



Universidad Autónoma de Baja California



Facultad de Ciencias Marinas

***FLUJOS Y DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL DE NITRÓGENO
INORGÁNICO Y ORTOFOSFATOS DESCARGADOS POR EL
ARROYO EL GALLO A LA BAHÍA DE TODOS SANTOS DURANTE EL
PERIODO DE MAYO-DICIEMBRE DE 1991***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

OCEANÓLOGO

PRESENTA:

ARAMIS OLIVOS ORTÍZ

Ensenada Baja California, agosto de 1994

RESUMEN:

En este trabajo se evaluó la variabilidad diurna, semanal y estacional en la concentración de nitratos (NO_3), nitritos (NO_2), amonio (NH_4) y fosfatos (PO_4) causada por la actividad de la población sobre la planta de tratamiento de la CESPE y el Arroyo El Gallo, así como la determinación del aporte de los mismos hacia la Bahía de Todos Santos, su eficiencia de remoción y se estimó la zona de influencia de las descargas de estos nutrientes sobre la Bahía de Todos Santos. Se realizaron muestreos a partir del 16 de mayo hasta el 17 de diciembre de 1991 sobre el efluente del Arroyo El Gallo (ST) con una periodicidad de dos días entre las 11 y las 14 hrs. También se realizaron muestreos durante un día en las primeras semanas de los meses de octubre, noviembre y diciembre del mismo año sobre el efluente de la planta (EC) y el afluente de la misma (ST), estos muestreos se practicaron de las 7 y 21 hrs, a intervalos de dos horas. Así mismo el 22 de noviembre del mismo año se llevó al cabo la toma de muestras de agua superficial en la Bahía. Los resultados de este trabajo fueron los siguientes: La planta de tratamiento presenta una variación diurna tendiente a alcanzar las máximas concentraciones de NO_3 , NO_2 , NH_4 y PO_4 entre las 11 y las 17 hrs, aunque este comportamiento está influenciado en gran medida por la carga orgánica de las aguas residuales. Los cuatro nutrientes presentes en las descargas del Arroyo El Gallo mostraron una variabilidad semanal en sus concentraciones causada por el uso del agua por parte de la población (valores semanales promedio que oscilaron de 0.02-2.2 mg-at/l N-NH_4 , 0.09-1.15 mg-at/l N-NO_3 , 0.0-0.93 mg-at/l N-NO_2 y de 3.2-7.1 mg-at/l P-PO_4). Las concentraciones y aportes de NO_3 , NO_2 y NH_4 de este arroyo presentaron también una tendencia estacional influenciada por la actividad turística e industrial de la ciudad, con valores altos al verano y bajos para el invierno, mientras que el PO_4 presentó los valores bajos en verano y los altos en invierno. La eficiencia de la planta para el NH_4 varió de 12.42 a 21.95% y para los otros nutrientes actuó como un cuerpo mineralizador debido a la degradación de la materia orgánica y a la nitrificación, produciéndose 116% más NO_3 , 100% más NO_2 y 12.8% más PO_4 . Los aportes de esta planta para 1991 fueron de 2.36 Ton. de N-NO_3 , 1.29 Ton. de N-NO_2 , 9.17 Ton. de N-NH_4 y 45.37 Ton. de P-PO_4 . Las descargas de nutrientes de este arroyo se transportan paralelamente a la costa en dirección sur de la Bahía hacia la boca del Estero de Punta Banda debido al patrón superficial de corrientes, desvaneciéndose esta pluma de nutrientes aproximadamente a 3 Km. de la costa. Por último se observó la existencia de dos zonas de eutrofización antropogénicas, la primera en la desembocadura del Arroyo El Gallo que fue la principal fuente de nutrientes a la Bahía y la segunda el cárcamo de la Pesquera Peninsular, aunque también se detectó un aporte natural a la Bahía de NO_3 y NH_4 por parte del Estero de Punta Banda.

