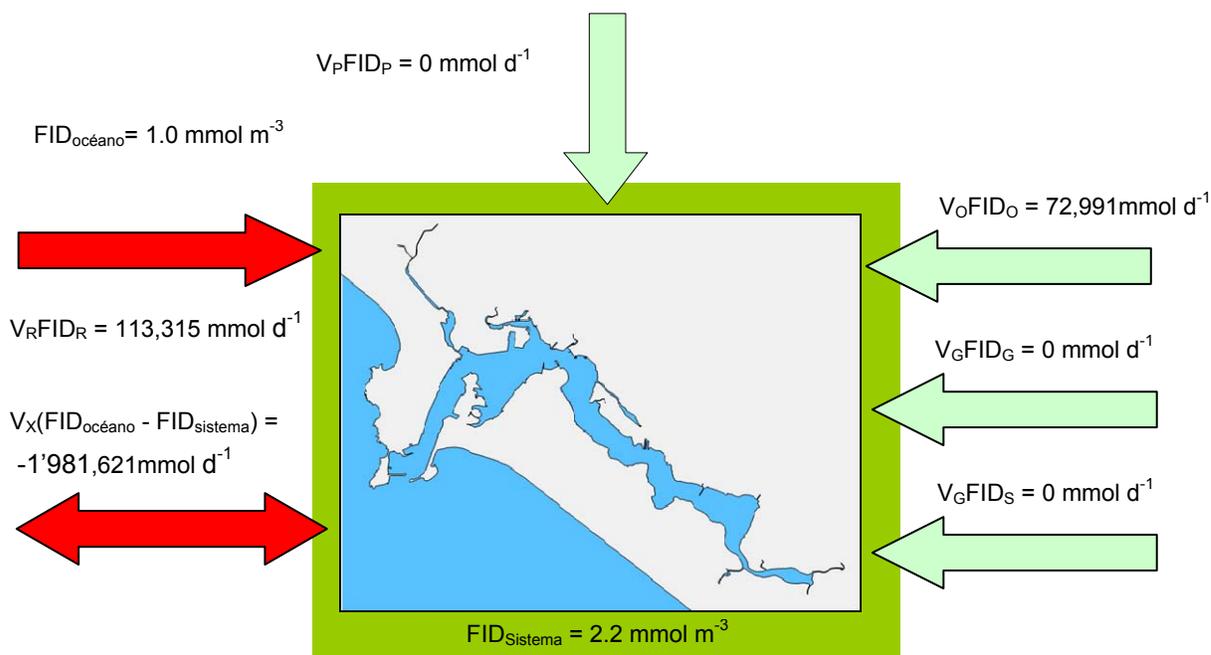
El sistema recibe  $0.01 \text{ ton d}^{-1}$  de FID para la misma época, proveniente de los principales drenes, estimándose un flujo de este nutriente asociado a los drenes de  $72,991 \text{ mmol d}^{-1}$ . El flujo de FID asociado a las granjas acuícolas es de  $0 \text{ mmol d}^{-1}$ , debido a que no se tomaron en cuenta los flujos de entrada de agua al sistema por la circulación de la misma en las UPA. Para el caso de los flujos de este nutriente de aguas subterráneas se asumen como 0 debido a los datos de flujos de aguas subterráneas se

asumieron como 0 y en el caso de la precipitación debido a la ausencia de estos flujos durante esta época.

Existe un flujo de FID asociado al flujo residual de  $113,315 \text{ mmol d}^{-1}$  del océano hacia el océano y el flujo de FID asociado al intercambio de flujos de agua entre el sistema y el océano de  $1'981,621 \text{ mmol d}^{-1}$ .

Se observa que el estero de Urías se comporta como fuente de FID en una cantidad de  $0.2 \text{ ton d}^{-1}$  en esta época del año, Lo anterior indica que el sistema exporta FID al océano por incremento de volumen de mezcla, presumiéndose que existe una producción de FID, probablemente, derivado de la oxidación efectiva de la materia orgánica en el sistema., tal como lo ilustra el balance de FID de la figura 32

Los cálculos anteriores comparados con otros resultados obtenidos sobre flujo de FID en los sistemas de Bahía de Navachiste, y laguna Huizache-Caimanero estudiados por Lechuga *et al.* (2003) son similares, ya que mencionan que tanto la Bahía de Navachiste, como la laguna Huizache-Caimanero se comportan como fuente de FID durante la época de estiaje exportando  $0.96$  y  $0.22 \text{ ton d}^{-1}$  hacia el océano respectivamente. Esto sugiere que los resultados en cuanto al flujo no conservativo de este nutriente pueden cambiar entre diferentes sistemas, principalmente por la diferencia entre los flujos de entrada de nutrientes en cada uno de los sistemas mencionados.



**Figura 32.** Diagrama ilustrativo del balance de FID en el estero de Urías para la época de secas cálidas.

#### 6.2.4.4 Estimaciones estequiométricas de MNE y ( $N_{fij} - N_{desnit}$ )

Durante la época de secas cálidas, en el estero de Urías, la producción primaria respiratorios exceden a los procesos respiratorios en  $0.2 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  y existe una desnitrificación de nitrógeno de  $0.1 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$  (Tablas 6 y 7).

Teniendo en cuenta los datos del MNE, el sistema tiene un metabolismo autotrófico. Por su parte, el metabolismo del nitrógeno para secas cálidas es heterotrófico, existiendo una mayor desnitrificación que fijación de nitrógeno, por lo tanto es un nutriente limitante en la producción primaria del sistema.

Durante esta época el sistema tiene un comportamiento autotrófico, todavía encontrándose por debajo de su capacidad de carga, pero no se descarta que algunas partes del estero de Urías, principalmente en la zona de la cabeza del sistema se encuentren eutrofizadas debido al incremento en el tiempo de recambio de agua total del sistema en comparación al obtenido en secas frías.

Estos resultados, comparados con algunos sistemas estudiados por Lechuga *et al.* (2003) durante la época de estiaje, es similar en cuanto a la estimación de MNE y diferente en el metabolismo del nitrógeno, tal es el caso de la Bahía Navachiste, el cual presenta una producción primaria de  $0.05 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  y una fijación de nitrógeno de  $0.02 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ , comportándose como un sistema autotrófico. En este trabajo se menciona también que existe un equilibrio entre producción primaria y respiración, sin embargo, la baja energía del sistema, evaluada por las relativas altas tasas de recambio de agua, pueden provocar una sedimentación de los aportes de nitrógeno y fósforo, llevando a la bahía a eutrofizarse durante esta época.

La misma conclusión anterior se establece para la Bahía Navachiste en un estudio desarrollado por los mismos autores, el cual presenta una producción primaria de  $0.05 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  y una fijación de nitrógeno de  $0.02 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ , comportándose como un sistema autotrófico, sugiriéndose que existe un equilibrio entre producción primaria y respiración, sin embargo, la baja energía del sistema, evaluada por las relativas altas tasas de recambio de agua, pueden provocar una sedimentación de los aportes de nitrógeno y fósforo, llevando a la bahía a eutrofizarse durante esta época.

Otro estudio, con diferentes condiciones y de los mismos autores, en la Bahía San Ignacio, estimaron que este sistema presenta una producción primaria de  $0.010 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  y una desnitrificación de nitrógeno de  $0.001 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ , concluyendo que durante el estiaje la Bahía de San Ignacio puede tender hacia un dominio de los procesos heterotróficos, causando una posible eutrofización en las áreas de menor energía al interior de esta bahía.

Por último, en otro estudio con características similares al estero de Urías, Lechuga *et al.* (2003) menciona que la laguna del Huizache-Caimanero presenta una producción primaria de  $0.04 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  y una fijación de nitrógeno de  $0.02 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ , concluyendo que se encuentra en buena capacidad ambiental durante el periodo de

estiaje, concordando con lo mencionado en este estudio, siendo los dos sistemas autotróficos.

**Tabla 6.** Estimaciones de MNE en el estero de Urías para la época de secas cálidas.

<b>METABOLISMO NETO DEL ECOSISTEMA</b>		
$(p-r) = \Delta FID^*(C:P)$	190'303,409	mmol C d <sup>-1</sup>
	15.2	mmol C m <sup>2</sup> d <sup>-1</sup>
$(p-r) = -\Delta FID^*(C:P) / \text{superficie}_{\text{sistema}}$	0.2	g C m <sup>2</sup> d <sup>-1</sup>

**Tabla 7.** Estimaciones del balance ( $N_{fij} - N_{desnit}$ ) en el estero de Urías para la época de secas cálidas.

<b>BALANCE (<math>N_{fij} - N_{desnit}</math>)</b>		
$\Delta NID_{\text{estimado}}$	28'725,043	mmol d <sup>-1</sup>
$\Delta NID_{\text{obs}}$	131,659	mmol d <sup>-1</sup>
$(N_{fij} - N_{desnit})$	-28'593,384	mmol d <sup>-1</sup>
	-2.3	mmol m <sup>2</sup> d <sup>-1</sup>
$(N_{fij} - N_{desnit}) / \text{superficie}_{\text{sistema}}$	-0.1	g m <sup>2</sup> d <sup>-1</sup>

## **6.3 Lluvias (septiembre del 2011)**

### 6.3.1 Variables de campo

#### 6.3.1.1 Temperatura

En base a los resultados obtenidos para esta variable de campo, durante el periodo de lluvias los valores de temperatura siguieron patrones similares al periodo de secas cálidas.

Para las estaciones pertenecientes al océano, los valores de temperatura se encontraron entre los  $31.64 \pm 0.02$  y  $31.75 \pm 0.01$  °C, aumentando ligeramente la temperatura en comparación de la época de secas cálidas.

En tanto, para las estaciones que abarcan el sistema estero de Urías, los valores de temperatura oscilaron entre los 31.65-33.94 °C, encontrándose las temperaturas más altas en las estaciones ubicadas en la parte media y cabeza del estero de Urías y temperaturas más bajas en las estaciones más cercanas a la boca del estero de Urías, registrándose el mínimo de temperatura en la estación de la boca del estero de Urías y la temperatura más alta en las estación ubicada en el estero del Infiernillo

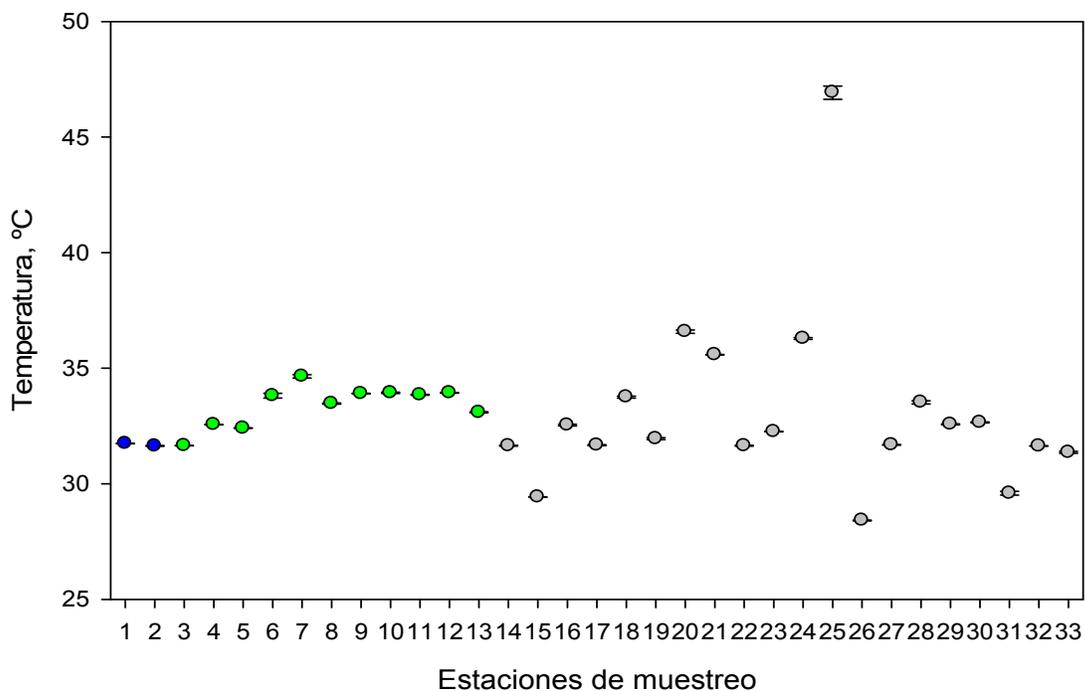
La variación de temperaturas entre las estaciones de muestreo, se debe a que las estaciones cuya localización se encuentra en la parte media y cabeza del sistema presentan menores profundidades comparadas a las estaciones cercanas a la boca del estero de Urías. Por esta razón, la incidencia de radiación solar provoca un aumento en las temperaturas de estas estaciones, así como a la influencia del canal de agua de agua caliente de la termoeléctrica y en menor contribución de los drenes ubicados en la parte de la cabeza del estero de Urías, entre los que se encuentran los drenes acuícolas.

Tomando en cuenta los datos obtenidos en este estudio, los valores de temperaturas concuerdan con lo mencionado por Pérez (1995), donde menciona que para

esta época el sistema alcanzó valores de temperatura que oscilaron entre 29 a 32 °C, valores de temperatura encontrados en ese intervalo en este estudio para la época de lluvias

Por otra parte, Ochoa (1999) para el mismo sistema, obtuvo valores de temperatura en la época de lluvias (agosto-septiembre) entre 29.9 y 30.8 °C, temperaturas ligeramente bajas en comparación a las de este estudio, donde la influencia de las condiciones climatológicas que ocurren cada año tienen una relación importante.

En tanto para los drenes que desembocan al estero de Urías, la temperatura aumentó un poco con respecto a la época de secas cálidas oscilando entre los 28.42 y 46.93 °C, encontrándose el valor más alto en las estación que abarca la descarga de Maz Industrial ( $46.93 \pm 0.28$ ) y el valor más bajo en la estación de la descarga del CETMAR ( $28.42 \pm 0.02$ ), tal y como se observa en la figura 33.



**Figura 33.** Temperatura promedio y desviación estándar para la época de lluvias (septiembre, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-33 (drenes).

### 6.3.1.2 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto al igual que en las épocas de secas frías y secas cálidas tuvo un comportamiento contrario al de la temperatura en las estaciones de muestreo para la época de lluvias. En el caso de las estaciones del océano, los valores oscilaron en un intervalo de  $6.50 \pm 0.01$  y  $6.59 \pm 0.01$  mg L<sup>-1</sup>. Durante esta época, se observa una disminución en la concentración de oxígeno disuelto en comparación a los valores presentados para las estaciones oceánicas en la época de secas cálidas, esto debido al aumento de la temperatura en lluvias.

En tanto para las estaciones que abarcan todo el sistema, los valores de oxígeno disuelto fueron diferentes, según la localización de las estaciones, siendo valores en el rango entre los 3.19-13.53 mg L<sup>-1</sup>. Al igual que en secas cálidas, se observa en el sistema, que las estaciones más cercanas a la cabeza del estero presentan valores de oxígeno disuelto menores en comparación con los valores de las estaciones más cercanas a la boca del estero. La estación ubicada en el estero del Infiernillo presenta los niveles más altos de oxígeno disuelto dentro del sistema ( $13.53 \pm 0.39$  mg L<sup>-1</sup>), mientras que la estación perteneciente a la cabeza del estero de Urías presenta el valor más bajo de esta variable con  $3.19 \pm 0.02$  mg L<sup>-1</sup>.

Este escenario mencionado anteriormente es atribuido a que en la estación del estero del Infiernillo se observó la presencia de algas en mayor cantidad en comparación de las épocas de secas, esto debido al aporte de nutrientes originados por el arrastre de aguas a través de la precipitación, entre los que se encuentra el aporte del arroyo Jabalines, el cual antes del periodo de muestreo se dragó, y a los escurrimientos terrestres, los cuales solo se presentan durante esta época (Fig. 34).

En el estero de Urías, las estaciones pertenecientes a la cabeza del sistema presentaron niveles más bajos de oxígeno disuelto en comparación a las estaciones más

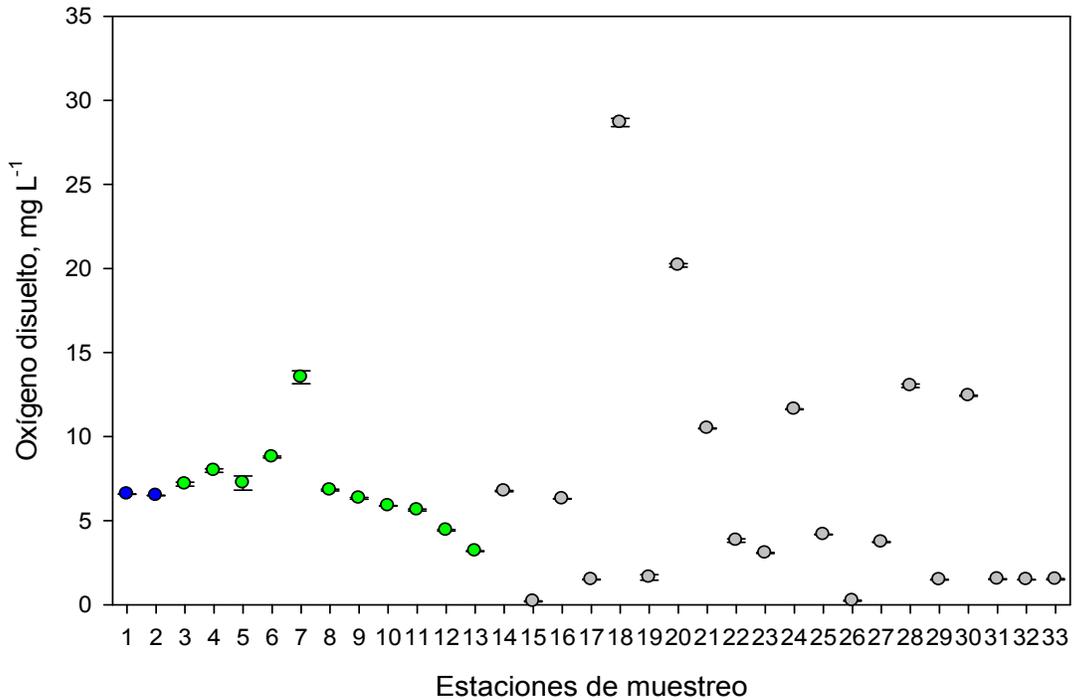
cercanas de la boca del estero, siendo el comportamiento similar al presentado en la época de secas cálidas, y el cual es explicado a diferentes factores. Uno de ellos es la temperatura del agua, cuando se dan aumentos en la temperatura del agua traen como consecuencia una disminución en la concentración de gases, especialmente en los niveles de oxígeno disuelto. Otro factor es el recambio de agua, siendo esa zona del cuerpo la de mayor tiempo y a las descargas de aguas por parte de los drenes localizados cerca de la cabeza del estero, la cual traen consigo aguas residuales pobres en oxígeno.

Villalba (1986) menciona que el sistema presenta valores superiores a  $2 \text{ mg L}^{-1}$  en todo el año, dando promedios anuales de 3 y  $4 \text{ mg L}^{-1}$ , valores consistentemente más bajos comparados con los obtenidos para la época de lluvias con un promedio de  $7 \text{ mg L}^{-1}$  y en donde solamente la estación perteneciente a la cabeza del estero de Urías se incluye dentro de esos valores.

En el caso del estudio de Ochoa (1999) menciona que los valores de oxígeno disuelto en el mes de septiembre, dentro de la época de lluvias, para las tres estaciones muestreadas en el estero de Urías se encuentran entre los 2.79 y  $4.16 \text{ mg L}^{-1}$ , registrando los valores más altos en la estación ubicada cerca de la boca del estero de Urías, como en el caso de este estudio. Sin embargo, los valores del presente estudio son concentraciones más elevadas. Esto puede explicarse debido al fuerte intercambio de agua dado entre el océano y el sistema en este estudio, en donde para esta época, el sistema hace el recambio de agua más rápido debido a que los flujos de agua provenientes a los alrededores del sistema son mayores como consecuencia de las precipitaciones y a que las mareas y corrientes son más rápidas, ocasionando que las aguas durante esta época sean aguas nuevas con altos niveles de oxígeno disuelto.

En cuanto a las estaciones pertenecientes a los drenes, los valores de oxígeno fueron muy variables, encontrándose valores dentro de un intervalo entre 0.20- $28.69 \text{ mg L}^{-1}$ , siendo la estación del arroyo Jabalines la de mayor concentración de oxígeno disuelto

presente ( $28.69 \pm 0.24$ ) y la del arroyo donde descarga la PTAR El castillo la de menor concentración ( $0.20 \pm 0.03$ ).



**Figura 34.** Oxígeno disuelto promedio y desviación estándar para la época de lluvias (septiembre, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-33 (drenes).

### 6.3.1.3 pH

En lluvias, el pH se comportó de manera general similar a las otras épocas encontrándose los valores máximos en las estaciones del océano ( $8.12 \pm 0.00$ ) y valores menores en el sistema (7.48-8.15).

Dentro del sistema, se observa que al igual que en la época de secas cálidas, las estaciones más cercanas a la cabeza del estero de Urías presentan valores más bajos comparadas con las estaciones más cercanas a la boca del estero de Urías, donde la

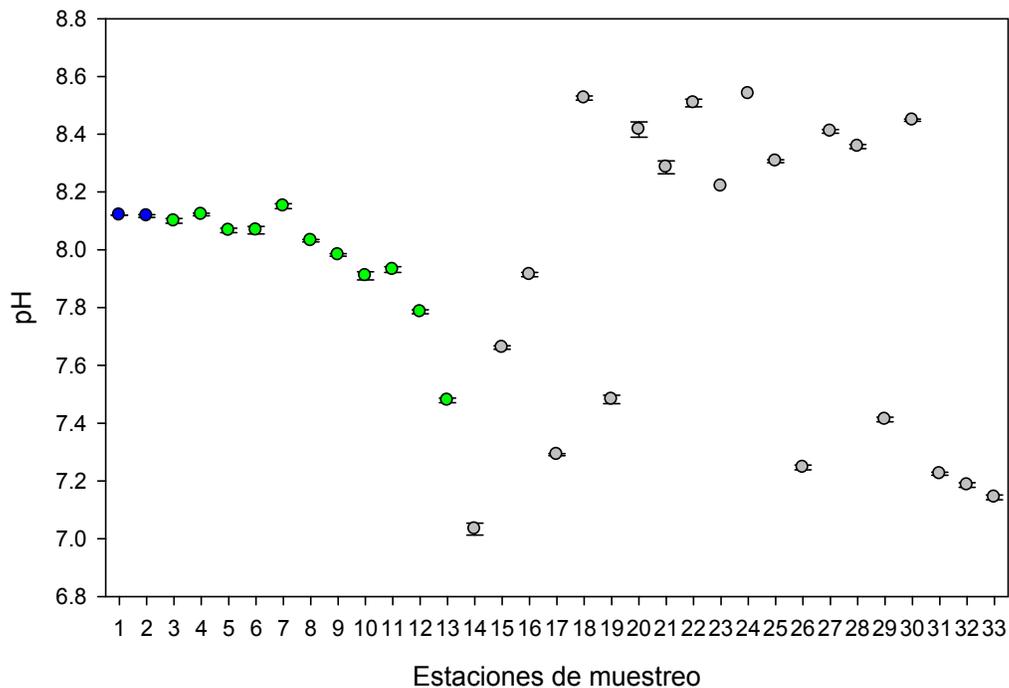
estación perteneciente a la cabeza del estero presenta el valor más bajo ( $7.48 \pm 0.01$ ) y el estero del Infiernillo el valor más elevado ( $8.15 \pm 0.01$ ) para esta variable (Fig. 35).

En general, se observa una diferencia en el pH entre las estaciones del sistema, esto se debe al igual que como en secas cálidas a que las estaciones ubicadas en la parte de la cabeza del estero de Urías y las ubicadas en el estero del Infiernillo se encuentran influenciadas por la carga orgánica proveniente del dren del Arroyo Jabalines que desemboca en esa zona, así como al aporte de descargas de origen antropogénico arrastradas por las lluvias, especialmente en el estero del Infiernillo. En estas estaciones, la materia orgánica tiene que ser degradada tendiendo a una acidificación en estas aguas.

Villalba (1986) registró un valor promedio de 7.9 en periodos de lluvias. Estos resultados comparados con el presente estudio concuerdan en cuanto a valores y a la poca variación de estos, donde fue el mismo promedio para las estaciones del sistema.

Caso contrario ocurre en comparación al estudio de Ochoa (1999), donde obtuvo valores de pH entre 7.37 y 7.85 en el mes de febrero, siendo un poco más bajos que los del actual estudio. Esta diferencia puede estar dada por la actividad de las microalgas y el consumo de  $\text{CO}_2$  durante la fotosíntesis, incrementando el pH.

Por otra parte para los drenes que desembocan el estero de Urías, los valores de pH tuvieron mucha variación en todas las estaciones, abarcando valores que van desde los 7.03-8.54, siendo el valor más alto presentado en la estación de la UPA Barrón y el valor mínimo en la estación de la descarga de la PTAR SEDENA.



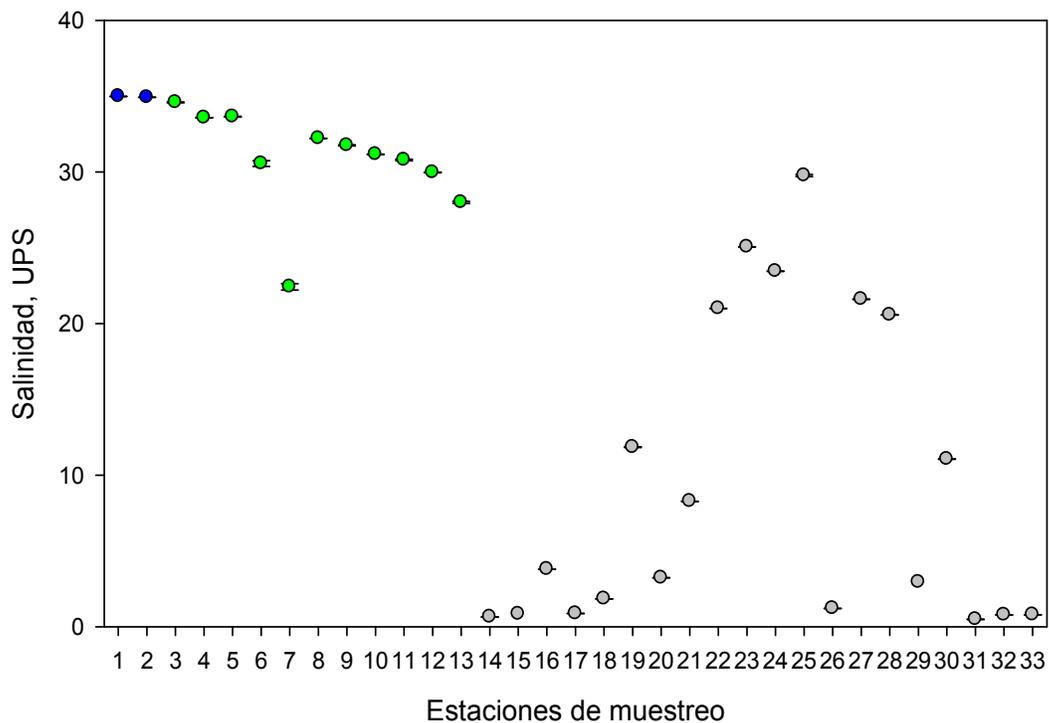
**Figura 35.** pH promedio y desviación estándar en las estaciones para la época de lluvias (septiembre, 2011). Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-33 (drenes).

#### 6.3.1.4 Salinidad

Como se observa en la figura 36, para la época de lluvias, los valores de salinidad disminuyeron significativamente en el cuerpo estuarino con respecto a los valores obtenidos en las épocas de secas frías y secas cálidas, siendo la principal causa la precipitación. Para esta época se obtuvo una salinidad promedio de  $34.96 \pm 0.01$  UPS para las estaciones del océano y  $30.8 \pm 0.03$  UPS en el caso del sistema.

Dentro de las estaciones que abarcan el sistema, el sistema tiene un comportamiento de estuario, contrario a las épocas representativas de secas frías y secas cálidas, alcanzando salinidades máximas en las estaciones cercanas a la boca del estero de Urías y salinidades más bajas en la cabeza del estero de Urías.

La explicación a lo anterior se debe al fuerte intercambio de agua entre el océano y el sistema, el cual a pesar de las precipitaciones las estaciones cercanas a la boca del estero no presentan un cambio importante de salinidad como se observa en las estaciones que se encuentran más lejanas de este punto, donde la precipitación contribuye a disminuir los valores de salinidad notablemente. Un caso particular es el que se presenta en la estación 7 perteneciente al estero del Infiernillo, donde las precipitaciones y el dragado del arroyo Jabalines para esta época hacen que impacten más en la salinidad de este cuerpo de agua bajando las salinidades de manera clara.



**Figura 36.** Salinidad promedio y desviación estándar para la época de lluvias. Estaciones 1-2 (océano), estaciones 3-13 (sistema) y estaciones 14-33 (drenes).

## 6.3.2 Variables químicas

### 6.3.2.1 NID

En general, el nitrógeno en forma disuelta inorgánica fue más abundante que el fósforo inorgánico disuelto en todas las estaciones del océano y del sistema durante la época de lluvias.

Para esta época, los valores de NID aumentaron de manera considerable en comparación a las dos anteriores épocas, debido al arrastre de nutrientes hacia el sistema por diversas vías (escurrimientos terrestres, aportes antropogénicos que van a dar en los distintos drenes, etc.), obteniendo valores de  $0.654 \pm 0.464$ ,  $48.292 \pm 2.983$  y  $451.407 \pm 3.804$   $\text{mmol m}^{-3}$  para el océano, sistema y drenes respectivamente.

La forma química con más presencia fueron los ortofosfatos y la de menor presencia nitritos en las estaciones del océano.

Los resultados obtenidos de nutrientes, mencionan que en el sistema la forma química del nitrógeno disuelto inorgánico con mayor presencia fue el amonio y nitritos el de menor.

Dentro del cálculo final de NID promedio en el sistema, la estación perteneciente al estero del Infiernillo fue la de mayor concentración de NID presente con  $311.469 \pm 28.103$   $\text{mmol m}^{-3}$  y la menor concentración la estación 4 ubicada en la canal de navegación frente a PEMEX con  $4.1 \pm 0.1$   $\text{mmol m}^{-3}$  (Fig. 37).

El escenario anterior se da principalmente, debido al aporte de nutrientes en forma de NID que son arrastrados por las lluvias hacia el estero de Urías, ya sea en forma de esorrentías o a través de los principales drenes ubicados en los alrededores del sistema, incrementando los niveles de este tipo de nutrientes en el estero de Urías, así como a la contribución de nutrientes de las UPA, ya que a pesar de que los efluentes no tengas

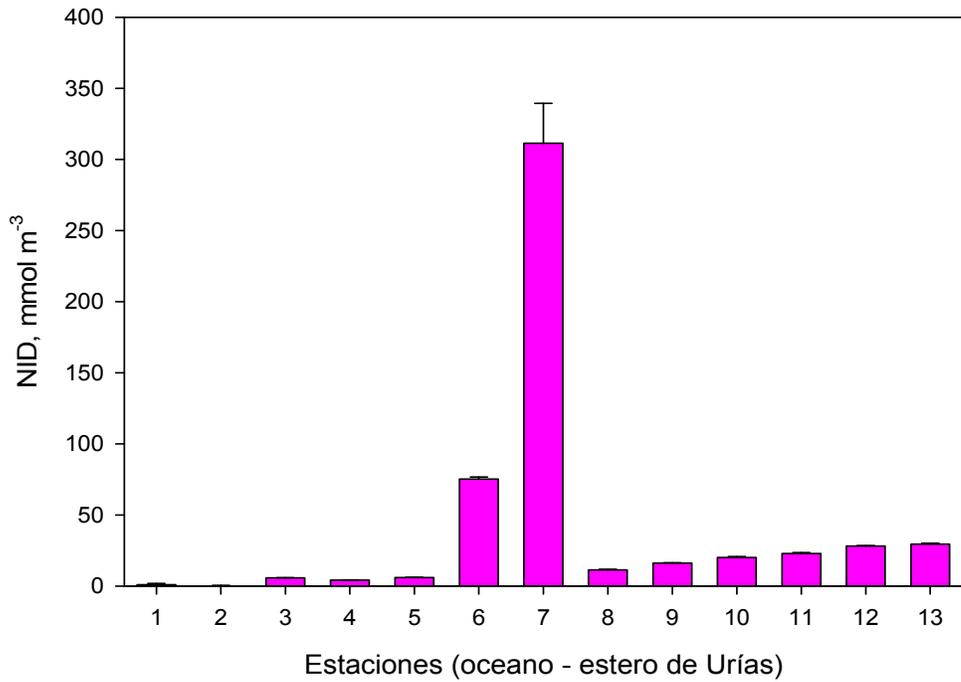
concentraciones altas de NID el volumen de agua que descargan hacia el sistema contribuye significativamente en los incrementos de NID.

En el caso del estero del Infiernillo, se observa un incremento de NID debido a la descarga proveniente del Arroyo Jabalíes, el cual para esta época fue dragado, aumentando el flujo de agua que va directamente hacia el estero del Infiernillo, así como también debido al aporte de origen antropogénico.

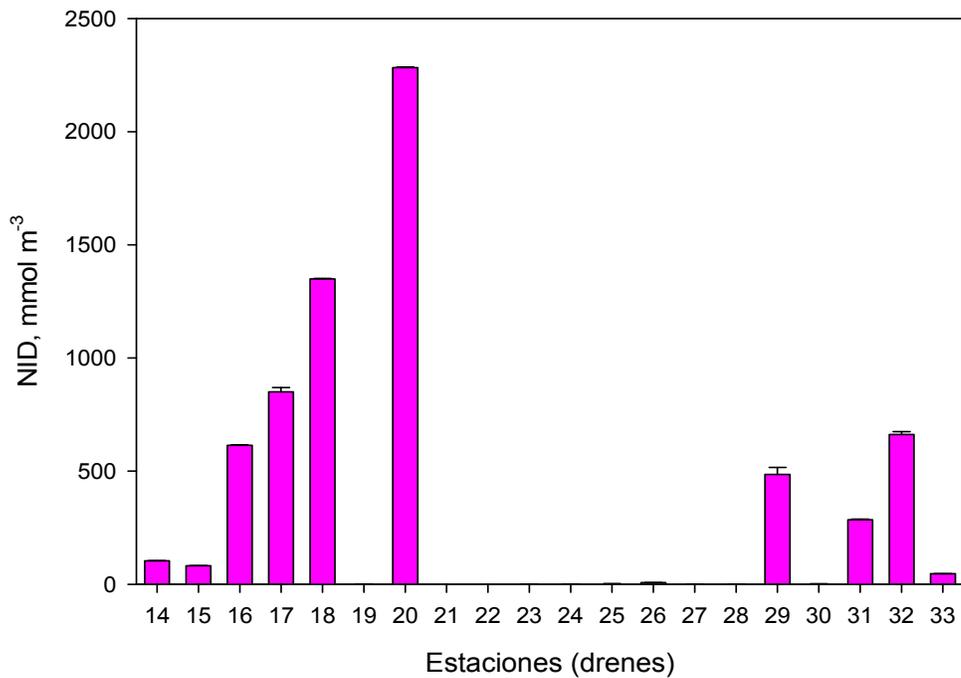
En lo que respecta al CECA establecidos en el DOF (1989), en esta época todas las estaciones sobrepasan el nivel establecido para NID en agua, siendo esta época donde se dan las peores condiciones de concentración de nutrientes relacionado a calidad de agua en el sistema.

Los resultados de NID para la época de lluvias (septiembre) en comparación a los resultados de Ochoa (1999) para el mismo mes, se encuentran entre 22.06 y 45.72 mmol m<sup>-3</sup>, siendo los valores de nitrógeno inorgánico disuelto de este trabajo más altos de lo mencionado por el anterior autor. Esta diferencia es debido que en este estudio se tomaron en cuenta los drenes que desembocan al estero de Urías, ya sean, acuícolas, industriales, arroyos y canales con aporte de NID, además de las cantidades y concentraciones aportados a través de las escorrentías con destino hacia el sistema y de manera natural en lo aportado por los procesos biogeoquímicos desarrollados en el estero de Urías.

Por su parte, en el cálculo de NID para los drenes que desembocan al sistema, la forma química que más contribuyó fueron los nitratos y la de menor contribución los nitritos. Tomando en cuenta todas las estaciones pertenecientes a los drenes, la estación ubicada en la descarga de la col. Francisco. I. Madero presenta el valor máximo con 2,283.323±2.575 mmol m<sup>-3</sup> y el valor mínimo en las estaciones ubicadas en la descarga de la Col. Francisco. I. Madero II y en la UPA Rancho El Abezal con 0.006±0 mmol m<sup>-3</sup> (Fig. 38).



**Figura 37.** Variación de NID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo del océano y sistema para la época de lluvias.



**Figura 38.** Variación de NID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo de los drenes que desembocan al estero de Urías para la época de lluvias.

### 6.3.2.2 FID

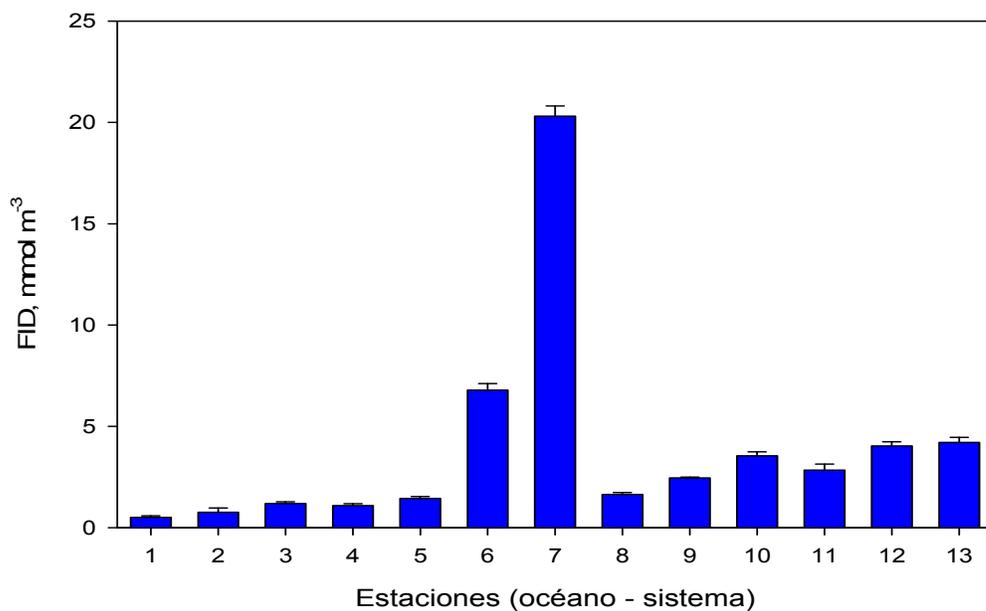
Durante la época de lluvias, los valores de fósforo disuelto inorgánico fueron de  $0.633\pm 0.144$ ,  $4.507\pm 0.196$  y  $18.735\pm 0.136$   $\text{mmol m}^{-3}$  para el océano, sistema y drenes respectivamente.

En el sistema, al igual que con el NID, la estación perteneciente al estero del Infiernillo fue la de mayor concentración de FID presente con  $20.313\pm 0.5$   $\text{mmol m}^{-3}$  y la menor concentración la estación ubicada en la canal de navegación frente a PEMEX con  $1.093\pm 0.098$   $\text{mmol m}^{-3}$  (Fig. 39), siendo la principal razón de los aumentos de este nutriente los escurrimientos terrestres y aportes de FID provenientes de los drenes y actividad humana.

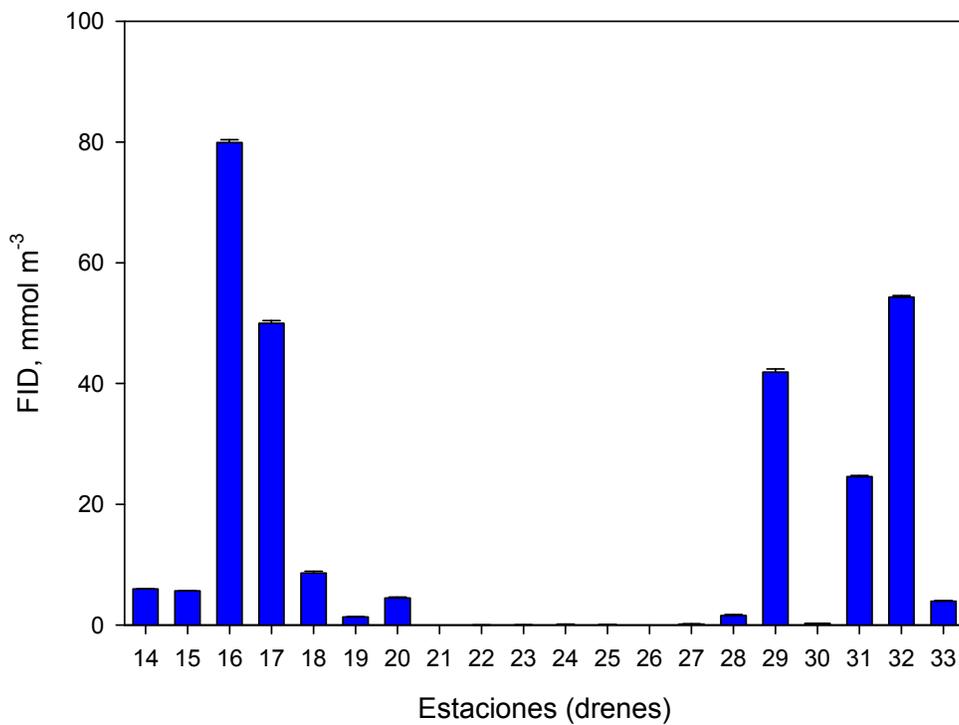
De acuerdo a lo establecido en los CECA del DOF (1989), en esta época todas las estaciones sobrepasan el nivel establecido para FID en agua, lo que indica una modificación importante en la calidad de agua del sistema.

Estos resultados de concentraciones de FID en el sistema comparados con el trabajo de Ochoa (1999), donde obtuvo valores entre 1.31 y 2.97  $\text{mmol m}^{-3}$  para el mes de septiembre y con un promedio en lluvias de 1.74  $\text{mmol m}^{-3}$ , que en el caso del presente estudio fue de 4.5  $\text{mmol m}^{-3}$  se encuentran por arriba, lo que sugiere que la diferencia entre los dos estudios se debe a los aportes de drenes, sumado al aporte de ortofosfatos proveniente de la actividad antropogénica y al FID proveniente de las escorrentías que llegan al sistema.

Finalmente en los drenes, como se observa en la figura 40 el aporte de FID al sistema se dio principalmente por la PTAR del Fraccionamiento Santa Fé ( $79.931\pm 0.456$   $\text{mmol m}^{-3}$ ), siendo este el de mayor aporte y el de menor aporte el dren de la UPA Rancho El Abezal ( $0.003\pm 0.001$   $\text{mmol m}^{-3}$ ).



**Figura 39.** Variación de FID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo del océano y sistema para la época de lluvias.



**Figura 40.** Variación de FID promedio y desviación estándar en las estaciones de muestreo de los drenes que desembocan al estero de Urías para la época de lluvias.

### 6.3.3 Cálculo de flujos de agua

Durante la época de lluvias, el volumen total de agua estimado de todos los drenes fue de 43,795 m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup>, siendo este valor empleado en la realización de los balances biogeoquímicos. Los cálculos se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8.** Datos de flujos de agua para cada dren en la época de lluvias.