**FLUJOS Y DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL DE NITRÓGENO
INORGÁNICO Y ORTOFOSFATOS DESCARGADOS POR EL
ARROYO EL GALLO A LA BAHÍA DE TODOS SANTOS
DURANTE EL PERIODO DE MAYO-DICIEMBRE DE 1991.**

Tesis que

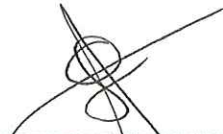
Presenta:

ARAMIS OLIVOS ORTIZ

Aprobada por:



**Director de Tesis
MC. Francisco Delgadillo Hinojosa**



**Sinodal Propietario
MC. J. Antonio Segovia Zavala**



**Sinodal Propietario
MC. Rubén Castro Valdez**

Dedicatoria:

♣ *Con todo mi cariño a mis padres: Lucila Ortíz y Alejandro Olivos y hermanos: Alex, Aidé, Ariel y Amiel, de quienes me siento orgulloso por haberme dado todo su amor, su confianza y apoyo, gracias a ustedes he recibido lo mejor de la vida.*

♣ *Al resto de mi familia que siempre me impulsó, mis abuelos: Crisóforo, María y Susana, a mis tíos: Consuelo y Héctor, a mi prima: Claudia.*

♣ *A mi familia de Ensenada que nunca me dejó tirado: Francisco (Tex), Gabriel (Tino), Roberto (Carnalillo), Carlos (Topo), Marcos (Lobo), Emilio (Morrito), Angel (Pelón), Enrique (Morgan), Renato (Mascorto), Octavio (Chapis), Victor (Chivo), Gabriel (Bebe), Soledad (Chole), al mismísimo Constantino (Maeje), a Thelina (Telera) y a Salomé (Flaca), aclarando que el orden de los factores no altera el producto OK?.*

♣ *A Gigi quien estuvo conmigo en las buenas y en las peores.*

♣ *... y pues a mi, por que después de todo me llevé una friega.*

Para todos ustedes unas palabras sabias:

No mamelech colelech...

Barolo, 1972

Agradecimientos:

- Especialmente al M.C. Francisco Delgadillo Hinojosa por su dedicado apoyo y gran confianza en mi, lo cual me permitió terminar este trabajo.*
- A los M.C. José Antonio Segovia Zavala y Rubén Castro Valdez por sus acertadas opiniones con las cuales pude mejorar este trabajo.*
- Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) por haberme facilitado sus instalaciones y equipo para la realización de este estudio.*
- A la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE) por todas las facilidades que me brindaron dentro de sus instalaciones.*
- A mis amigos y colaboradores: Francisco, Leopoldo, Enrique, Jorge, Emilio y Gabriel por haberme prestado su computadora, la nave , acompañarme a los muestreos y ayudarme con el escrito.*

INDICE

1. INTRODUCCIÓN:	1
1.1 ANTECEDENTES	2
2. HIPÓTESIS DE TRABAJO:	4
3. OBJETIVOS:	5
4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:	6
5. METODOLOGÍA:	8
5.1 DISEÑO DEL MUESTREO:	8
5.1.1 Métodos de Análisis:.....	10
5.1.1.1 Procesamiento de Datos:	11
6. RESULTADOS:	13
6.1 VARIACIÓN DIURNA:	13
6.1.1 Variación estacional y semanal:.....	22
6.1.1.1 Aportes de N y P de la planta de tratamiento a la bahía:.....	28
6.1.1.1.1 Variaciones en la eficiencia de la planta de tratamiento:	30
6.1.1.1.1.1 Distribución superficial en la Bahía:	30
7. DISCUSIÓN:	36
8. CONCLUSIONES:	47
9. LITERATURA CITADA:	49
10. APENDICE	54

INDICE DE TABLAS

Tabla I: Fecha, horario y sitio en que se muestrearon las series diurnas.	8
Tabla II. Resultado de la matriz de correlación de Pearson practicada para las muestras de la serie total.	26
Tabla III. Valores del Coeficiente de Variación (CV) para la concentración de nutrientes	29
Tabla IV. Por ciento de eficiencia de la Planta de Tratamiento en cuanto al sitio EC-SC.	30
Tabla V. Resultados del factor de dilución empleado para identificar la principal fuente de nutrientes en la Bahía.	35
Tabla VI. Aportes de nutrientes en distintos puntos de la costa de California. Fuente: SCCWRP (1990).	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio y la ubicación de los transectos.....	7
Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo dentro de la Planta de Tratamiento de la CESPE y el Arroyo El Gallo.	9
Figura 3. Variación espacial diurna del NO ₃ para el muestreo de octubre (A), noviembre (B) y diciembre (C) de 1991.....	15
Figura 4. Variación espacial diurna del NO ₂ para el muestreo de octubre (A), noviembre (B) y diciembre (C) de 1991.....	17
Figura 5. Variación espacial diurna del NH ₄ para el muestreo de octubre (A), noviembre(B) y diciembre (C) de 1991.....	19
Figura 6. Variación espacial diurna del PO ₄ para el muestreo de octubre (A), noviembre (B) y diciembre (C) de 1991.....	21
Figura 7. Concentración del oxígeno disuelto medido en el punto ST del 16 de mayo al 18 de diciembre de 1991.	22
Figura 8. Comportamiento anual de temperatura en el sitio ST del 16 de mayo al 18 de diciembre de 1991.	23
Figura 9. Comportamiento anual del pH en el sitio ST del 16 de mayo al 18 de diciembre de 1991.	23
Figura 10. Concentraciones semanales promedio en el sitio ST del 16 de mayo al 18 de diciembre de 1991 para NO ₃ (A), NO ₂ (B), NH ₄ (C) y PO ₄ (D).	25
Figura 11. Análisis espectral de la serie de tiempo del NO ₃ (A), NO ₂ (B), NH ₄ (C) y PO ₄ (D).	27
Figura 12. Aporte promedio diario de la planta en los diferentes meses de muestreo para NO ₃ (A), NO ₂ (B), NH ₄ (C) y PO ₄ (D).	28
Figura 13. Comportamiento del flujo de la Planta de Tratamiento de la CESPE del 16 de mayo al 18 de diciembre de 1991.(Datos proporcionados por Ortega-Pérez,1992 comunicación personal).....	29
Figura 14. Comportamiento superficial del factor de enriquecimiento del NO ₃ en la Bahía. de Todos Santos durante el 22 de noviembre de 1991.	31
Figura 15. Comportamiento superficial del factor de enriquecimiento del NO ₂ en la Bahía. de Todos Santos durante el 22 de noviembre de 1991.	32
Figura 16. Comportamiento del factor de enriquecimiento del NH ₄ en la Bahía de Todos Santo durante el 22 de noviembre de 1991.....	33
Figura 17. Comportamiento superficial del factor de enriquecimiento del PO ₄ en la Bahía. de Todos Santos durante el 22 de noviembre de 1991.	34
Figura 18. Toneladas de pescado procesado por la industria adyacente al Arroyo El Gallo y aforo vehicular a la ciudad de Ensenada por la carretera escénica durante 1991.(Secretaría de Pesca, 1994; Caminos y Puentes Federales de Ingreso, 1994).	41

1. Introducción:

En nuestro país, ocho de cada nueve poblaciones que disponen de agua potable carecen de una red de alcantarillado planificada, originando con ello grandes problemas de contaminación ambiental ya que recurren al evacuado de sus aguas residuales sobre causas superficiales, que generalmente son barrancas, arroyos, ríos, lagos, lagunas y al océano mismo, (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1989). Como consecuencia a este fenómeno en gran parte de las costas mexicanas se practican descargas de desechos domésticos e industriales hacia el mar sin un tratamiento previo ni adecuado, estas prácticas representan una solución económica e ingenieril para la eliminación de aguas residuales y se realiza sin tomar en cuenta el impacto potencial causante al cuerpo receptor. De esta manera, se presentan numerosos problemas en la zona costera, manifestándose la pérdida de cualidades y calidades tanto estéticas como bióticas (Rivera Duarte, 1982).