<b>Estación</b>	<b>Flujo de agua (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>)</b>
14. Descarga PTAR Unidad Habitacional 23 de Noviembre	535.4
15. Arroyo donde descarga la PTAR El Castillo	1052.0
16. Descarga PTAR del Fracc. Santa Fé	4570.7
17. Canal de la Col. Tierra y Libertad	3140.1
18. Arroyo Jabalines	19188.6
19. Canal de la Col. Juárez	515.8
20. Canal de la Col. Francisco I. Madero	6646.2
21. Canal de la Col. Francisco I. Madero 2	1.5
22. Granja Rancho El Abezal	322.9
23. Granja Col. El Castillo	3038.6
24. Granja Crustáceos del Castillo	14325.3
25. Granja Barrón	53218.6
26. Granja Don Jorge	117204.2
27. Maz Industrial	172.8
28. CETMAR	0.7
29. Descarga a un lado de LALA	2737.5
30. Descarga a un lado de Soriana Insurgentes	219.2
31. Descarga residual (calle Río Chachalacas y Río Evora)	1433.2
32. Descarga residual (calle Río Chachalacas y Estero)	3359.0
33. Descarga residual (calle Río Arroyo Suchiate)	222.7

### 6.3.4 Modelos biogeoquímicos

#### 6.3.4.1 Balance de agua

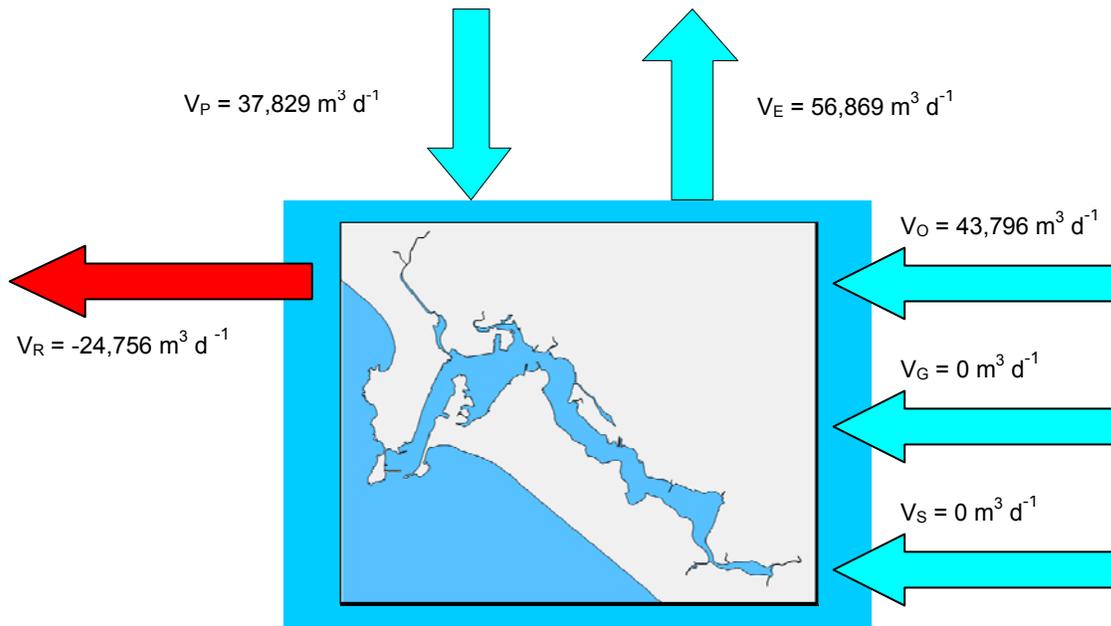
El estero de Urías, recibe volúmenes de agua importantes, principalmente los aportados por los efluentes de UPA en una cantidad estimada de  $188,110 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ , pero debido a la recirculación de agua que se da en ellas, el flujo es de  $0 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ . El aporte de los drenes que descargan sus aguas al estero, principalmente el arroyo Jabalines y la descarga de PTAR del Fraccionamiento Santa Fé, se estimaron en un flujo de agua total hacia el sistema de  $43,796 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ . Por otra parte solo en esta época existen aportes de agua provenientes de la precipitación de  $37,829 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ . Las pérdidas de agua por evaporación son de  $56,869 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ , mientras que el dato de flujos de agua subterráneos no se tiene, por lo que se asume como 0.

Existe un volumen de flujo residual calculado de  $24,756 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$  del sistema del estero de Urías al océano, siendo mayor el volumen de ingresos de agua sobre las pérdidas, por lo tanto existe salida de agua del sistema al océano para mantener el volumen de agua constante en el sistema. El balance de agua para el sistema lagunar del estero de Urías (Fig. 41).

Los datos estimados para el periodo de lluvias en el presente estudio coinciden con algunos resultados previos de otras lagunas y cuerpos costeros en Sinaloa desarrollados por Lechuga *et al.* (2003) durante la época de lluvias, tal es el caso de la Bahía de Navachiste, Bahía San Ignacio y Laguna Huizache-Caimanero, donde el flujo residual indica que todos los anteriores sistemas aportan agua hacia el océano, con el fin de compensar las ganancias de agua provocadas por las entradas de flujos de agua.

Esta anterior situación se presenta, porque los niveles de evaporación en el sistema son menores a los flujos de entrada al sistema como en el caso de la Bahía de Navachiste y laguna Huizache-Caimanero, donde los aportes por efluentes de UPA y/o

agrícolas aunado a las precipitaciones son mayores a los de evaporación, ó en el caso de la Bahía San Ignacio donde la precipitación es mayor que la evaporación dentro del sistema.



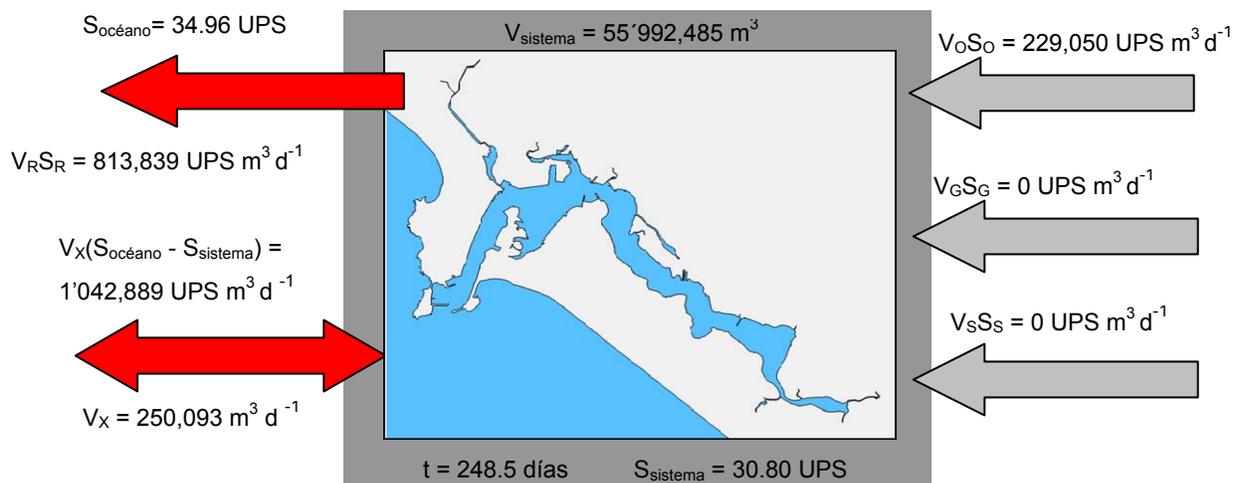
**Figura 41.** Diagrama ilustrativo del balance de agua en el estero de Urías para la época de lluvias.

#### 6.3.4.2 Balance de sal

El flujo de salinidad de los drenes para esta época fue de 229,050 UPS  $\text{m}^3 \text{ día}^{-1}$ . Para el caso de las UPA, la salinidad es de 22.3 UPS, sin embargo, el flujo de salinidad asociado al flujo de entrada de volúmenes de agua al sistema de las UPA es de 0 UPS  $\text{m}^3 \text{ día}^{-1}$ , esto causado porque el flujo de agua de las UPA es recirculada, por lo que se considera como 0 y el aportado de las aguas subterráneas se asumió como 0 debido a la falta de datos de flujos de agua para esta época.

El flujo de salinidad asociado al flujo residual se estimó en 813,839 UPS  $\text{m}^3 \text{ día}^{-1}$ , mientras que el flujo de salinidad asociado al intercambio de agua entre el océano y el

sistema fue de  $1'042,889 \text{ UPS m}^3 \text{ día}^{-1}$ . El sistema intercambia por acción de mareas y corrientes un volumen de mezcla de agua con el océano de  $250,093 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ . Con base a estos volúmenes calculados el tiempo de recambio de agua es de 248.5 días, dato que es modificado debido al cambio en los valores de flujo residual y flujo de mezcla, los cuales fueron modificados debido al mayor aporte de fuentes de entrada de agua con respecto a las salidas, además que la salinidad del estero es mucho mas baja con respecto al océano a causa de la precipitación, por lo que para esta época el resultado no aplica. El balance de sal completo para el sistema del estero de Urías se observa en la figura 42.



**Figura 42.** Diagrama ilustrativo del balance de sal en el estero de Urías para la época de lluvias.

### 6.3.4.3 Balance de nutrientes

#### a) NID

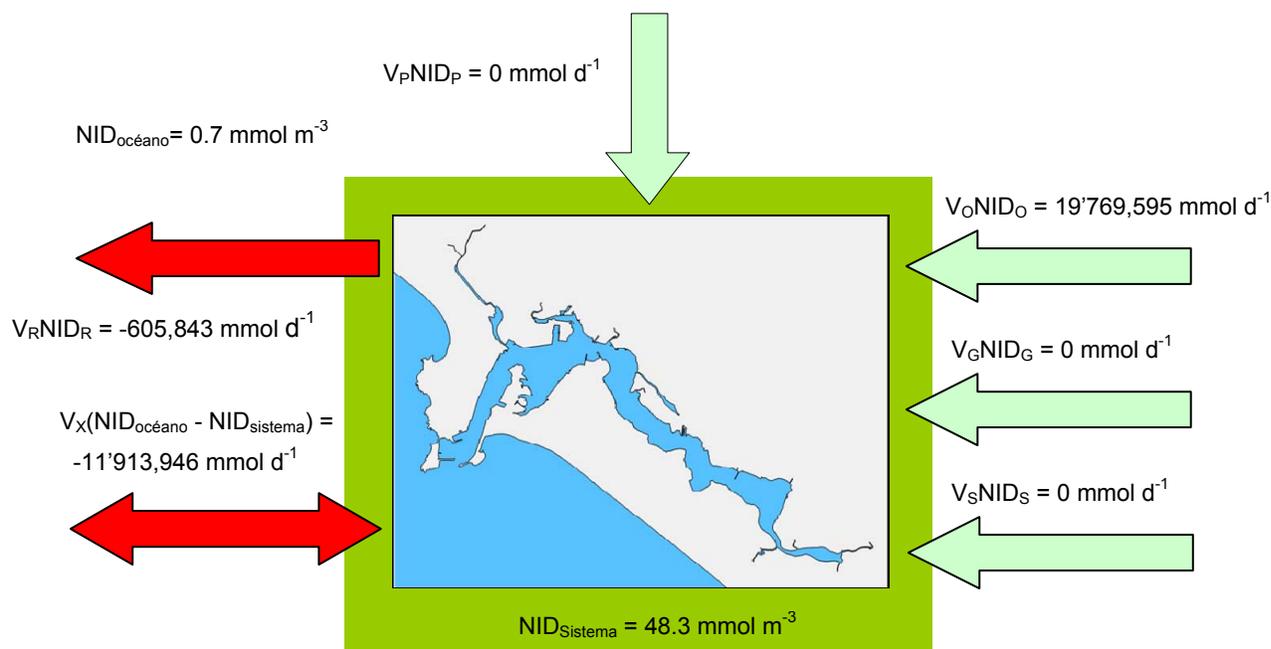
Los resultados obtenidos durante la época de lluvias indican que el océano y el sistema tienen una concentración de NID de  $0.7$  y  $48.3 \text{ mmol m}^{-3}$  respectivamente.

El estero de Urías recibe  $1.2 \text{ ton d}^{-1}$  de NID de los drenes con destino al sistema, con un flujo asociado a estos de  $19'769,595 \text{ mmol d}^{-1}$ . El flujo de NID asociado a las UPA es de  $0 \text{ mmol d}^{-1}$ , debido a que no se tomaron en cuenta los flujos de entrada de agua al sistema por la circulación de la misma en las granjas acuícolas. En cuanto a los flujos de nitrógeno inorgánico disuelto para las aguas subterráneas y precipitación se asumen como 0, debido a que no se tuvo el dato de flujo de agua de las aguas subterráneas y porque la concentración de nutrientes por precipitación es despreciable.

Existe un flujo de NID asociado al flujo residual de  $605,843 \text{ mmol d}^{-1}$  del sistema hacia el océano y un flujo de NID asociado al flujo de intercambio de flujos entre el océano y sistema de  $11'913,946 \text{ mmol d}^{-1}$ .

Con base a los resultados arrojados se observa que el estero de Urías funciona como reservorio de NID en esta época  $0.4 \text{ ton d}^{-1}$  hacia la bahía de Mazatlán. Lo anterior el nitrógeno inorgánico disuelto es capturado en el sistema por medio de los procesos de oxidación de materia orgánica tanto en la columna del agua como en los sedimentos. El balance de NID se observan en la figura 43.

Comparando los resultados del balance de NID con otros sistemas estudiados por Lechuga *et al.* (2003), son similares para el caso de la Bahía de San Ignacio y laguna Huizache-Caimanero en época de lluvias, donde estos sistemas funcionan como reservorio reteniendo  $0.005$  y  $2.12 \text{ ton d}^{-1}$  de NID respectivamente. Por su parte hay otros casos como la Bahía de Navachiste donde los resultados de este estudio no coinciden, en el cual el sistema se comporta como fuente de nitrógeno durante la época de estiaje exportando hacia el océano  $4.07 \text{ ton d}^{-1}$ . La diferencia entre los distintos sistemas en cuanto a los flujos y concentraciones de NID se deben principalmente a las diferentes entradas de flujo de nutrientes, así como a las concentraciones de cada flujo de entrada de cada uno de los sistemas mencionados.



**Figura 43.** Diagrama ilustrativo del balance de NID en el estero de Urías para la época de lluvias.

## b) FID

En lluvias, el océano y el sistema tienen una concentración de FID de 0.6 y 4.5  $\text{mmol m}^{-3}$  respectivamente.

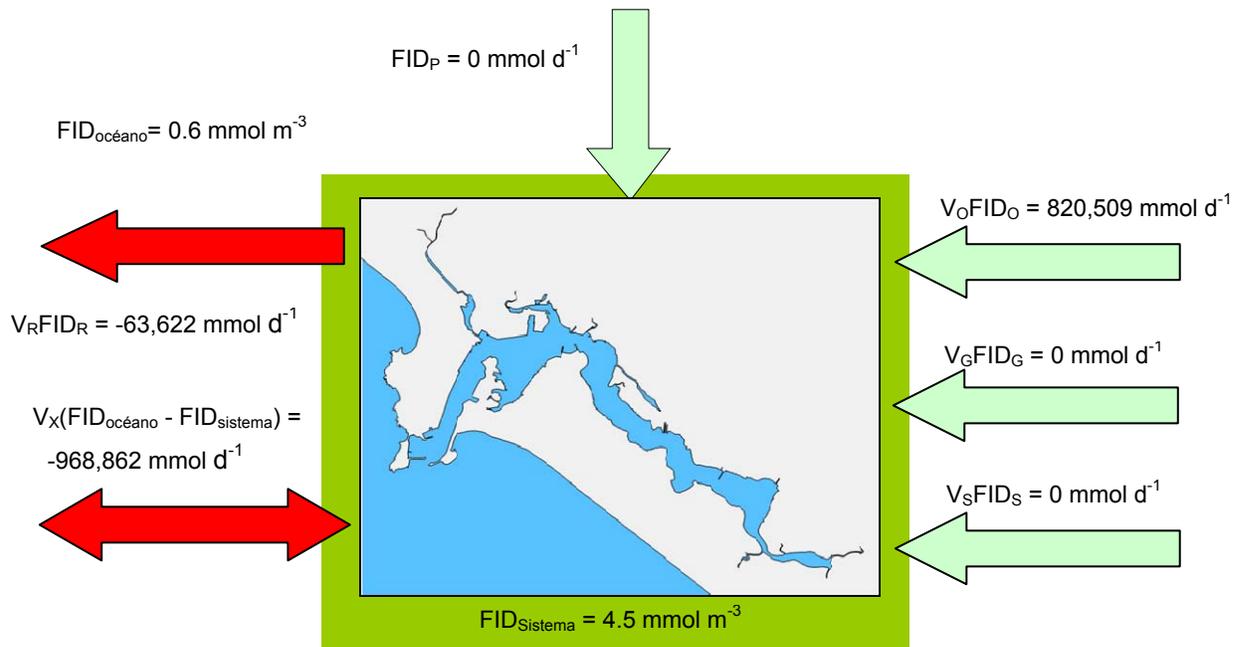
El estero de Urías recibe 0.1  $\text{ton d}^{-1}$  de FID de los drenes con destino al sistema, con un flujo asociado a estos de 820,509  $\text{mmol d}^{-1}$ . El flujo de FID asociado a las UPA es de 0  $\text{mmol d}^{-1}$ , debido a que no se tomaron en cuenta los flujos de entrada de agua al sistema por la circulación de la misma en las granjas acuícolas. En cuanto a los flujos de fósforo inorgánico disuelto para las aguas subterráneas y precipitación se asumen como 0, debido a que no se tuvo el dato de flujo de agua de las aguas subterráneas y porque la concentración de nutrientes por precipitación es despreciable.

Existe un flujo de FID asociado al flujo residual de 63,622  $\text{mmol d}^{-1}$  del sistema hacia la bahía de Mazatlán y un flujo de FID asociado al flujo de intercambio de agua entre el sistema y el océano de 968,862  $\text{mmol d}^{-1}$ .

Con base a los resultados arrojados se observa que el estero de Urías funciona como fuente de FID en una cantidad de  $0.02 \text{ ton d}^{-1}$  hacia la bahía de Mazatlán.

Lo anterior indica que el sistema exporta FID al océano por incremento de volumen de mezcla, tal como se puede ver en el balance de FID de la figura 44.

Comparando los resultados del balance de FID con otros sistemas, Lechuga *et al.* (2003), mencionan que para la Bahía de San Ignacio y laguna Huizache-Caimanero en época de lluvias los sistemas funcionan como reservorio reteniendo  $0.019$  y  $7.87 \text{ ton d}^{-1}$  de FID, obteniéndose resultados diferentes sobre el actual estudio, sin embargo, existen otros estudios como en el caso de la Bahía de Navachiste del mismo autor, donde se menciona que sistema se comporta como fuente de FID durante la época de estiaje exportando hacia el océano  $1.55 \text{ ton d}^{-1}$ . La diferencia entre los distintos sistemas en cuanto al flujo de FID, se debe principalmente a las diferentes entradas de flujo de esta nutriente, así como a las concentraciones de cada flujo de entrada de cada uno de los sistemas mencionados.



**Figura 44.** Diagrama ilustrativo del balance de FID en el estero de Urías para la época de lluvias.

#### 6.3.4.4 Estimaciones estequiométricas de MNE y ( $N_{fij} - N_{desnit}$ )

El sistema presenta una producción primaria de  $0.02 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  y una desnitrificación de nitrógeno de  $0.053 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$  (Tablas 9 y 10).

Durante esta época, el sistema es netamente autotrófico debido a que la producción primaria estimada excede a la respiración.

En lo que respecta al metabolismo del nitrógeno se tiene un comportamiento heterotrófico, siendo un nutriente limitante en la producción primaria del sistema.

Al igual que en las otras épocas, el sistema todavía no alcanza su capacidad de carga, ya que a pesar de que las concentraciones por nutrientes en esta época son mayores, el recambio de agua es menor, esto debido principalmente por acción de las mareas y corrientes de agua que en esta época son mas rápidas.

La información del MNE y balance ( $N_{fij} - N_{desnit}$ ) obtenida para la época de lluvias, comparada con algunos sistemas estudiados por Lechuga *et al.* (2003) para la misma época, es diferente debido a los distintos factores físicos, químicos y biológicos de cada sistema. Uno de estos casos es el presentado por el anterior autor en la Bahía Navachiste, la cual presenta una producción primaria de  $0.005 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  y una fijación de nitrógeno de  $0.0200 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ , comportándose como un sistema autotrófico, y en el cual concluyen que al igual que en el periodo de estiaje, existe un equilibrio entre producción primaria y respiración. Sin embargo, la baja energía del sistema, evaluada por las relativas altas tasas de recambio de agua, puede provocar una sedimentación de los aportes de nitrógeno y fósforo llevando a la bahía a eutrofizarse durante esta época.

Otro estudio con diferentes condiciones pero de los mismos autores en la Bahía San Ignacio, mencionan que en este sistema los procesos respiratorios exceden a la producción primaria en  $3.500 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  y una desnitrificación de nitrógeno de  $0.005 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ , siendo claramente identificado como un sistema heterotrófico, y en el cual se concluye

que al igual que en el periodo de estiaje los excesos de nitrógeno y fósforo pueden conducir a una eutrofización de las áreas de menor energía al interior del sistema.

Finalmente, en otro estudio con características similares al estero de Urías, Lechuga *et al.* (2003), menciona que la laguna del Huizache-Caimanero presenta una respiración de  $0.60 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  y una desnitrificación de nitrógeno de  $0.46 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ , concluyendo que el sistema es heterotrófico, indicando que el sistema se vuelve eutrófico durante la época de lluvias, por lo que no es recomendable la expansión de actividad acuícola en esa época del año.

**Tabla 9.** Datos de estimaciones de MNE en el estero de Urías en la época de lluvias.

<b>METABOLISMO NETO DEL ECOSISTEMA</b>		
$(p-r)=\Delta FID*(C:P)$	22'469,309	$\text{mmol C d}^{-1}$
	1.8	$\text{mmol C m}^2 \text{ d}^{-1}$
$(p-r)=-\Delta FID*(C:P) / \text{superficie}_{\text{sistema}}$	0.02	$\text{g C m}^2 \text{ d}^{-1}$

**Tabla 10.** Datos de estimaciones del balance ( $N_{\text{fij}}-N_{\text{desnit}}$ ) en el estero de Urías en la época de lluvias.

<b>BALANCE (<math>N_{\text{fij}}-N_{\text{desnit}}</math>)</b>		
$\Delta \text{NID}_{\text{estimado}}$	3'391,594	$\text{mmol d}^{-1}$
$\Delta \text{NID}_{\text{obs}}$	-7'249,807	$\text{mmol d}^{-1}$
$(N_{\text{fij}}-N_{\text{desnit}})$	-10'641,401	$\text{mmol d}^{-1}$
	-0.85	$\text{mmol m}^2 \text{ d}^{-1}$
$(N_{\text{fij}}-N_{\text{desnit}}) / \text{superficie}_{\text{sistema}}$	-0.053	$\text{g m}^2 \text{ d}^{-1}$

## 6.4 Anual

### 6.4.1 Modelos biogeoquímicos

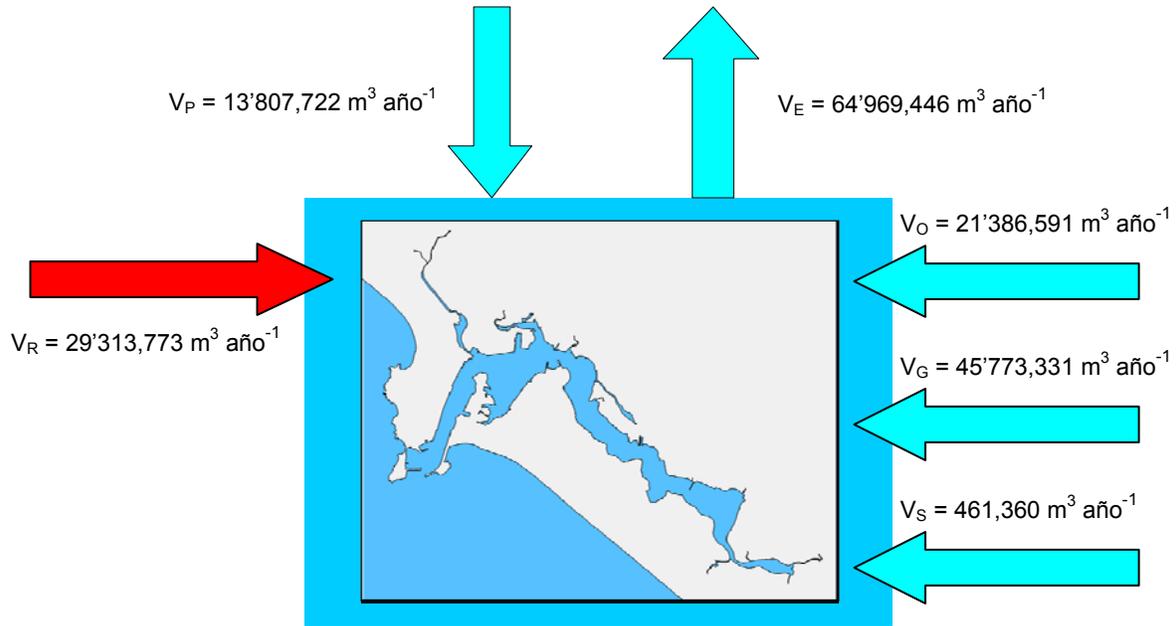
#### 6.4.1.1 Balance de agua

El sistema del estero de Urías a través del año recibe volúmenes de agua provenientes de efluentes de UPA en una cantidad estimada de 45'773,331 m<sup>3</sup> anuales, pero estos se toman como 0 debido al recirculamiento de agua que tienen durante todo el proceso de las granjas acuícolas. Por otro lado, los drenes (industriales, acuícolas, canales y arroyos) desembocan al sistema un flujo total de agua de 21'386,591 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>. Otra fuente de flujo de entrada de agua se debe a los aportes por precipitación con volúmenes anuales de 13'807,722 m<sup>3</sup>. En el caso del flujo anual de aguas subterráneas hacia el estero de Urías, se estimó el dato anual en 461,360 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>.

Por su parte las pérdidas de agua dadas por evaporación se estiman en 64'969,446 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>, existiendo un volumen de flujo residual calculado de 29'313,773 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> del estero de Urías hacia el océano, siendo mayor el volumen de pérdida de agua sobre los ingresos, por lo tanto existe entrada de agua del océano al sistema para mantener el volumen de agua constante en el sistema.

El flujo residual calculado anual para el estero de Urías en este estudio no concuerda con el realizado por Lechuga *et al.* (2003) para el mismo sistema, en el cual obtuvo un flujo residual de 42'153,120 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> del océano hacia el sistema, atribuyendo esta diferencia a que en este estudio los aportes de agua provenientes de las UPA se tomaron como 0 debido a que se recircula el agua, caso contrario en el de Lechuga y colaboradores, donde no se toma en cuenta esa consideración, por lo que los volúmenes de agua aportados por las UPA lo toman como fuente de entrada al sistema, además de la consideración de los flujos de drenes y aguas subterráneas, que en el caso del estudio

de Lechuga *et al.* (2003) no se tomaron en cuenta. El balance de agua para el sistema lagunar del estero de Urías se encuentra en la figura 45.



**Figura 45.** Diagrama ilustrativo del balance de agua anual para el sistema del estero de Urías.

#### 6.4.1.2 Balance de sal

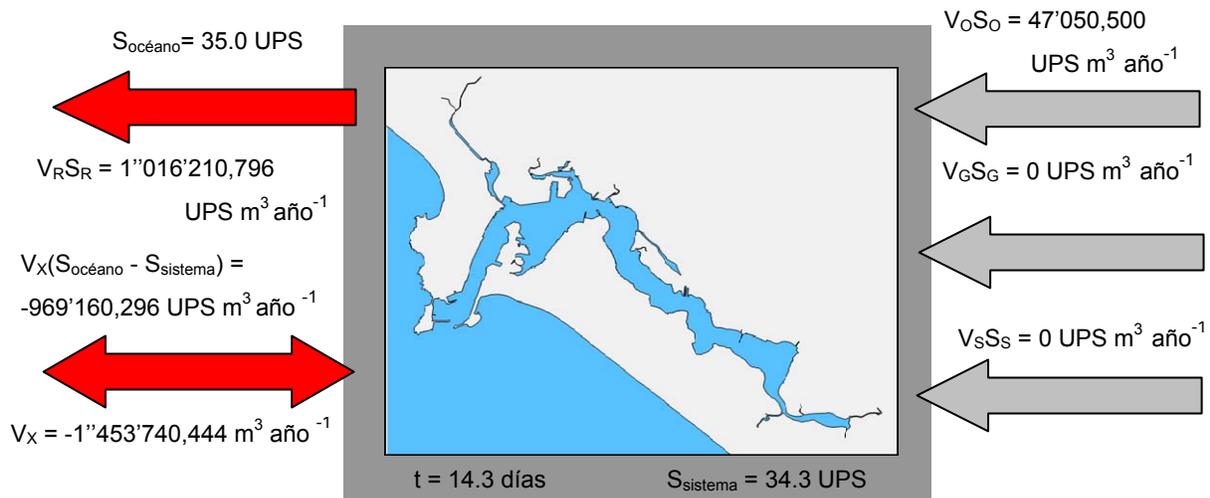
La salinidad del océano y del sistema fue de 35.0 y 34.3 UPS respectivamente. De la misma manera se estimó un flujo de salinidad relacionado a los drenes y UPA de 47'050,500 y 0 UPS  $m^3 \text{ año}^{-1}$  respectivamente, este último debido a que los aportes de UPA se consideraron como 0, siendo agua recirculada. En el caso del flujo de salinidad asociada a las aguas subterráneas se asume como 0 debido a que no se realizó la medición de salinidad, en cambio, la salinidad de los volúmenes de precipitación se asume como 0 ya que es un valor despreciable para este balance.

El flujo de salinidad asociado al flujo residual anual se estimó en 1'016'210,796 UPS  $m^3 \text{ año}^{-1}$ , mientras que el flujo de salinidad asociado al intercambio de agua anual entre el océano y el sistema fue de 969'160,296 UPS  $m^3 \text{ año}^{-1}$ .

Por acción de mareas y corrientes el estero de Urías intercambia un volumen de mezcla con el océano de 1'453'740,444 m<sup>3</sup> anualmente. Con base a estos volúmenes calculados, el tiempo de recambio de agua total para el sistema durante todo el año es de 14.3 días.

Los resultados obtenidos en el estudio de Lechuga *et al.* (2003) son diferentes a los de este estudio en cuanto al volumen del mezcla y tiempo de recambio de agua en el sistema, en el cual obtuvo un volumen de mezcla de 2'117'796,610 m<sup>3</sup> anualmente y un tiempo de recambio de 5.4 días, siendo la principal diferencia la adición de los flujos de UPA como fuente de entrada de agua al sistema en el estudio de Lechuga *et al.* (2003), en cambio para este estudio los aportes de UPA se consideraron como 0, ya que el agua de los efluentes que desembocan al sistema es la misma que entra a los afluentes de estas granjas acuícolas, por lo que no se considera aporte.

El balance de sal completo para el sistema del estero de Urías se observa en la figura 46.



**Figura 46.** Diagrama ilustrativo del balance de sal anual para el estero de Urías.

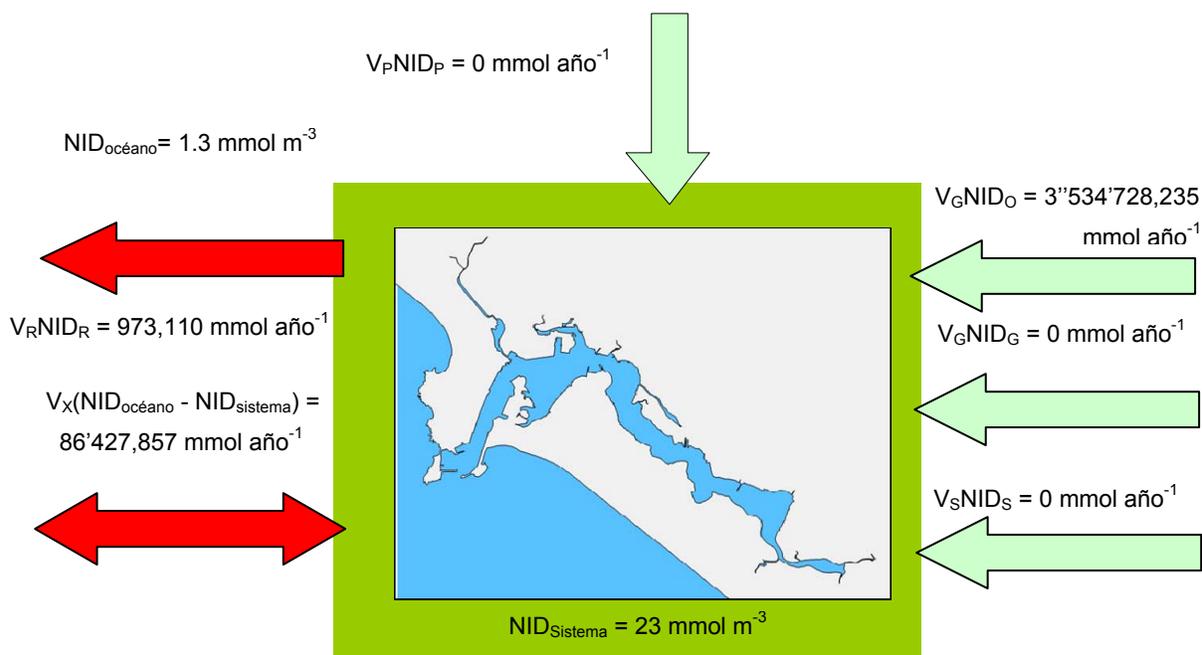
#### 6.4.1.3 Balance de nutrientes

##### a) NID

Los resultados obtenidos anuales del NID muestran que el sistema estero de Urías recibe 657 ton anualmente de NID en forma disuelta inorgánica de los drenes. El flujo de NID asociado a las UPA es de  $0 \text{ mmol d}^{-1}$ , debido a que no se tomaron en cuenta los flujos de entrada de agua al sistema por la circulación de la misma en las granjas acuícolas. Los flujos de NID de aguas subterráneas no se tomaron en cuenta ya que no se realizó la medición, así como de la precipitación, la cual es considerada despreciable.

Con base a los resultados arrojados se observa que el estero de Urías funciona como fuente de NID, exportando  $2,635 \text{ ton d}^{-1}$  hacia la bahía de Mazatlán. Al realizar la comparación con los datos del estudio de Lechuga *et al.* (2003) donde el sistema exporta  $111 \text{ ton año}^{-1}$  los resultados no concuerdan con los del presente trabajo donde se consideraron los aportes provenientes de arroyos, canales, e industrias, mientras que en el estudio de Lechuga y colaboradores (2003), solo los drenes acuícolas, lo cual afecta los valores de flujo de NID asociado al flujo residual y al intercambio de flujos por mezcla, modificando el valor del flujo no conservativo de NID.

Otros factor importante del cambio en cuanto de nutrientes es el crecimiento urbano, así como el de las actividades antropogénicas, lo cual contribuye en el aumento de cantidades y concentraciones de este nutriente, como es el caso de los dragados al arroyo Jabalines, así como en una zona cercana a Maz Industrial, siendo el sedimento resuspendido, y por consiguiente sus nutrientes, contribuyendo en ese aumento (Fig. 47).



**Figura 47.** Diagrama ilustrativo del balance de NID anual para el sistema del estero de Urías.

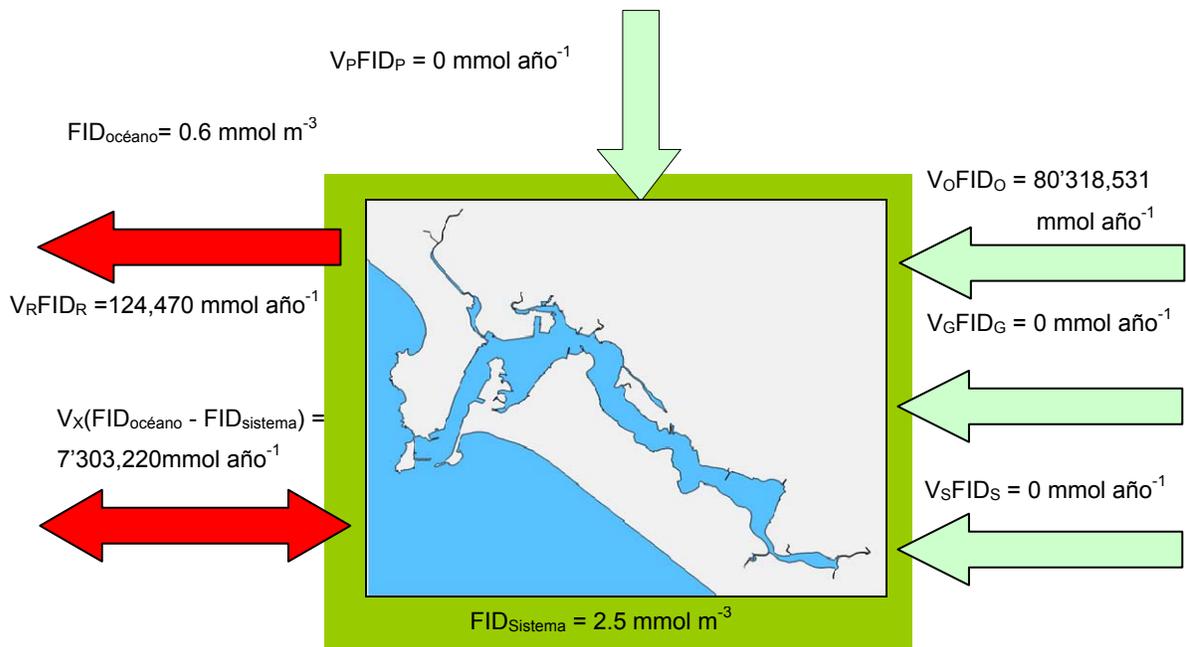
## b) FID

A lo largo del año, el sistema recibe un total de 23 ton año<sup>-1</sup> de FID proveniente de los principales drenes industriales, arroyos y canales que desembocan al estero de Urías. El flujo de FID asociado a las UPA es de 0 mmol d<sup>-1</sup>, debido a que no se tomaron en cuenta los flujos de entrada de agua al sistema por la circulación de la misma en las granjas acuícolas. Los flujos de FID de aguas subterráneas no se tomaron en cuenta ya que no se realizó la medición, así como de la precipitación, la cual se considera como despreciable.

Teniendo en cuenta los resultados y el balance de FID desarrollado se observa que el estero de Urías se comporta como fuente de FID, debido a que el sistema exporta 280 ton año<sup>-1</sup> hacia la bahía de Mazatlán. Lo anterior indica que el sistema exporta FID al

océano por incremento de volumen de mezcla, tal como se puede ver en el balance de FID de la figura 48.

Por su parte Lechuga *et al.* (2003), señalan que el sistema exporta 401 ton año<sup>-1</sup>, resultados que son diferentes a los de este estudio debido a que en este estudio no se tomó en cuenta los aportes de las UPA como fuente de entrada de agua al sistema, debido a que el flujo de agua es recirculado, en cambio, para el estudio de Lechuga y colaboradores si lo tomaron en cuenta como fuente de entrada al sistema. Además las concentraciones, así como el aporte en toneladas de este nutriente encontradas en el anterior estudio en las UPA es mas elevado considerablemente, en comparación a las encontradas en este trabajo modificando el valor del flujo no conservativo de FID.



**Figura 48.** Diagrama ilustrativo del balance de FID anual para el sistema del estero de Urías.

#### 6.4.1.4 Estimaciones estequiométricas de MNE y ( $N_{fij} - N_{desnit}$ )

En base a los resultados que arrojan los balances de nutrientes anuales, en el estero de Urías se presenta una producción primaria de  $300 \text{ g C m}^2 \text{ año}^{-1}$  y una desnitrificación de nitrógeno de  $23 \text{ g m}^2 \text{ año}^{-1}$  (Tablas 11 y 12).

La explicación a lo anterior ayuda a entender que a través del año el sistema tiene un comportamiento autotrófico neto, con niveles altos de producción primaria, excediendo claramente a la respiración. El nitrógeno, a su vez, durante el año es un nutriente limitante en la producción primaria, esto debido a las grandes cantidades de nitrógeno presente en el sistema, el cual para su degradación necesita de cantidades de oxígeno, cantidades que se encuentran por arriba de las producidas por la fotosíntesis.

El sistema, en el año, cuenta con una buena tasa de recambio de agua (14.3 días) para todo el sistema, siendo aun mejor en el cuerpo principal, que no permite que el sistema se eutrofice a pesar de las grandes cantidades y concentraciones de nutrientes que se aportan al sistema provenientes de las diversas fuentes de entrada de agua al sistema, sin embargo, el sistema o incluso algunas zonas del estero pueden estar sujetas a probables tendencias eutróficas debido a la elevada producción primaria. Estas condiciones, se pueden presentar en caso de seguir aumentando las cantidades y concentraciones de nutrientes que de alguna manera desembocan en el estero de Urías.

Con base a lo mencionado anteriormente, durante el año 2011, el sistema no alcanza todavía su capacidad de carga, pero se encuentra cerca de alcanzarlo.

**Tabla 11.** Datos de estimaciones anuales de MNE en el estero de Urías.

<b>METABOLISMO NETO DEL ECOSISTEMA</b>		
$(p-r)=\Delta FID*(C:P)$	857'311,252	mmol C d <sup>-1</sup>
	68.4	mmol C m <sup>2</sup> d <sup>-1</sup>
$(p-r)=-\Delta FID*(C:P) / \text{superficie}_{\text{sistema}}$	0.8	gr C m <sup>2</sup> d <sup>-1</sup>
	300	gr C m <sup>2</sup> año <sup>-1</sup>

**Tabla 12.** Datos de estimaciones del balance ( $N_{fij}-N_{desnit}$ ) anuales en el estero de Urías.

<b>BALANCE (<math>N_{fij}-N_{desnit}</math>)</b>		
$\Delta NID_{\text{estimado}}$	-129'405,472	mmol d <sup>-1</sup>
$\Delta NID_{\text{obs}}$	116'453,528	mmol d <sup>-1</sup>
$(N_{fij}-N_{desnit})$	-12'951,944	mmol d <sup>-1</sup>
	-1.0	mmol m <sup>2</sup> d <sup>-1</sup>
$(N_{fij}-N_{desnit}) / \text{superficie}_{\text{sistema}}$	-0.1	gr m <sup>2</sup> d <sup>-1</sup>
	-23	gr m <sup>2</sup> año <sup>-1</sup>

## 6.5 Resultados estadísticos

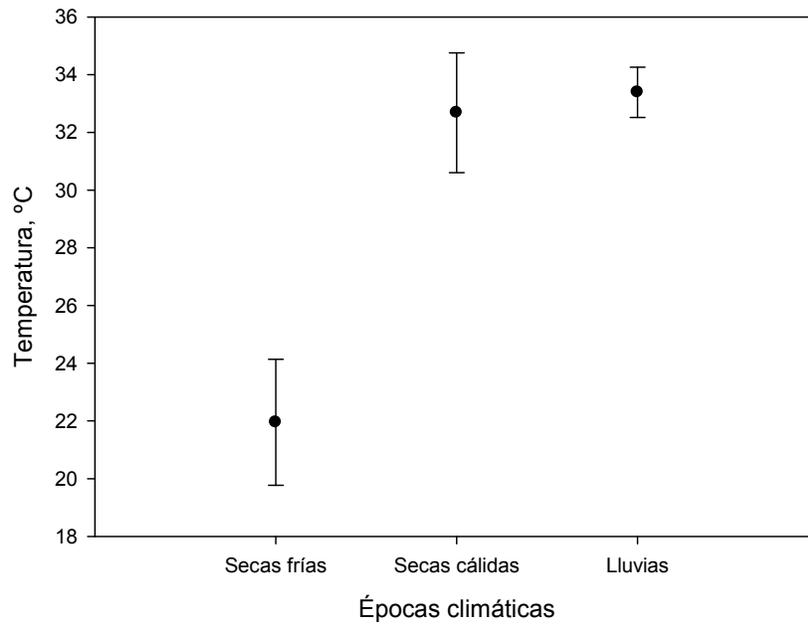
### 6.5.1 Prueba de Holm-Sidak

#### 6.5.1.1 Temperatura

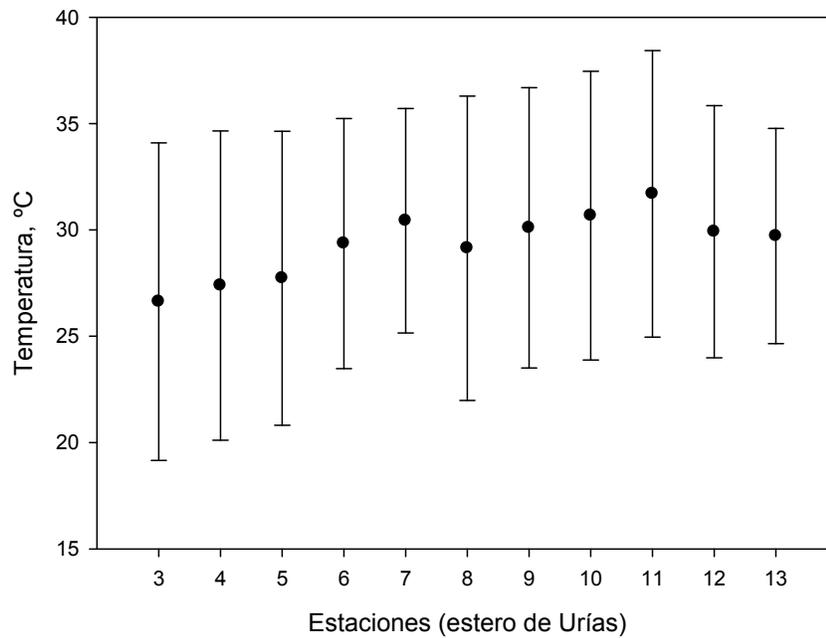
De acuerdo a los resultados arrojados en el caso de la temperatura, en la comparación entre épocas, no se encontraron diferencias entre las épocas de secas cálidas y secas frías, mientras que para las épocas de secas frías y lluvias si las hay (Fig.49). Por otro lado, en la comparación entre estaciones se observaron diferencias entre la estación 11 (canal agua caliente de la termoeléctrica) con las estaciones 3, 4 y 5 (boca del estero de Urías, canal de navegación frente a PEMEX y canal de navegación frente al embarcadero de la Isla de la Piedra respectivamente). De la misma manera, la estación 10 (canal de navegación frente a Maz Industrial) con la estación de la boca del estero de Urías (Fig.50). Los resultados de la prueba se observan en los anexos (Tablas de anexos VIIIa y VIIIb).

#### 6.5.1.2 pH

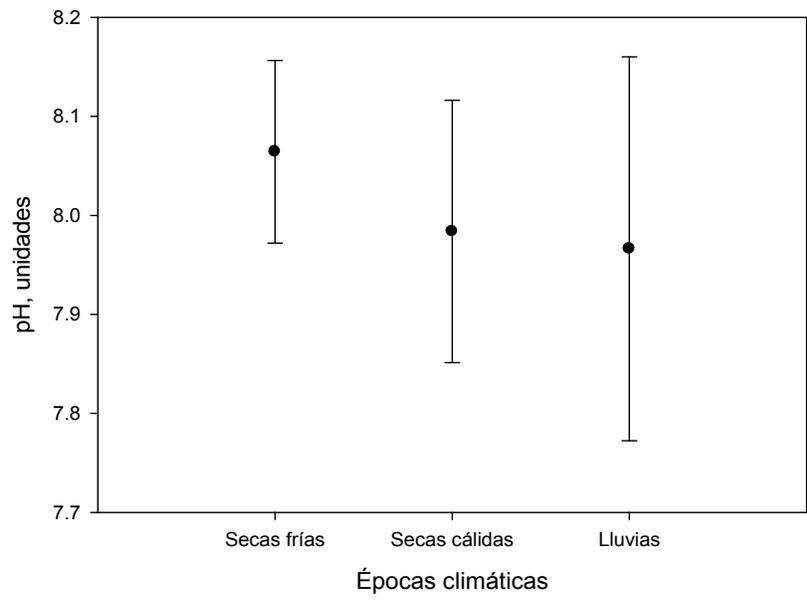
El pH, tanto en la comparación entre las épocas como entre las estaciones del estero de Urías, no se encontraron diferencias (Fig.51 y 52). Los resultados se observan en los anexos (Tablas de anexos IXa y IXb).



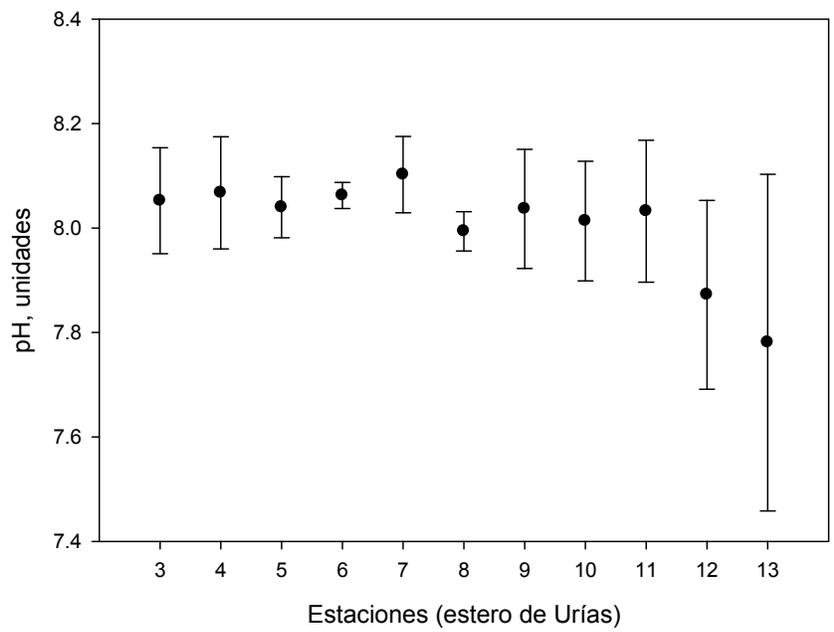
**Figura 49.** Temperatura promedio y desviación estándar para las tres época climáticas en el sistema.



**Figura 50.** Temperatura promedio y desviación estándar para las estaciones de muestreo del sistema.



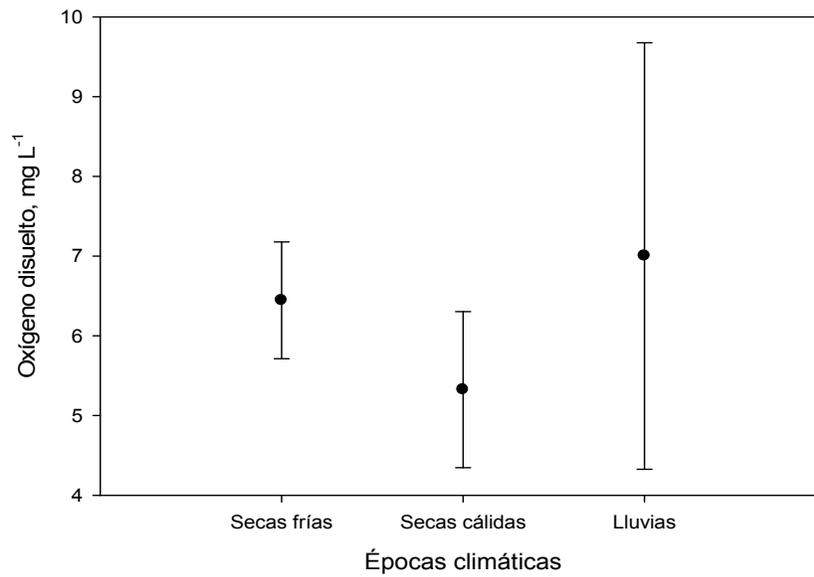
**Figura 51.** pH promedio y desviación estándar para las tres época climáticas en el sistema.



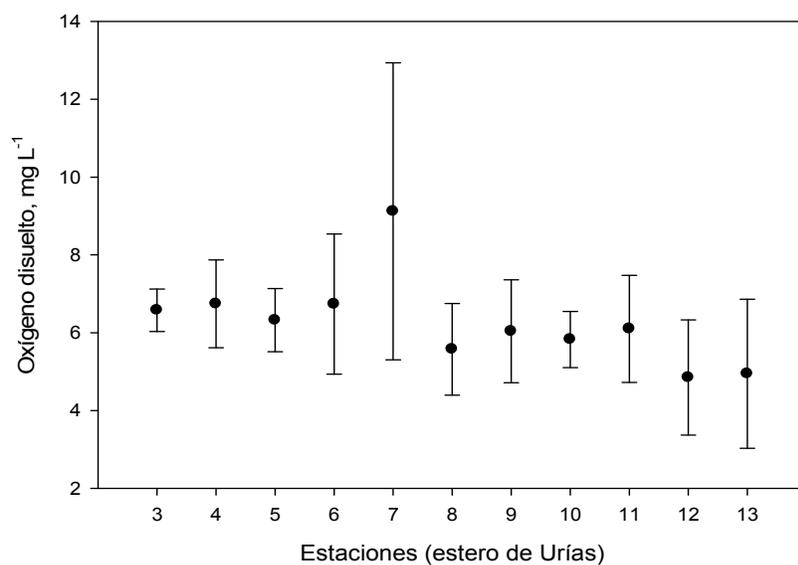
**Figura 52.** pH promedio y desviación estándar para las estaciones de muestreo del sistema.

### 6.5.1.3 Oxígeno disuelto

Al igual que el pH, para el oxígeno disuelto no se encontraron diferencias entre épocas ni entre las estaciones del estero de Urías (Fig.53 y 54). Los resultados se observan en los anexos (Tablas de anexos Xa y Xb).



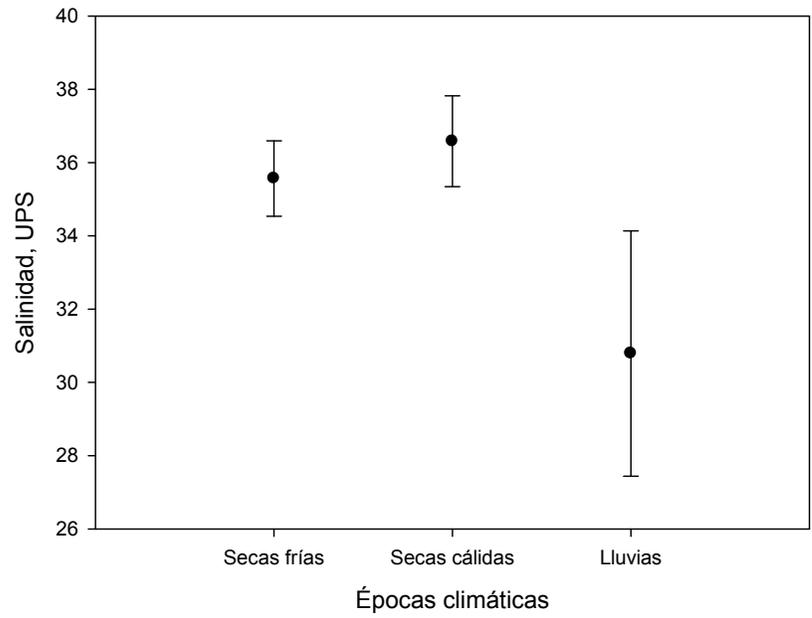
**Figura 53.** Oxígeno disuelto promedio y desviación estándar para las tres época climáticas en el sistema.



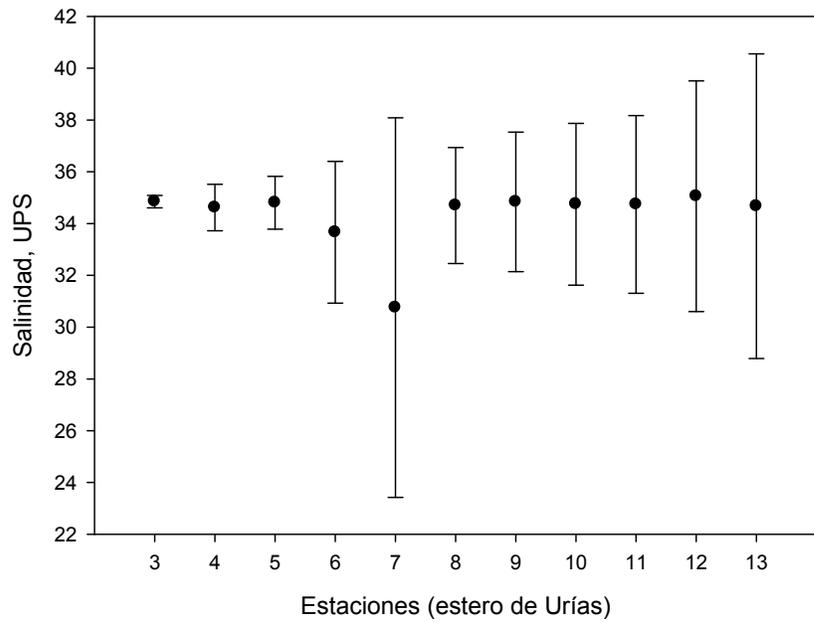
**Figura 54.** Oxígeno disuelto promedio y desviación estándar para las estaciones de muestreo en el sistema.

#### 6.5.1.4 Salinidad

En lo que respecta a la variable de salinidad, si hubo diferencias entre las épocas tanto de secas cálidas como de secas frías, con respecto a la de lluvias (Fig.55). Sin embargo, en la comparación entre estaciones no se observaron diferencias entre todas las estaciones del sistema (Fig.56). Los resultados se observan en los anexos (Tablas de anexos XIa y XIb).



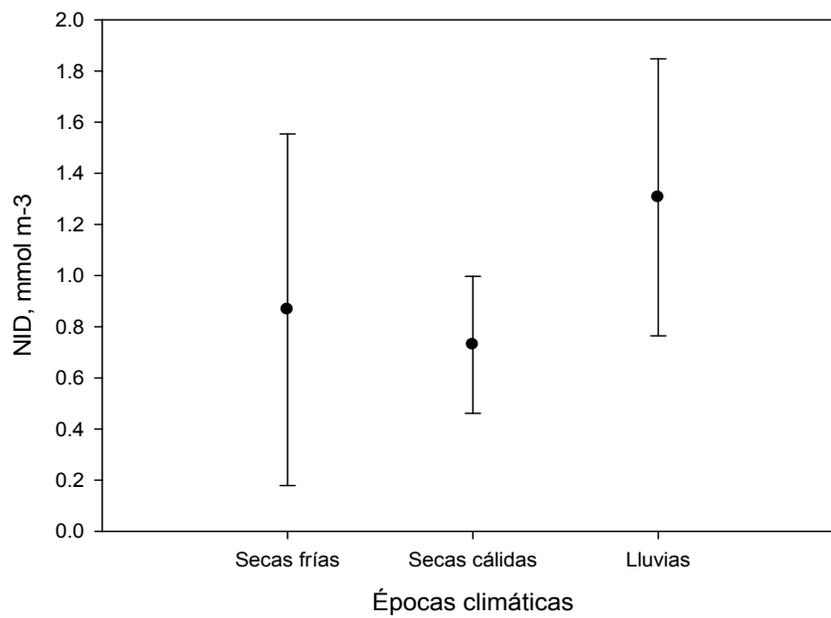
**Figura 55.** Salinidad promedio y desviación estándar para las tres época climáticas en el sistema.



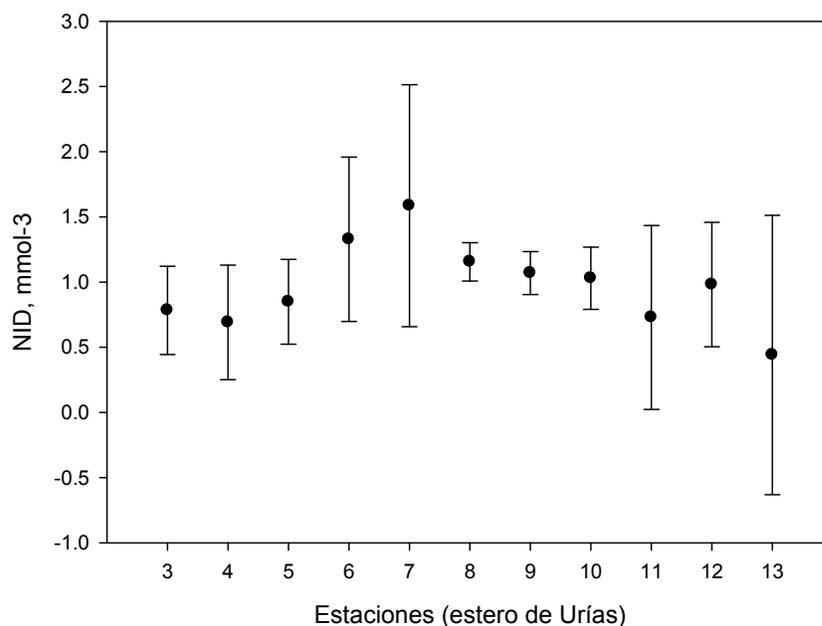
**Figura 56.** Salinidad promedio y desviación estándar para las estaciones de muestreo del sistema.

### 6.5.1.5 NID

En el caso del NID, solamente se encontraron diferencias significativas entre las épocas de lluvias y secas cálidas (Fig.57). En la comparación entre estaciones no se encontraron diferencias significativas (Fig.58). Los datos de la prueba se observan en las tablas de anexos XIIa y XIIb.



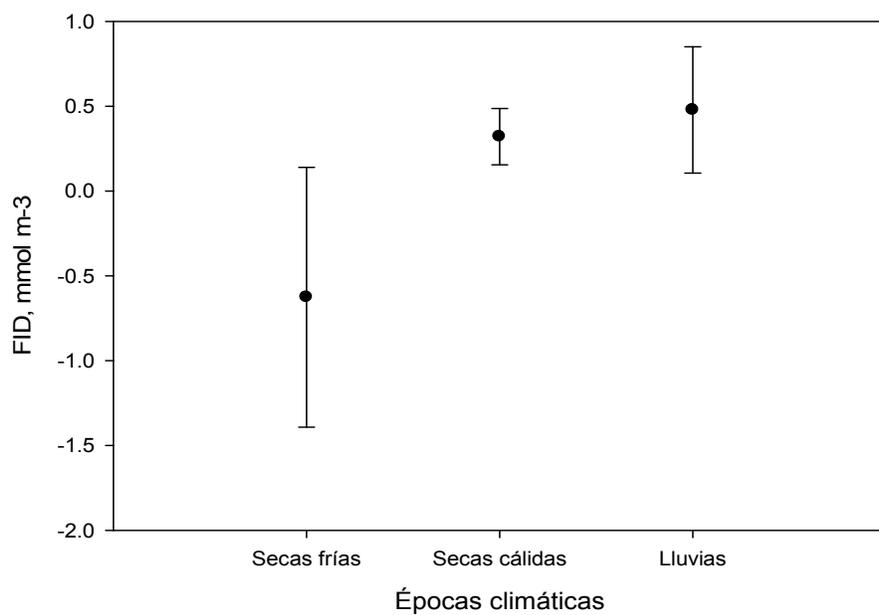
**Figura 57.** Salinidad promedio y desviación estándar para las tres época climáticas en el sistema.



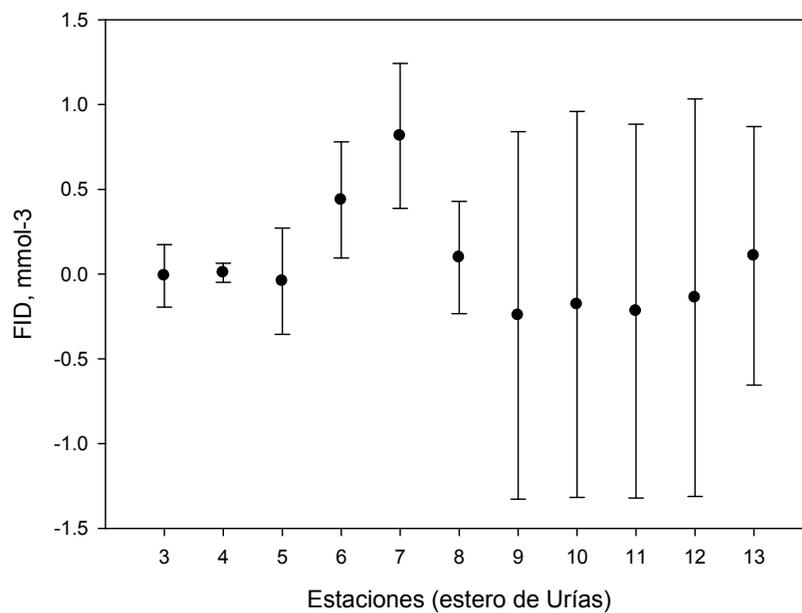
**Figura 58.** NID promedio y desviación estándar para las estaciones de muestreo del sistema

#### 6.5.1.6 FID

En base a los resultados obtenidos para el FID, hubo diferencias significativas entre las épocas de lluvias y secas frías, además de secas cálidas con secas frías (Fig.59). sin embargo, en la comparación entre estaciones del sistema no se observaron diferencias significativas (Fig.60).. Los resultados se observan en los anexos (Tablas de anexos XIIIa y XIIIb).



**Figura 59.** FID promedio y desviación estándar para las tres época climáticas en el sistema.



**Figura 60.** FID promedio y desviación estándar para las estaciones de muestreo del sistema.

## 6.5.2 Correlación de Pearson

### 6.5.2.1 Secas frías

En la tabla 13 se muestran los resultados de la prueba de correlación múltiple realizadas a las variables analizadas en las estaciones del estero de Urías para la época de secas frías. En general, se observó una correlación significativa positiva entre las variables de temperatura-oxígeno disuelto, pH-oxígeno disuelto y NID-FID, incrementándose conjuntamente entre ellas. Por otra parte, las variables con correlaciones significativas negativas fueron salinidad-NID y salinidad-FID, es decir estas variables se correlacionaron inversamente.

**Tabla 13.** Resultados del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables analizadas para la época de secas frías.

Secas frías	Promedio	DE	Temp	OD	pH	Sal	NID	FID
Temp	21.95170	2.180592	1.000000					
OD	8.06426	0.092198	0.898449	1.000000				
pH	6.44499	0.732192	0.550943	0.775593	1.000000			
Sal	35.56506	1.027250	0.291525	0.394197	0.362046	1.000000		
NID	0.86663	0.687293	-0.403209	-0.460541	-0.584265	-0.835798	1.000000	
FID	-0.62614	0.765651	-0.285123	-0.540852	-0.517908	-0.867030	0.604745	1.000000

### 6.5.2.2 Secas cálidas

En secas cálidas, las correlaciones significativas positivas fueron entre las variables pH-oxígeno disuelto, salinidad-FID y temperatura-NID, mientras que las variables con correlaciones significativas negativas fueron salinidad-oxígeno disuelto, oxígeno disuelto-FID, pH-salinidad y pH-NID (Tabla 14). La correlación negativa salinidad-oxígeno disuelto

sugiere que sales disueltas en agua reducen los espacios intermoleculares disponibles para la disolución del oxígeno.

**Tabla 14.** Resultados del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables analizadas para la época de secas cálidas.

Secas cálidas	Promedio	DE	Temp	OD	pH	Sal	NID	FID
Temp	32.68112	2.077133	1.000000					
OD	7.98373	0.132544	-0.319121	1.000000				
pH	5.32392	0.977928	-0.469854	0.798572	1.000000			
Sal	36.58143	1.238428	0.440787	-0.973946	-0.751872	1.000000		
NID	0.72945	0.267741	0.658039	-0.442378	-0.727453	0.403568	1.000000	
FID	0.32041	0.166058	0.546631	-0.723097	-0.434083	0.747189	0.565874	1.000000

### 6.5.2.3 Lluvias

En la tabla 15 se muestran los resultados de la prueba de correlación de Pearson, realizadas a las variables analizadas en las estaciones del estero de Urías para la época de lluvias. En general, se observó una correlación significativa positiva entre las variables de temperatura-NID, temperatura-FID, oxígeno disuelto-pH y NID-FID incrementándose conjuntamente entre ellas. Por otra parte, las variables con correlaciones negativas fueron temperatura-salinidad, salinidad-NID y salinidad-FID. Estas dos últimas correlaciones sugieren que la productividad en el estero de Urías aumentó cuando las precipitaciones aparecieron, esta condición producto de un mayor aporte de flujo de agua y de nutrientes hacia el sistema.

**Tabla 15.** Resultados del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables analizadas para la época de lluvias.

Lluvias	Promedio	DE	Temp	OD	pH	Sal	NID	FID
Temp	33.38751	0.871873	1.000000					
OD	7.96625	0.193923	-0.101130	1.000000				
pH	7.00132	2.674862	0.247282	0.770805	1.000000			
Sal	30.78995	3.348347	-0.725045	0.194642	-0.440503	1.000000		
NID	1.30601	0.541172	0.800437	-0.080670	0.475929	-0.919241	1.000000	
FID	0.47780	0.372737	0.786679	-0.112172	0.465576	-0.932269	0.990906	1.000000

#### 6.5.2.4 Anual

Durante el año, las correlaciones significativas positivas fueron entre las variables pH-oxígeno disuelto, temperatura-FID y NID-FID, esta última correlación sugiere que las concentraciones de nutrientes aumentaban conjuntamente según las condiciones de las épocas, como en el caso de lluvias, donde los nutrientes en el sistema aumentan.

En contraparte, las variables con correlaciones significativas negativas fueron FID-oxígeno disuelto, pH-salinidad, salinidad-NID y salinidad-FID (Tabla 16).

**Tabla 16.** Resultados anuales del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables analizadas

SF-SC-LL	Promedio	DE	Temp	OD	pH	Sal	NID	FID
Temp	29.34011	5.595066	1.000000					
OD	8.00475	0.147570	-0.248527	1.000000				
pH	6.25674	1.790017	-0.035609	0.660196	1.000000			
Sal	34.31215	3.299538	-0.302222	0.117162	-0.504629	1.000000		
NID	0.96736	0.569127	0.156174	-0.255926	0.216281	-0.693401	1.000000	
FID	0.05736	0.693087	0.673836	-0.399744	0.009134	-0.492777	0.559940	1.000000

## VII. CONCLUSIONES

La temperatura superficial del agua del estero de Urías tuvo sus más elevados en las épocas de secas cálidas y lluvias, mientras que los más bajos en secas frías.

En el sistema de Urías, el oxígeno disuelto alcanzó los niveles máximos en lluvias y los mínimos en la época de secas.

En el caso del pH, los valores en el estero de Urías no tuvieron mucha variación entre las diferentes épocas del año.

El estero de Urías, en base a su salinidad, se comportó como antiestuario en las épocas de secas frías y secas cálidas, mientras que en la época de lluvias se comportó como estuario.

En cuanto a nutrientes, el sistema presentó niveles altos de NID y FID, siendo la época de lluvias la que presentó las peores condiciones de calidad de agua por nutrientes, seguido de la época de secas cálidas, y por último la época de seca frías.

El balance de agua fue diferente en todas las épocas muestreadas, existiendo un flujo residual del océano hacia el sistema durante secas frías y un flujo residual del sistema hacia el océano. En el caso del estudio anual existe un flujo residual del sistema hacia el océano.

De acuerdo al balance salino, la estimación del tiempo de recambio de agua del sistema por épocas fue de 26.5, 33.6 y 248.5 días para secas frías, secas cálidas y lluvias respectivamente, no aplicando la fórmula del recambio de agua para lluvias. En tanto para el estudio anual el tiempo de recambio de agua del sistema obtenido fue de 14.3 días.

En base al balance de NID, el sistema se comporta como fuente de NID en secas frías y secas cálidas y como reservorio en lluvias. En todo el año, por su parte, el sistema exporta hacia el océano 2635 ton año<sup>-1</sup>.

El balance de FID indica, que el estero de Urías funciona como fuente de este nutriente en todas las épocas estudiadas. En todo el año, el sistema exporta hacia el océano 280 ton año<sup>-1</sup>.

El MNE, por su parte, apoyan la idea de que el estero de Urías se comporta de manera autotrófica durante todas las épocas del año. En el estudio anual el sistema mantiene un comportamiento autotrófico en una cantidad de 300 gr m<sup>2</sup>.

Con referencia al balance de ( $N_{rij} - N_{desnit}$ ) en el estero de Urías, el nitrógeno tiene un metabolismo del nitrógeno autotrófico en la épocas de secas frías, caso contrario en secas cálidas y lluvias, donde predomina un metabolismo heterotrófico. En el estudio anual el resultado el metabolismo del nitrógeno indica que el estero de Urías tiene un comportamiento heterotrófico en una cantidad de 23 gr m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>.

El estero de Urías durante la época de secas frías se encuentra en una buena capacidad ambiental, aun lejos de llegar al límite de su capacidad de carga. En secas cálidas, el sistema todavía no alcanza su capacidad de carga. En tanto que en lluvias, el

sistema todavía no alcanza su capacidad de carga, pero muy cerca de estarlo. Por su parte, en base a los resultados obtenidos del estudio anual, el sistema todavía no alcanza su capacidad de carga, por lo que la hipótesis planteada no se rechaza.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

Desarrollar estudios de capacidad de carga en el estero de Urías durante varios años para seguir monitoreando las modificaciones en la calidad de agua de este cuerpo de agua, con la finalidad de que todas las personas que de una u otra manera reciben recursos de este sistema sigan aprovechándolo de manera racional y sustentable durante muchos años.

Desarrollar de manera planeada y con bases el crecimiento urbano cerca de los alrededores del sistema, de tal manera que no se impacte el sistema del estero de Urías y no se provoquen condiciones desfavorables de calidad de agua, y sobretodo que exista un estado ambiental adecuado para todas las especies que habitan en él.

Realizar acciones en conjunto, tanto de los organismos e instituciones gubernamentales, las instituciones públicas y privadas de investigación, así como de la población en general con el fin de ayudar a la conservación del estero de Urías.

## IX. LITERATURA CITADA

Álvarez, B. S. and Schwartzlose, R. A. 1979. Masas de agua del Golfo de California. Ciencias Marinas. (6): 43-63.

Álvarez, L. R. and Ramírez, F. A. 1977. Estudio hidrobiológico de los esteros del astillero Urias y la Sirena, adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de Maestría. UNAM., UACPyP-CCH.CCML. pp131.

Álvarez R. 1980. Hidrología y zooplancton de tres estero adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología 7, (1): 177-195.

Brusca, R. C. 1980. Common intertidal invertebrates of the gulf of California . The university of Arizona, pp 513.

Calvario, M. O., Domínguez, J. P., Escobedo, U. D., Ulloa. P. A., Herrera, M. M., Lechuga, D. C., Zarain, H. M. y Pacheco, M. M. 2006. Estudio para determinar la capacidad de carga de los sistemas lagunares del norte y centro del estado de Sinaloa para los proyectos de camarón y peces en jaulas.

Calvario, M. O., Domínguez, J. P y Sánchez, R. M. 2009. Estudio para determinar la capacidad de carga del sistema estuarino de Boca de Camichin, Nayarit.

Camacho, I. V., Ibarra, O. S. and Pournian. T. M. 1997. Comparison of carbon, nitrogen and phosphorus fluxes in Mexican coastal lagoons: Estero del Punta Banda, Baja California. In: LOICZ Reports & Studies, No 10. LOICZ, Texel, The Netherlands, pp 9.

Camacho, I. V., Carriquiry, J. D. and Smith. S. V. 1997. Comparison of carbon, nitrogen and phosphorus fluxes in Mexican coastal lagoons: Bahía de San Quintín, Baja California. In: LOICZ Reports & Studies, No 10. LOICZ, Texel, The Netherlands, pp 4.

Carpenter, J. H., Pritchard D. W. and Whaley R. C. 1969. Observations of eutrophication and nutrient cycles in some coastal plain estuaries: 210-221. *In* Eutrophication: Causes, Consequences, Correctives, Proceedings of an International Symposium on Eutrophication. University of Wisconsin. 1967. NAS Printing and Publishing Office, Washington D.C.

Cloern, J. E., 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series* (210): 223-253.

Contreras, E. F. 1985. Las Lagunas Costeras Mexicanas. Centro de Desarrollo. México, D.F, pp 95-98.

Contreras, F., Castañeda, O. and Torres, R. 1996. Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. *Biol. Trop.* 44 (2): 417-425.

De la Lanza, E. G. y Hernández, T. C. 1990. Balance hidrológico y de nutrientes en un humedal costero del pacifico sur de México. *Hidrobiológica* 11 (2): 133-140.

De la Lanza, E. G. y Rodríguez, M. M. 1993. Caracterización de la Laguna de Caimanero, Sinaloa, México a través de algunas variables geoquímicas. *Ciencias Marinas* 16 (3): 27-44.

De la Lanza, G. 1994. Química de las Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano. México: Universidad Autónoma de Baja California Sur, pp 127-198.

DOF. 1989. Criterios Ecológicos de Calidad de Agua CE-CCA-001/89.

Duarte, C. M. and Cebrian, J. 1996. The fate of autotrophic production in the sea. *Limnology and Oceanography* (41): 1758-1766.

European Environment Agency (EEA). 2001. Eutrophication in Europe's coastal waters. Topic report n ° 7, pp 86.

Eyre, B. D. and Mckee, L. J. 2002. Carbon, nitrogen and phosphorus budget for a shallow subtropical coastal embayment (Moreton Bay, Australia). *Limnology and Oceanography* 47 (4): 1043-1055.

Flores, V. F. J and De la Lanza, E. G. 1997. Comparison of Carbon, Nitrogen and Phosphorus Fluxes in Mexican Coastal Lagoons: Bahía Altata-Ensenada de Pabellón, Sinaloa. LOICZ Reports & Studies No. 10, LOICZ, Texel, The Netherlands, pp 84.

Flores, V. F. J., De la Lanza, E. G. and Wulff, F. 2000. Comparison of Carbon, Nitrogen and Phosphorus Fluxes in Mexican Coastal Lagoons: Teacapán-Agua Brava-Marismas

Nacionales, Sinaloa-Nayarit. LOICZ Reports & Studies No. 10, LOICZ, Texel, The Netherlands, pp 84.

García, E. 1973. Modificaciones al sistema de Clasificación de Kopen. Instituto de Geografía, UNAM, pp 264.

García, G. M. U. 1999. Las raíces de mangle rojo *Rhizophora mangle* como habitat para isópodos (crustacea: pericarida: isopoda) en el sistema estuarino Urías, Sinaloa. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar. Mazatlán, Sinaloa.

Garza, T. E. 1999. Características estructurales de las comunidades de microalgas de la Bahía de Mazatlán durante "El Niño-1997-1998". Memoria Profesional Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, pp 51.

Gordon Jr, D. C., Boudreau, P. R., Mann, K. H., Ong, J. E., Silvert, W. L., Smith, S. V., Wattayakorn, G., Wulff, F. and Yanagi, T. 1996. LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines. In: LOICZ Reports & Studies, No 5. LOICZ, Texel, The Netherlands, pp 96.

Hung, J.J. and Hung, P. Y. 2003. Carbon and nutrient dynamics in a hypertrophic lagoon in southwestern Taiwan. *Journal of Marine Systems* (42): 97-114.

Kemp, W. M., Smith, E. M., Marvin, D. M. and Boynton, W. R. 1997. Organic carbon balance and net ecosystem metabolism in Chesapeake Bay. *Marine Ecology Progress Series* (150): 229-248.

Ketchum, B. H. 1969. Eutrophication of estuaries: 197-209. *In* Eutrophication: Causes, Consequences, Correctives, Proceedings of an International Symposium on Eutrophication. University of Wisconsin. 1967. NAS Printing and Publishing Office, Washington D.C.

Kimmerer, W. J., Smith, S. V. and Hollibaugh, J. T. 1993. A simple heuristic model of nutrient cycling in an estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (37): 145-152.

Lankford, R. A. 1977. Coastal Lagoons of México. Their origin and classification. *Estuarine Processes*. New York: Academia Press. (2): 183-215.

Lechuga, D. C., Mendoza, S. R., Bustillos, G. J., Salinas, Z. C., Díaz, R. M. E., Beltrán, C. C., Amador, S. E., Salinas, Z. F., Bautista, R. J., Balart, P. E., Caraveo, P. Javier., Estrada, E. C., Pacheco, A. C., Rodríguez, V. A., Maya, D. Y., González, Z. P., Rivera, R. J., Magallón, B. F. and Portillo, C. G. 2003. Programa Nacional de Diagnóstico de los Ecosistemas Costeros: Sinaloa.

Lei, G., Dao, J. L. and Ping, X. D. 2008. Nutrient budgets averaged over tidal cycles off the Changjiang (Yangtze River) estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (77): 331-336.

Maldonado, S. E., Ortiz, A., Ramírez, J. A., Mastachi, J. L and Ponce de León, J. M. 1980. Medición de algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos del canal de navegación y áreas adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. UAS, Ciencias del Mar, pp 82.

Montaño, L. Y. y Páez, O. F. 1990. Estudio preliminar del régimen hidráulico del Puerto de Mazatlán, Sinaloa, México. *Geofísica Internacional* (29): 237-247.

Montaño, L. Y., Peraza, V. R. and Páez, O. F. 2008. Tidal hydrodynamics and their implications for the dispersion of effluents in Mazatlan Harbor: An urbanized shallow coastal lagoon. *Water Air Soil Pollut* (194): 343-357.

National Academy of Sciences (NAS). 1969. Eutrophication: Causes, Consequences, Correctives, Proceedings of an International Symposium on Eutrophication. University of Wisconsin. 1967. NAS Printing and Publishing Office, Washington D.C.

Nienhuis, P. H. 1992. Ecology of coastal lagoons in the Netherlands. *Vie Milieu* (42): 59-68.

Nixon, S. W., 1981. Coastal marine eutrophication: a definition, social cause and future concerns. *Ophelia* (41): 199-219.

Nixon, S. W., Granger, S. L. and Nowicki, B. L. 1995. An assessment of annual mass balance of carbon, nitrogen and phosphorus in Narragansett Bay. *Biogeochemistry* (31): 15-23.

NRC (National Research Council). 2000. Clean coastal waters: understanding the effects of nutrient pollution. National Research Council, Committee on the causes and management of eutrophication, Ocean studies Board, Water Science and Technology Board. Washington, DC, pp. 428.

Ochoa, I. M. 1999. Composición y distribución de microalgas en el sistema lagunar de Urías (Mazatlán, Sinaloa, México): variación estacional de la biomasa en relación con la

disponibilidad de nutrientes y algunos factores ambientales. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM. Mazatlán, Sinaloa.

Osuna, L. J., Cervantes, A., Zazueta, H., Roiz, R. and Ibarra, A. 1994. Efectos letales de aguas residuales urbanas sobre organismos acuáticos del estero del Infiernillo, Mazatlán, Sinaloa. *Ciencias del Mar*, UAS. (16) 307-320.

Páez, F., Montañó. and Bojórquez, H. 1990. Intercambio de agua, fósforo y material suspendido entre el sistema lagunar del Puerto de Mazatlán, y las aguas costeras adyacentes. *Contaminación Ambiental* (6): 19-32.

Páez, O. F., Ramírez, R. G., Ruiz, F. A. C. y Soto, J. M. F. 2007. La contaminación por nitrógeno y fósforo en Sinaloa: Flujos, fuentes, efectos y opciones de manejo. Ed. Lagunas costeras de Sinaloa. UNAM, México.

Parsons, T.R., Maita, Y. and Lalli, C.M. 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press, Great Britain.

Pérez V. F. 2007. Determinación de variables físicas, químicas y nutrientes (nitratos y fosfatos) en el estero de estero de Urías y en la bahía de Mazatlán, Sinaloa. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, UAS. Mazatlán, Sinaloa.

Pritchard, D. W. 1967. What is an estuary: Physical viewpoint. In: *Estuarios: Papers Conference on Estuarios Jekyll Island*. Washington: Am. Assoc. Adv. Sci. 3-5, pp. 3-5.

Quiñónez, G. W. 2008. Aportes de nitrógeno por efluentes acuícolas al estero de Urías: Concentración de las especies químicas y composición isotópica. Tesis de licenciatura. ITMAZ. Mazatlán, Sinaloa

Ramírez, Z. J. R. 1998. Estimación de las tendencias de cambio ambiental en el estero de Urías, Sinaloa, México por medio de un análisis multitemporal (1973-1977) con imágenes LANDSAT. Tesis de Maestría en Ciencias. CIAD, Unidad Mazatlán, Mazatlán, Sinaloa, México.

Redfield, A. C. 1934. On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton. James Johnstone Memorial Volume. Ed. R.J. Daniel). University Press of Liverpool, pp. 177-192.

Roden, G. I. 1964. In: A Symposium Marine Geology of the Gulf of California, Memoir Oceanographic aspects of Gulf of California (3): 30-58.

Ruiz, L. A. and Berlanga, R. C. 1999. Modifications in coverage patterns land use in the landscape around the Huizache-Caimanero lagoon system, Sinaloa, México: A multitemporal analysis using Landsat images. *Estuarine Coastal and Shelf Science* (49): 37-44

Smith, S. V., Hollibaugh, J. T., Dollar, S. J and Vink, S. 1991. Tomales Bay metabolism: C-N-P Stoichiometry and ecosystem heterotrophy at the land-sea interface. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (33): 223-257.

Smith, S. V. and Atkinson, M. J. 1994. Mass balance of nutrient flux in coastal lagoons. In: B. Kjerve (ed.), Coastal Lagoons Processes. *Elsevier*. Amsterdam, The Netherlands, pp. 133-155..

Smith, S. V., Swaney, D. P., Talaue., M. L., Bartley, J. D., Sandhei, P. T., Mclaughlin, C. J., Dupra, V. C., Crossland, C.J., Buddemeier, R. W., Maxwell, B. A. and Wulff, F. 2003. Humans, hydrology, and the distribution of inorganic nutrient loading to the ocean. *BioScience* (53): 235-245.

Smith, S. V., Buddemeier, R. W., Wulff, F. and Swaney, D. P. 2005. C, N, P fluxes in coastal zone. In: Crossland, C. J., Kremer, H. H., Lindeboom, H. J., Marshall, C. J. I. and Le Tissier, M. D. A. (Eds.), Coastal Fluxes in the Anthropocene. The IGBP Series. *Springer* (20): 95-143.

Sylaios, G. K and Tsihrintzis, V. A. 2009. A Budget Model to Scale Nutrient Biogeochemical Cycles in Two Semienclosed Gulfs. *Environ Model Assess* (14): 59-72

Talaue, M. L., Smith, S. V. and Buddemeir, R. W. 2003. Biophysical and socio - economic assessment of the coastal zone: the LOICZ approach. *Ocean and Coastal Management* (46): 323-333.

Tappin, A. D. 2002. An examination of the fluxes of nitrogen and phosphorus in temperate and tropical estuaries: current estimates and uncertainties. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (55): 885-901.

Valenzuela, S. M., Arreola, L. J. A., Padilla, A. G. y Sánchez, C. S. 2007. Flujos de nutrientes y metabolismo neto de la Laguna costera Lobos, México. *Hidrobiologica*, 17 (3): 193-202.

Villalba, L. A. 1986. Descripción general del estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa. *Ciencias del Mar*, UAS (8): 32-37.

Wattayakorn, G., Prapong, P. and Noichareon, D. 2001. Biogeochemical budgets and processes in Bandon Bay, Suratthani, Thailand. *Journal of Sea Research* 46: 133-142.

## X. ANEXOS

Tabla I. Resultados de parámetros de campo en las estaciones de secas frías (febrero del 2011).

Estaciones	Temperatura (°C)	pH	Salinidad (UPS)	Oxígeno disuelto (mg L <sup>-1</sup> )
1	19.19 ± 0.01	8.24 ± 0.00	35.01 ± 0.01	8.65 ± 0.03
2	19.19 ± 0.01	8.24 ± 0.00	35.00 ± 0.01	8.64 ± 0.02
3	18.04 ± 0.02	7.94 ± 0.01	34.88 ± 0.01	6.46 ± 0.02
4	19.07 ± 0.03	7.94 ± 0.01	35.05 ± 0.01	5.77 ± 0.03
5	19.78 ± 0.05	7.97 ± 0.00	35.19 ± 0.02	6.00 ± 0.08
6	22.70 ± 0.13	8.04 ± 0.01	34.73 ± 0.07	5.42 ± 0.05
7	24.51 ± 0.08	8.14 ± 0.03	33.61 ± 0.04	6.99 ± 0.05
8	20.88 ± 0.03	7.99 ± 0.00	35.31 ± 0.03	5.42 ± 0.05
9	22.48 ± 0.04	8.17 ± 0.01	35.99 ± 0.03	7.19 ± 0.10
10	22.86 ± 0.04	8.14 ± 0.02	36.18 ± 0.03	6.52 ± 0.14
11	24.15 ± 0.08	8.19 ± 0.03	36.38 ± 0.03	7.65 ± 0.03
12	23.10 ± 0.02	8.08 ± 0.01	36.95 ± 0.05	6.49 ± 0.08
13	23.89 ± 0.06	8.12 ± 0.01	36.94 ± 0.04	6.99 ± 0.03
14	21.31 ± 0.06	7.74 ± 0.00	0.41 ± 0.00	2.43 ± 0.03
15	21.12 ± 0.10	8.04 ± 0.00	0.70 ± 0.00	4.97 ± 0.01
16	25.46 ± 0.03	7.87 ± 0.00	0.38 ± 0.00	6.84 ± 0.03
17	22.63 ± 0.01	7.80 ± 0.00	0.66 ± 0.00	8.44 ± 0.01
18	23.32 ± 0.09	8.16 ± 0.01	1.76 ± 0.02	9.99 ± 0.07
19	20.79 ± 0.09	7.75 ± 0.02	0.87 ± 0.00	8.17 ± 0.05
20	21.66 ± 0.02	8.26 ± 0.02	0.50 ± 0.00	9.29 ± 0.05

Tabla II. Resultados de parámetros de campo en las estaciones de secas cálidas (junio del 2011).

Estaciones	Temperatura (°C)	pH	Salinidad (UPS)	Oxígeno disuelto (mg L <sup>-1</sup> )
1	30.07 ± 0.01	8.19 ± 0.01	35.00 ± 0.00	6.88 ± 0.01
2	30.00 ± 0.01	8.19 ± 0.01	34.99 ± 0.01	6.87 ± 0.02
3	30.18 ± 0.01	8.12 ± 0.01	35.07 ± 0.01	6.10 ± 0.11
4	30.53 ± 0.02	8.14 ± 0.01	35.22 ± 0.02	6.47 ± 0.04
5	30.98 ± 0.02	8.08 ± 0.01	35.58 ± 0.02	5.72 ± 0.19
6	31.57 ± 0.01	8.08 ± 0.00	35.71 ± 0.01	6.00 ± 0.03
7	32.13 ± 0.05	8.02 ± 0.01	36.23 ± 0.02	6.84 ± 0.16
8	33.06 ± 0.05	7.96 ± 0.01	36.56 ± 0.02	4.48 ± 0.10
9	33.90 ± 0.04	7.96 ± 0.00	36.77 ± 0.01	4.59 ± 0.07
10	35.22 ± 0.01	7.99 ± 0.00	36.90 ± 0.01	5.07 ± 0.04
11	37.09 ± 0.35	7.98 ± 0.02	37.04 ± 0.02	5.01 ± 0.58
12	32.69 ± 0.01	7.75 ± 0.00	38.25 ± 0.02	3.62 ± 0.02
13	32.15 ± 0.01	7.74 ± 0.00	39.07 ± 0.00	4.65 ± 0.06
14	29.17 ± 0.01	7.13 ± 0.01	0.00 ± 0.00	3.81 ± 0.05
15	27.50 ± 0.01	7.29 ± 0.01	0.50 ± 0.00	0.46 ± 0.05
16	31.38 ± 0.02	7.47 ± 0.01	0.00 ± 0.00	7.05 ± 0.01
17	33.29 ± 0.03	8.16 ± 0.01	0.66 ± 0.00	11.92 ± 0.20
18	33.21 ± 0.20	8.37 ± 0.01	2.18 ± 0.01	8.74 ± 0.10
19	32.50 ± 0.01	8.16 ± 0.01	0.90 ± 0.00	7.40 ± 0.08
20	29.95 ± 0.04	7.16 ± 0.01	0.00 ± 0.00	7.55 ± 0.01
21	36.53 ± 0.05	7.29 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.25 ± 0.06
22	30.46 ± 0.01	8.00 ± 0.01	52.74 ± 0.01	2.77 ± 0.04
23	28.88 ± 0.07	7.58 ± 0.01	35.00 ± 0.00	3.65 ± 0.05
24	31.65 ± 0.02	7.32 ± 0.00	53.13 ± 0.06	7.60 ± 0.03
25	31.56 ± 0.15	7.97 ± 0.01	2.94 ± 1.07	3.76 ± 0.06
26	29.99 ± 0.10	6.69 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.40 ± 0.15

Tabla III. Resultados de parámetros de campo en las estaciones de lluvias (septiembre del 2011).

Estaciones	Temperatura (°C)	pH	Salinidad (UPS)	Oxígeno disuelto (mg L <sup>-1</sup> )
1	31.75 ± 0.01	8.12 ± 0.00	34.99 ± 0.00	6.59 ± 0.01
2	31.64 ± 0.02	8.12 ± 0.00	34.93 ± 0.01	6.50 ± 0.01
3	31.65 ± 0.01	8.10 ± 0.01	34.59 ± 0.03	7.17 ± 0.12
4	32.56 ± 0.01	8.12 ± 0.00	33.59 ± 0.01	7.98 ± 0.10
5	32.41 ± 0.01	8.07 ± 0.01	33.65 ± 0.02	7.24 ± 0.42
6	33.81 ± 0.10	8.07 ± 0.01	30.56 ± 0.19	8.79 ± 0.06
7	34.65 ± 0.07	8.15 ± 0.01	22.43 ± 0.21	13.53 ± 0.39
8	33.47 ± 0.02	8.03 ± 0.00	32.21 ± 0.01	6.82 ± 0.05
9	33.90 ± 0.01	7.98 ± 0.00	31.76 ± 0.04	6.33 ± 0.05
10	33.94 ± 0.03	7.91 ± 0.01	31.16 ± 0.01	5.89 ± 0.01
11	33.85 ± 0.02	7.93 ± 0.01	30.79 ± 0.05	5.64 ± 0.06
12	33.94 ± 0.02	7.79 ± 0.01	29.97 ± 0.02	4.43 ± 0.04
13	33.09 ± 0.02	7.48 ± 0.01	27.99 ± 0.07	3.19 ± 0.02
14	31.65 ± 0.02	7.03 ± 0.02	0.65 ± 0.01	6.77 ± 0.04
15	29.43 ± 0.01	7.66 ± 0.01	0.84 ± 0.00	0.20 ± 0.03
16	32.54 ± 0.03	7.91 ± 0.01	3.80 ± 0.00	6.30 ± 0.02
17	31.67 ± 0.02	7.29 ± 0.00	0.88 ± 0.01	1.50 ± 0.01
18	33.75 ± 0.04	8.53 ± 0.01	1.84 ± 0.00	28.69 ± 0.24
19	31.95 ± 0.04	7.48 ± 0.01	11.85 ± 0.02	1.63 ± 0.16
20	36.58 ± 0.07	8.42 ± 0.03	3.22 ± 0.01	20.19 ± 0.10
21	35.59 ± 0.01	8.29 ± 0.02	8.28 ± 0.01	10.49 ± 0.03
22	31.65 ± 0.02	8.51 ± 0.01	20.99 ± 0.01	3.83 ± 0.10
23	32.26 ± 0.01	8.22 ± 0.00	25.06 ± 0.01	3.08 ± 0.02
24	36.29 ± 0.03	8.54 ± 0.00	23.46 ± 0.01	11.63 ± 0.02
25	46.93 ± 0.28	8.31 ± 0.00	29.76 ± 0.07	4.18 ± 0.01
26	28.42 ± 0.02	7.25 ± 0.01	1.21 ± 0.01	0.25 ± 0.15

Estaciones	Temperatura (°C)	pH	Salinidad (UPS)	Oxígeno disuelto (mg L-1)
27	31.69 ± 0.01	8.41 ± 0.02	21.60 ± 0.01	3.73 ± 0.02
28	33.52 ± 0.07	8.36 ± 0.01	20.57 ± 0.00	13.02 ± 0.10
29	32.58 ± 0.02	7.41 ± 0.01	2.94 ± 0.00	1.49 ± 0.02
30	32.65 ± 0.02	8.45 ± 0.00	11.06 ± 0.02	12.43 ± 0.03
31	29.59 ± 0.08	7.23 ± 0.01	0.49 ± 0.01	1.52 ± 0.03
32	31.64 ± 0.01	7.19 ± 0.01	0.78 ± 0.00	1.49 ± 0.01
33	31.36 ± 0.04	7.14 ± 0.01	0.80 ± 0.01	1.52 ± 0.03

Tabla IV. Resultados de parámetros químicos en las estaciones de secas frías (febrero del 2011).

Estaciones	N-NH <sub>4</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	N-NO <sub>3</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	N-NO <sub>2</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	P-PO <sub>4</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	NID (mmol m <sup>-3</sup> )	FID (mmol m <sup>-3</sup> )
1	1.142 ± 0.001	0.871	0.071 ± 0.019	0.032 ± 0.138	2.085 ± 0.019	0.032 ± 0.138
2	0.643 ± 0.133	0.429	0.071 ± 0.002	0.032 ± 0.279	1.143 ± 0.133	0.032 ± 0.279
3	1.928 ± 0.099	11.348	0.346 ± 0.031	0.6 ± 0.096	13.621 ± 0.104	0.6 ± 0.096
4	4.712 ± 0.465	9.469	0.396 ± 0.027	0.876 ± 0.598	14.577 ± 0.466	0.876 ± 0.598
5	5.854 ± 0.082	9.867	0.305 ± 0.026	0.395 ± 0.164	16.027 ± 0.086	0.395 ± 0.164
6	23.489 ± 0.698	5.279	0.615 ± 0.038	1.665 ± 0.075	29.383 ± 0.699	1.665 ± 0.075
7	35.626 ± 0.251	5.600	0.958 ± 0.059	3.851 ± 0.128	42.184 ± 0.258	3.851 ± 0.128
8	12.565 ± 0.418	8.188	0.365 ± 0.01	0.529 ± 0.13	21.118 ± 0.418	0.529 ± 0.13
9	5.426 ± 0.436	2.206	0.071 ± 0.016	0.032 ± 0.197	7.703 ± 0.436	0.032 ± 0.197
10	7.425 ± 0.738	0.846	0.071 ± 0.084	0.032 ± 0.049	8.343 ± 0.743	0.032 ± 0.049
11	0.5 ± 0.187	0.356	0.071 ± 0.044	0.032 ± 0.055	0.928 ± 0.192	0.032 ± 0.055
12	3.07 ± 0.482	0.071	0.071 ± 0.1	0.032 ± 0.085	3.213 ± 0.492	0.032 ± 0.085
13	0.071 ± 0.115	0.071	0.071 ± 0.01	0.171 ± 0.147	0.214 ± 0.115	0.171 ± 0.147
14	0.011 ± 0.000	0.087	0.004 ± 0.000	0.027 ± 0.000	0.102 ± 0.000	0.027 ± 0.000
15	1.238 ± 0.016	0.001	0.654 ± 0.007	0.58 ± 0.001	1.893 ± 0.017	0.58 ± 0.001
16	331.33 ± 9.477	239.744	22.594 ± 0.201	25.991 ± 0.556	593.668 ± 9.479	25.991 ± 0.556
17	13.542 ± 0.319	0.381	0.245 ± 0.011	3.024 ± 0.084	14.168 ± 0.319	3.024 ± 0.084
18	193.099 ± 14.325	0.530	0.157 ± 0.016	11.412 ± 0.198	193.786 ± 0.325	11.412 ± 0.198
19	1.359 ± 0.103	1.203	0.126 ± 0.005	0.415 ± 0.008	2.688 ± 0.103	0.415 ± 0.008
20	1.93 ± 0.082	2.450	1.054 ± 0.034	0.168 ± 0.001	5.4344 ± 0.089	0.168 ± 0.001

Tabla V. Resultados de parámetros químicos en las estaciones de secas cálidas (junio del 2011).

Estaciones	N-NH <sub>4</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	N-NO <sub>3</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	N-NO <sub>2</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	P-PO <sub>4</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	NID (mmol m <sup>-3</sup> )	FID (mmol m <sup>-3</sup> )
1	0.187 ± 0.097	1.204	0.071 ± 0.012	0.832 ± 0.042	1.462 ± 0.098	0.832 ± 0.042
2	0.294 ± 0.25	1.229	0.071 ± 0.012	1.136 ± 0.043	1.594 ± 0.25	1.136 ± 0.043
3	1.084 ± 0.193	1.590	0.203 ± 0.03	1.298 ± 0.087	2.877 ± 0.195	1.298 ± 0.087
4	0.702 ± 0.007	1.031	0.242 ± 0.015	1.1 ± 0.258	1.976 ± 0.017	1.1 ± 0.258
5	2.242 ± 0.233	1.213	0.245 ± 0.003	1.312 ± 0.058	3.67 ± 0.233	1.312 ± 0.058
6	2.615 ± 0.141	1.450	0.292 ± 0.016	1.812 ± 0.366	4.357 ± 0.142	1.812 ± 0.366
7	2.713 ± 0.075	1.322	0.325 ± 0.002	3.557 ± 0.255	4.360 ± 0.075	3.557 ± 0.255
8	10.287 ± 1.003	1.446	0.435 ± 0.002	2.253 ± 0.04	12.168 ± 1.003	2.253 ± 0.04
9	11.122 ± 0.413	1.418	0.472 ± 0.02	2.361 ± 0.203	13.012 ± 0.413	2.361 ± 0.203
10	5.714 ± 0.357	0.925	0.682 ± 0.055	2.532 ± 0.217	7.322 ± 0.361	2.532 ± 0.217
11	5.526 ± 0.249	1.156	0.528 ± 0.184	2.405 ± 0.086	7.21 ± 0.310	2.405 ± 0.086
12	8.203 ± 0.084	0.768	0.514 ± 0.21	2.927 ± 0.278	9.485 ± 0.226	2.927 ± 0.278
13	2.451 ± 0.025	0.620	0.265 ± 0.044	2.923 ± 0.191	3.336 ± 0.051	2.923 ± 0.191
14	1.297 ± 0.065	205.428	0.3 ± 0.001	2.323 ± 0.013	207.025 ± 0.065	2.323 ± 0.013
15	0.651 ± 0.006	0.001	0.001 ± 0.000	0.083 ± 0.001	0.652 ± 0.006	0.083 ± 0.001
16	3.803 ± 0.211	8942.229	2.092 ± 0.015	77.015 ± 1.468	8948.124 ± 0.212	77.015 ± 1.468
17	19.166 ± 1.277	0.107	0.066 ± 0.006	6.925 ± 0.166	19.339 ± 1.277	6.925 ± 0.166
18	5.082 ± 0.066	1.636	2.388 ± 0.149	4.693 ± 0.376	9.106 ± 0.163	4.693 ± 0.376
19	1.173 ± 0.032	0.105	0.038 ± 0.005	0.63 ± 0.01	1.316 ± 0.032	0.63 ± 0.01
20	6.867 ± 0.697	3.445	0.5 ± 0.012	0.335 ± 0.021	10.812 ± 0.697	0.335 ± 0.021
21	1.751 ± 0.112	0.007	0.001 ± 0.000	0.138 ± 0.003	1.758 ± 0.112	0.138 ± 0.003
22	0.001 ± 0.000	0.002	0.001 ± 0.000	0.004 ± 0.000	0.003 ± 0.000	0.004 ± 0.000
23	0.003 ± 0.000	0.018	0.001 ± 0.000	0.04 ± 0.001	0.022 ± 0.000	0.04 ± 0.001
24	0.077 ± 0.032	0.430	0.022 ± 0.001	0.595 ± 0.028	0.529 ± 0.032	0.595 ± 0.028
25	1.896 ± 0.15	0.001	0.006 ± 0.001	0.034 ± 0.002	1.903 ± 0.15	0.034 ± 0.002
26	0.464 ± 0.017	0.001	0.001 ± 0.000	0.027 ± 0.001	0.465 ± 0.699	0.027 ± 0.001

Tabla VI. Resultados de parámetros químicos en las estaciones de lluvias (septiembre del 2011).

Estaciones	N-NH <sub>4</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	N-NO <sub>3</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	N-NO <sub>2</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	P-PO <sub>4</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	NID (mmol m <sup>-3</sup> )	FID (mmol m <sup>-3</sup> )
1	0.749 ± 0.708	0.088	0.157 ± 0.136	0.509 ± 0.077	0.994 ± 0.721	0.509 ± 0.077
2	0.071 ± 0.188	0.170	0.071 ± 0.088	0.757 ± 0.210	0.313 ± 0.208	0.757 ± 0.210
3	1.431 ± 0.001	3.299	0.979 ± 0.078	1.195 ± 0.088	5.71 ± 0.078	1.195 ± 0.088
4	1.012 ± 0.039	2.052	1.036 ± 0.092	1.093 ± 0.098	4.1 ± 0.1	1.093 ± 0.098
5	1.641 ± 0.279	3.095	1.179 ± 0.118	1.440 ± 0.097	5.915 ± 0.233	1.440 ± 0.097
6	71.619 ± 1.497	2.206	1.44 ± 0.014	6.795 ± 0.312	75.264 ± 1.497	6.795 ± 0.312
7	285.375 ± 28.103	17.801	8.293 ± 0.043	20.313 ± 0.5	311.469 ± 28.103	20.313 ± 0.5
8	5.601 ± 0.395	4.276	1.498 ± 0.027	1.644 ± 0.087	11.374 ± 0.396	1.644 ± 0.087
9	8.334 ± 0.115	6.101	1.666 ± 0.14	2.461 ± 0.033	16.1 ± 0.181	2.461 ± 0.033
10	14.179 ± 0.661	4.209	1.691 ± 0.014	3.548 ± 0.199	20.079 ± 0.661	3.548 ± 0.199
11	17.144 ± 0.612	3.841	1.930 ± 0.12	2.843 ± 0.292	22.915 ± 0.624	2.843 ± 0.292
12	22.653 ± 0.321	4.258	1.942 ± 0.02	4.036 ± 0.202	28.853 ± 0.322	4.036 ± 0.202
13	24.732 ± 0.615	3.326	1.377 ± 0.034	4.212 ± 0.245	29.436 ± 0.616	4.212 ± 0.245
14	102.344 ± 0.637	0.303	0.674 ± 0.034	5.982 ± 0.026	103.32 ± 0.638	5.982 ± 0.026
15	80.4 ± 0.715	0.343	0.442 ± 0.002	5.656 ± 0.025	81.185 ± 0.715	5.656 ± 0.025
16	30.936 ± 2.035	539.519	43.771 ± 0.733	79.931 ± 0.456	614.226 ± 2.163	79.931 ± 0.456
17	677.444 ± 19.283	172.314	0.784 ± 0.01	49.966 ± 0.456	850.542 ± 19.283	49.966 ± 0.456
18	6.334 ± 0.341	450.821	115.074 ± 1.886	8.607 ± 0.287	1349.385 ± 1.917	8.607 ± 0.287
19	21.061 ± 0.874	0.312	0.033 ± 0.001	1.342 ± 0.022	0.515 ± 0.874	1.342 ± 0.022
20	21.651 ± 2.567	2238.527	23.145 ± 0.206	4.46 ± 0.168	2283.323 ± 2.575	4.46 ± 0.168
21	0.004 ± 0.000	0.001	0.001 ± 0.000	0.006 ± 0.000	0.006 ± 0.000	0.006 ± 0.000
22	0.003 ± 0.000	0.002	0.001 ± 0.000	0.003 ± 0.001	0.006 ± 0.000	0.003 ± 0.001
23	0.021 ± 0.000	0.018	0.002 ± 0.001	0.027 ± 0.005	0.041 ± 0.001	0.027 ± 0.005
24	0.394 ± 0.048	0.430	0.042 ± 0.018	0.138 ± 0.019	0.867 ± 0.051	0.138 ± 0.019
25	7.049 ± 0.386	0.089	0.042 ± 0.002	0.099 ± 0.009	2.939 ± 0.386	0.099 ± 0.009
26	0.184 ± 0.012	0.001	0.001 ± 0.000	0.011 ± 0.000	7.181 ± 0.012	0.011 ± 0.000

Estaciones	N-NH <sub>4</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	N-NO <sub>3</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	N-NO <sub>2</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	P-PO <sub>4</sub> (mmol m <sup>-3</sup> )	NID (mmol m <sup>-3</sup> )	FID (mmol m <sup>-3</sup> )
27	0.1 ± 0.002	0.005	0.012 ± 0.003	0.169 ± 0.009	0.185 ± 0.004	0.169 ± 0.009
28	1.938 ± 0.078	0.932	0.07 ± 0.009	1.574 ± 0.161	0.117 ± 0.079	1.574 ± 0.161
29	484.837 ± 30.987	0.074	0.197 ± 0.007	41.902 ± 0.496	485.109 ± 30.987	41.902 ± 0.496
30	1.653 ± 0.114	0.848	0.024 ± 0.001	0.268 ± 0.002	2.525 ± 0.114	0.268 ± 0.002
31	284.580 ± 2.596	0.013	0.35 ± 0.002	24.567 ± 0.197	284.943 ± 2.596	24.567 ± 0.197
32	660.954 ± 13.19	0.030	0.958 ± 0.02	54.279 ± 0.302	661.943 ± 13.190	54.279 ± 0.302
33	46.573 ± 0.496	0.002	0.145 ± 0.002	3.95 ± 0.087	46.72 ± 0.496	3.95 ± 0.087

Tabla VIIIa. Resultados de la comparación de temperatura entre épocas obtenida de la prueba de Holm-Sidak.

Comparaciones por factor: épocas				
Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050
Lluvias vs. Secas frías	11.436	22.613	<0.001	Yes
Secas cálidas vs. Secas frías	10.729	21.216	<0.001	Yes
Lluvias vs. Secas cálidas	0.706	1.397	0.178	No

Tabla VIIIb. Resultados de la comparación de temperatura entre estaciones obtenida de la prueba de Holm-Sidak.

Comparaciones por factor: estaciones				
Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050
11.000 vs. 3.000	5.072	5.238	0.002	Yes
11.000 vs. 4.000	4.31	4.45	0.013	Yes
10.000 vs. 3.000	4.048	4.18	0.024	Yes
11.000 vs. 5.000	3.969	4.099	0.029	Yes
7.000 vs. 3.000	3.806	3.931	0.041	Yes
9.000 vs. 3.000	3.471	3.585	0.089	No
12.000 vs. 3.000	3.287	3.395	0.132	No
10.000 vs. 4.000	3.286	3.393	0.13	No
13.000 vs. 3.000	3.089	3.19	0.195	No
7.000 vs. 4.000	3.044	3.143	0.21	No
10.000 vs. 5.000	2.945	3.042	0.252	No
6.000 vs. 3.000	2.737	2.826	0.37	No
9.000 vs. 4.000	2.709	2.797	0.382	No
7.000 vs. 5.000	2.704	2.792	0.378	No
11.000 vs. 8.000	2.558	2.642	0.476	No
12.000 vs. 4.000	2.525	2.607	0.494	No
8.000 vs. 3.000	2.514	2.596	0.493	No
9.000 vs. 5.000	2.368	2.446	0.6	No
11.000 vs. 6.000	2.335	2.412	0.617	No
13.000 vs. 4.000	2.326	2.402	0.615	No

12.000 vs. 5.000	2.184	2.256	0.717	No
13.000 vs. 5.000	1.986	2.051	0.846	No
11.000 vs. 13.000	1.983	2.048	0.839	No
6.000 vs. 4.000	1.974	2.039	0.836	No
11.000 vs. 12.000	1.785	1.843	0.925	No
8.000 vs. 4.000	1.751	1.808	0.932	No
6.000 vs. 5.000	1.634	1.687	0.963	No
11.000 vs. 9.000	1.601	1.653	0.966	No
10.000 vs. 8.000	1.534	1.585	0.976	No
8.000 vs. 5.000	1.411	1.457	0.989	No
10.000 vs. 6.000	1.311	1.354	0.995	No
7.000 vs. 8.000	1.293	1.335	0.995	No
11.000 vs. 7.000	1.266	1.307	0.995	No
5.000 vs. 3.000	1.103	1.139	0.999	No
7.000 vs. 6.000	1.069	1.104	0.999	No
11.000 vs. 10.000	1.024	1.057	0.999	No
10.000 vs. 13.000	0.96	0.991	1	No
9.000 vs. 8.000	0.957	0.989	0.999	No
12.000 vs. 8.000	0.773	0.799	1	No
4.000 vs. 3.000	0.763	0.788	1	No
10.000 vs. 12.000	0.761	0.786	1	No
9.000 vs. 6.000	0.734	0.758	1	No
7.000 vs. 13.000	0.718	0.741	1	No
10.000 vs. 9.000	0.577	0.596	1	No
13.000 vs. 8.000	0.575	0.594	1	No
12.000 vs. 6.000	0.55	0.568	1	No
7.000 vs. 12.000	0.519	0.536	1	No
9.000 vs. 13.000	0.383	0.395	1	No
13.000 vs. 6.000	0.352	0.363	1	No
5.000 vs. 4.000	0.34	0.351	1	No
7.000 vs. 9.000	0.335	0.346	0.999	No
10.000 vs. 7.000	0.242	0.25	0.999	No
6.000 vs. 8.000	0.223	0.23	0.994	No
12.000 vs. 13.000	0.198	0.205	0.974	No
9.000 vs. 12.000	0.184	0.19	0.851	No

---

Tabla IXa. Resultados de la comparación de pH entre épocas obtenida de la prueba de Holm-Sidak.

Comparaciones por factor: épocas				
Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050
Secas frías vs. Lluvias	0.098	1.696	0.284	No
Secas frías vs. Secas cálidas	0.0805	1.394	0.325	No
Secas cálidas vs. Luvias	0.0175	0.303	0.765	No

Tabla IXb. Resultados de la comparación de pH entre estaciones obtenida de la prueba de Holm-Sidak.

Comparaciones por factor: estaciones				
Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050
7.000 vs. 13.000	0.321	2.905	0.384	No
4.000 vs. 13.000	0.287	2.59	0.615	No
6.000 vs. 13.000	0.282	2.545	0.644	No
3.000 vs. 13.000	0.271	2.453	0.709	No
5.000 vs. 13.000	0.259	2.339	0.786	No
9.000 vs. 13.000	0.256	2.311	0.799	No
11.000 vs. 13.000	0.251	2.272	0.819	No
10.000 vs. 13.000	0.233	2.102	0.908	No
7.000 vs. 12.000	0.23	2.079	0.913	No
8.000 vs. 13.000	0.213	1.924	0.962	No
4.000 vs. 12.000	0.195	1.764	0.988	No
6.000 vs. 12.000	0.19	1.719	0.991	No
3.000 vs. 12.000	0.18	1.627	0.996	No
5.000 vs. 12.000	0.167	1.513	0.999	No
9.000 vs. 12.000	0.164	1.485	0.999	No
11.000 vs. 12.000	0.16	1.446	0.999	No
10.000 vs. 12.000	0.141	1.276	1	No
8.000 vs. 12.000	0.121	1.098	1	No
7.000 vs. 8.000	0.108	0.98	1	No
12.000 vs. 13.000	0.0914	0.826	1	No
7.000 vs. 10.000	0.0888	0.803	1	No

4.000 vs. 8.000	0.0736	0.666	1	No
7.000 vs. 11.000	0.07	0.633	1	No
6.000 vs. 8.000	0.0687	0.621	1	No
7.000 vs. 9.000	0.0656	0.593	1	No
7.000 vs. 5.000	0.0625	0.565	1	No
3.000 vs. 8.000	0.0585	0.529	1	No
4.000 vs. 10.000	0.054	0.488	1	No
7.000 vs. 3.000	0.0499	0.451	1	No
6.000 vs. 10.000	0.049	0.443	1	No
5.000 vs. 8.000	0.0459	0.415	1	No
9.000 vs. 8.000	0.0428	0.387	1	No
7.000 vs. 6.000	0.0398	0.36	1	No
3.000 vs. 10.000	0.0389	0.351	1	No
11.000 vs. 8.000	0.0385	0.348	1	No
4.000 vs. 11.000	0.0352	0.318	1	No
7.000 vs. 4.000	0.0348	0.315	1	No
4.000 vs. 9.000	0.0308	0.279	1	No
6.000 vs. 11.000	0.0302	0.273	1	No
4.000 vs. 5.000	0.0277	0.251	1	No
5.000 vs. 10.000	0.0263	0.238	1	No
6.000 vs. 9.000	0.0258	0.234	1	No
9.000 vs. 10.000	0.0232	0.209	1	No
6.000 vs. 5.000	0.0227	0.205	1	No
3.000 vs. 11.000	0.02	0.181	1	No
10.000 vs. 8.000	0.0196	0.178	1	No
11.000 vs. 10.000	0.0188	0.17	1	No
3.000 vs. 9.000	0.0157	0.142	1	No
4.000 vs. 3.000	0.0151	0.137	1	No
3.000 vs. 5.000	0.0126	0.114	1	No
6.000 vs. 3.000	0.0101	0.0917	1	No
5.000 vs. 11.000	0.00745	0.0673	1	No
4.000 vs. 6.000	0.00499	0.0451	1	No
9.000 vs. 11.000	0.00433	0.0392	0.999	No
5.000 vs. 9.000	0.00312	0.0282	0.978	No

---

Tabla Xa. Resultados de la comparación de oxígeno disuelto entre épocas obtenida de la prueba de Holm-Sidak.

Comparaciones por factor: épocas				
Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050
Lluvias vs. Secas cálidas	1.677	2.569	0.054	No
Secas frías vs. Secas cálidas	1.121	1.717	0.193	No
Lluvias vs. Secas frías	0.556	0.852	0.404	No

Tabla Xb. Resultados de la comparación de oxígeno disuelto entre estaciones obtenida de la prueba de Holm-Sidak.

Comparaciones por factor: estaciones				
Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050
7.000 vs. 12.000	4.271	3.416	0.14	No
7.000 vs. 13.000	4.174	3.338	0.162	No
7.000 vs. 8.000	3.545	2.835	0.42	No
7.000 vs. 10.000	3.294	2.635	0.565	No
7.000 vs. 9.000	3.083	2.466	0.692	No
7.000 vs. 11.000	3.02	2.415	0.724	No
7.000 vs. 5.000	2.798	2.238	0.84	No
7.000 vs. 3.000	2.541	2.033	0.936	No
7.000 vs. 6.000	2.384	1.907	0.969	No
7.000 vs. 4.000	2.378	1.902	0.967	No
4.000 vs. 12.000	1.893	1.514	0.999	No
6.000 vs. 12.000	1.886	1.509	0.999	No
4.000 vs. 13.000	1.796	1.436	1	No
6.000 vs. 13.000	1.789	1.431	1	No
3.000 vs. 12.000	1.73	1.384	1	No
3.000 vs. 13.000	1.633	1.306	1	No
5.000 vs. 12.000	1.473	1.178	1	No
5.000 vs. 13.000	1.376	1.1	1	No
11.000 vs. 12.000	1.251	1.001	1	No
9.000 vs. 12.000	1.188	0.95	1	No

4.000 vs. 8.000	1.167	0.933	1	No
6.000 vs. 8.000	1.161	0.928	1	No
11.000 vs. 13.000	1.154	0.923	1	No
9.000 vs. 13.000	1.091	0.873	1	No
3.000 vs. 8.000	1.004	0.803	1	No
10.000 vs. 12.000	0.977	0.781	1	No
4.000 vs. 10.000	0.916	0.733	1	No
6.000 vs. 10.000	0.91	0.728	1	No
10.000 vs. 13.000	0.88	0.704	1	No
3.000 vs. 10.000	0.753	0.602	1	No
5.000 vs. 8.000	0.747	0.597	1	No
8.000 vs. 12.000	0.726	0.581	1	No
4.000 vs. 9.000	0.705	0.564	1	No
6.000 vs. 9.000	0.698	0.559	1	No
4.000 vs. 11.000	0.642	0.513	1	No
6.000 vs. 11.000	0.635	0.508	1	No
8.000 vs. 13.000	0.629	0.503	1	No
3.000 vs. 9.000	0.542	0.433	1	No
11.000 vs. 8.000	0.525	0.42	1	No
5.000 vs. 10.000	0.496	0.397	1	No
3.000 vs. 11.000	0.479	0.383	1	No
9.000 vs. 8.000	0.462	0.37	1	No
4.000 vs. 5.000	0.42	0.336	1	No
6.000 vs. 5.000	0.414	0.331	1	No
5.000 vs. 9.000	0.285	0.228	1	No
11.000 vs. 10.000	0.274	0.219	1	No
3.000 vs. 5.000	0.257	0.206	1	No
10.000 vs. 8.000	0.251	0.201	1	No
5.000 vs. 11.000	0.222	0.177	1	No
9.000 vs. 10.000	0.211	0.169	1	No
4.000 vs. 3.000	0.163	0.13	1	No
6.000 vs. 3.000	0.157	0.125	1	No
13.000 vs. 12.000	0.097	0.0776	1	No
11.000 vs. 9.000	0.0628	0.0503	0.998	No
4.000 vs. 6.000	0.00631	0.00505	0.996	No

Tabla XIa. Resultados de la comparación de salinidad entre épocas obtenida de la prueba de Holm-Sidak.

Comparaciones por factor: épocas				
Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050
Secas cálidas vs. Lluvias	5.791	6.316	<0.001	Yes
Secas frías vs. Lluvias	4.775	5.208	<0.001	Yes
Secas cálidas vs. Secas frías	1.016	1.109	0.281	No

Tabla XIb. Resultados de la comparación de salinidad entre estaciones obtenida de la prueba de Holm-Sidak.

Comparaciones por factor: estaciones				
Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050
12.000 vs. 7.000	4.302	2.45	0.731	No
3.000 vs. 7.000	4.094	2.332	0.81	No
9.000 vs. 7.000	4.083	2.326	0.808	No
5.000 vs. 7.000	4.05	2.307	0.815	No
10.000 vs. 7.000	3.993	2.274	0.83	No
11.000 vs. 7.000	3.983	2.269	0.827	No
8.000 vs. 7.000	3.942	2.245	0.836	No
13.000 vs. 7.000	3.919	2.232	0.838	No
4.000 vs. 7.000	3.863	2.2	0.851	No
6.000 vs. 7.000	2.912	1.658	0.996	No
12.000 vs. 6.000	1.39	0.792	1	No
3.000 vs. 6.000	1.183	0.674	1	No
9.000 vs. 6.000	1.171	0.667	1	No
5.000 vs. 6.000	1.138	0.648	1	No
10.000 vs. 6.000	1.081	0.616	1	No
11.000 vs. 6.000	1.072	0.61	1	No
8.000 vs. 6.000	1.03	0.587	1	No
13.000 vs. 6.000	1.007	0.573	1	No
4.000 vs. 6.000	0.951	0.542	1	No
12.000 vs. 4.000	0.439	0.25	1	No
12.000 vs. 13.000	0.383	0.218	1	No

12.000 vs. 8.000	0.36	0.205	1	No
12.000 vs. 11.000	0.319	0.181	1	No
12.000 vs. 10.000	0.309	0.176	1	No
12.000 vs. 5.000	0.252	0.144	1	No
3.000 vs. 4.000	0.231	0.132	1	No
9.000 vs. 4.000	0.22	0.125	1	No
12.000 vs. 9.000	0.219	0.125	1	No
12.000 vs. 3.000	0.208	0.118	1	No
5.000 vs. 4.000	0.187	0.106	1	No
3.000 vs. 13.000	0.176	0.1	1	No
9.000 vs. 13.000	0.165	0.0937	1	No
3.000 vs. 8.000	0.152	0.0868	1	No
9.000 vs. 8.000	0.141	0.0804	1	No
5.000 vs. 13.000	0.131	0.0748	1	No
10.000 vs. 4.000	0.13	0.0739	1	No
11.000 vs. 4.000	0.12	0.0684	1	No
3.000 vs. 11.000	0.111	0.0632	1	No
5.000 vs. 8.000	0.108	0.0615	1	No
3.000 vs. 10.000	0.101	0.0577	1	No
9.000 vs. 11.000	0.0997	0.0568	1	No
9.000 vs. 10.000	0.0901	0.0513	1	No
8.000 vs. 4.000	0.0787	0.0448	1	No
10.000 vs. 13.000	0.0745	0.0424	1	No
5.000 vs. 11.000	0.0665	0.0379	1	No
11.000 vs. 13.000	0.0648	0.0369	1	No
5.000 vs. 10.000	0.0568	0.0324	1	No
13.000 vs. 4.000	0.0554	0.0315	1	No
10.000 vs. 8.000	0.0511	0.0291	1	No
3.000 vs. 5.000	0.0444	0.0253	1	No
11.000 vs. 8.000	0.0414	0.0236	1	No
9.000 vs. 5.000	0.0332	0.0189	1	No
8.000 vs. 13.000	0.0234	0.0133	1	No
3.000 vs. 9.000	0.0112	0.00636	1	No
10.000 vs. 11.000	0.00969	0.00552	0.996	No

Tabla XIIa. Resultados de la comparación de NID entre épocas obtenida de la prueba de Holm-Sidak.

Comparaciones por factor: épocas				
Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050
Lluvias vs. Secas cálidas	0.577	2.626	0.048	Yes
Lluvias vs. Secas frías	0.439	2.001	0.115	No
Secas frías vs. Secas cálidas	0.137	0.625	0.539	No

Tabla XIIb. Resultados de la comparación de NID entre estaciones obtenida de la prueba de Holm-Sidak.

Comparaciones por factor: estaciones				
Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050
7.000 vs. 13.000	1.145	2.724	0.515	No
7.000 vs. 4.000	0.895	2.129	0.921	No
6.000 vs. 13.000	0.887	2.11	0.925	No
7.000 vs. 11.000	0.858	2.039	0.947	No
7.000 vs. 3.000	0.803	1.909	0.976	No
7.000 vs. 5.000	0.738	1.754	0.993	No
8.000 vs. 13.000	0.715	1.699	0.996	No
6.000 vs. 4.000	0.637	1.515	0.999	No
9.000 vs. 13.000	0.629	1.495	1	No
7.000 vs. 12.000	0.605	1.438	1	No
6.000 vs. 11.000	0.599	1.426	1	No
10.000 vs. 13.000	0.589	1.4	1	No
7.000 vs. 10.000	0.556	1.323	1	No
6.000 vs. 3.000	0.545	1.295	1	No
12.000 vs. 13.000	0.541	1.286	1	No
7.000 vs. 9.000	0.517	1.229	1	No

6.000 vs. 5.000	0.48	1.141	1	No
8.000 vs. 4.000	0.465	1.105	1	No
7.000 vs. 8.000	0.431	1.024	1	No
8.000 vs. 11.000	0.427	1.015	1	No
5.000 vs. 13.000	0.408	0.969	1	No
9.000 vs. 4.000	0.379	0.9	1	No
8.000 vs. 3.000	0.372	0.885	1	No
6.000 vs. 12.000	0.347	0.824	1	No
3.000 vs. 13.000	0.343	0.815	1	No
9.000 vs. 11.000	0.341	0.81	1	No
10.000 vs. 4.000	0.339	0.806	1	No
8.000 vs. 5.000	0.307	0.73	1	No
10.000 vs. 11.000	0.301	0.716	1	No
6.000 vs. 10.000	0.298	0.71	1	No
12.000 vs. 4.000	0.291	0.691	1	No
11.000 vs. 13.000	0.288	0.684	1	No
9.000 vs. 3.000	0.286	0.68	1	No
6.000 vs. 9.000	0.259	0.615	1	No
7.000 vs. 6.000	0.258	0.614	1	No
12.000 vs. 11.000	0.253	0.601	1	No
4.000 vs. 13.000	0.25	0.595	1	No
10.000 vs. 3.000	0.246	0.586	1	No
9.000 vs. 5.000	0.221	0.525	1	No
12.000 vs. 3.000	0.198	0.471	1	No
10.000 vs. 5.000	0.181	0.431	1	No
8.000 vs. 12.000	0.174	0.414	1	No
6.000 vs. 8.000	0.173	0.411	1	No
5.000 vs. 4.000	0.158	0.375	1	No
12.000 vs. 5.000	0.133	0.316	1	No
8.000 vs. 10.000	0.126	0.299	1	No

5.000 vs. 11.000	0.12	0.285	1	No
3.000 vs. 4.000	0.0925	0.22	1	No
9.000 vs. 12.000	0.0879	0.209	1	No
8.000 vs. 9.000	0.086	0.204	1	No
5.000 vs. 3.000	0.0651	0.155	1	No
3.000 vs. 11.000	0.0547	0.13	1	No
10.000 vs. 12.000	0.0482	0.115	0.999	No
9.000 vs. 10.000	0.0397	0.0945	0.994	No
11.000 vs. 4.000	0.0377	0.0898	0.929	No

Tabla XIIIa. Resultados de la comparación de FID entre épocas obtenida de la prueba de Holm-Sidak.

Comparaciones por factor: épocas				
Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050
Lluvias vs. Secas frías	1.104	5.442	<0.001	Yes
Secas cálidas vs. Secas frías	0.947	4.666	<0.001	Yes
Lluvias vs. Secas cálidas	0.157	0.776	0.447	No

Tabla XIIIb. Resultados de las comparación de FID entre estaciones obtenida de la prueba de Holm-Sidak.

Comparaciones por factor: estaciones				
Comparison	Diff of Means	t	P	P<0.050
7.000 vs. 9.000	1.058	2.725	0.515	No
7.000 vs. 11.000	1.033	2.661	0.558	No
7.000 vs. 10.000	0.994	2.559	0.633	No
7.000 vs. 12.000	0.954	2.457	0.706	No
7.000 vs. 5.000	0.857	2.207	0.87	No
7.000 vs. 3.000	0.825	2.124	0.907	No
7.000 vs. 4.000	0.807	2.079	0.922	No
7.000 vs. 8.000	0.718	1.847	0.981	No
7.000 vs. 13.000	0.707	1.821	0.984	No
6.000 vs. 9.000	0.681	1.752	0.99	No
6.000 vs. 11.000	0.656	1.688	0.994	No
6.000 vs. 10.000	0.616	1.587	0.998	No
6.000 vs. 12.000	0.577	1.485	0.999	No
6.000 vs. 5.000	0.48	1.235	1	No
6.000 vs. 3.000	0.448	1.152	1	No
6.000 vs. 4.000	0.43	1.107	1	No
7.000 vs. 6.000	0.378	0.972	1	No
13.000 vs. 9.000	0.351	0.904	1	No
8.000 vs. 9.000	0.341	0.877	1	No
6.000 vs. 8.000	0.34	0.875	1	No
6.000 vs. 13.000	0.33	0.849	1	No
13.000 vs. 11.000	0.326	0.84	1	No
8.000 vs. 11.000	0.316	0.813	1	No
13.000 vs. 10.000	0.287	0.738	1	No
8.000 vs. 10.000	0.276	0.712	1	No
4.000 vs. 9.000	0.251	0.646	1	No
13.000 vs. 12.000	0.247	0.636	1	No

8.000 vs. 12.000	0.237	0.61	1	No
3.000 vs. 9.000	0.233	0.6	1	No
4.000 vs. 11.000	0.226	0.582	1	No
3.000 vs. 11.000	0.208	0.536	1	No
5.000 vs. 9.000	0.201	0.518	1	No
4.000 vs. 10.000	0.187	0.48	1	No
5.000 vs. 11.000	0.176	0.454	1	No
3.000 vs. 10.000	0.169	0.435	1	No
13.000 vs. 5.000	0.15	0.386	1	No
4.000 vs. 12.000	0.147	0.378	1	No
8.000 vs. 5.000	0.14	0.36	1	No
5.000 vs. 10.000	0.137	0.352	1	No
3.000 vs. 12.000	0.129	0.333	1	No
13.000 vs. 3.000	0.118	0.304	1	No
8.000 vs. 3.000	0.108	0.277	1	No
12.000 vs. 9.000	0.104	0.268	1	No
13.000 vs. 4.000	0.1	0.258	1	No
5.000 vs. 12.000	0.0972	0.25	1	No
8.000 vs. 4.000	0.0899	0.231	1	No
12.000 vs. 11.000	0.0791	0.204	1	No
10.000 vs. 9.000	0.0644	0.166	1	No
4.000 vs. 5.000	0.0498	0.128	1	No
12.000 vs. 10.000	0.0396	0.102	1	No
10.000 vs. 11.000	0.0395	0.102	1	No
3.000 vs. 5.000	0.032	0.0824	1	No
11.000 vs. 9.000	0.0249	0.0641	1	No
4.000 vs. 3.000	0.0177	0.0457	0.999	No
13.000 vs. 8.000	0.0103	0.0266	0.979	No

---