Entre las disposiciones legales, las plantas de tratamiento de aguas residuales ofrecen una solución al problema, fundamentalmente se reduce el potencial contaminante a tal grado que al ser vertidas a la zona costera son diluidas y asimiladas sin causar alteraciones significativas a la calidad fisicoquímica y biológica del cuerpo receptor. Sin embargo, es indispensable contar con la planta de tratamiento adecuada, con su correcto funcionamiento y con su continuo mantenimiento (Segovia-Zavala y Galindo-Bect, 1984).

En la actualidad existen varios tipos de plantas de tratamiento, las cuales operan bajo ciertos lineamientos. En particular Walker (1976), caracteriza a una planta de tratamiento del tipo primario por la eliminación de sólidos orgánicos e inorgánicos mediante métodos físicos como la aereación-sedimentación así como el uso de trampas de retención en los ductos dentro de la planta. En la ciudad de Ensenada se cuenta con una planta de tratamiento de este tipo aledaña al Arroyo el Gallo, cuya operación está a cargo de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE). En esta planta son tratadas solamente el 70% de las aguas negras generadas por los 185,000 habitantes de la ciudad, las cuales son descargadas a este

arroyo antes de ser vertidas a la Bahía de Todos Santos (Plan Municipal de Desarrollo de Ensenada 1990 -1992)

A demás, aledaño al mismo arroyo se encuentra la zona industrial de la ciudad, cuyos desechos son canalizados a la Bahía por este mismo medio, y en la mayoría de los casos, estas industrias desechan sus aguas sin tratamiento previo. Estas descargas forman parte del 30% de las aguas que son vertidas a la Bahía en esta manera (IDEM).

De esta manera el Arroyo El Gallo es una fuente muy importante de nutrientes para la Bahía, afectando a este ecosistema costero principalmente por las elevadas concentraciones de N y P que resultan de la degradación del material orgánico e inorgánico presente en las aguas de desecho.

Los efectos de estas descargas se ven acentuados en la zona adyacente al área de la desembocadura de este arroyo, pues estas incluyen grandes concentraciones de desechos orgánicos e inorgánicos que se originan por la actividad doméstica e industrial de Ensenada. Como consecuencia se ha inducido un detrimento en la zona costera que se refleja en el deterioro de las calidades fisicoquímicas y biológicas de la Bahía. Lo anterior se evidencia con la transición de una fase oligotrófica a una eutrófica en el cuerpo costero, (Segovia-Zavala *et al.*, 1988).

Por este motivo, es importante estimar: 1)- La magnitud de los aportes de nitrógeno inorgánico y fósforo; 2)- Su variación temporal y 3)- La eficiencia con que la planta de tratamiento esta trabajando. Además pretende determinar el área de influencia de estas descargas, haciendo un seguimiento de la mancha contaminante conforme al patrón general de corrientes superficiales dentro de la Bahía.

1.1 Antecedentes

Los patrones de corrientes superficiales en la Bahía de Todos Santos han sido estudiados con anterioridad, Alvarez-Sánchez (1971) encontró que el patrón de vientos dominantes en la bahía afecta solo a la capa superficial de los 2 metros de profundidad, proponiendo que estos vientos producen corrientes de deriva hacia el interior de la Bahía y que son paralelas a la costa con dirección a la boca del estero. Durazo-Arvizu (1983) reporta corrientes superficiales al sur de la bahía encontrando que también existe un patrón de corrientes de Punta Banda hacia la boca del estero, donde choca

con la corriente que viene del norte y diverge hacia el interior de la bahía. Esta corriente sucede cuando los vientos de mar a tierra son moderados y casi estacionarios.

La Bahía de Todos Santos ha sido objeto de varios estudios de contaminación por materia orgánica y bacteriológica, principalmente en la zona aledaña a la descarga del arrollo El Gallo, los cuales han reflejado un comportamiento espacio-temporal. Entre algunos de estos trabajos se encuentra Orozco-Borbon y Gutiérrez-Galindo (1983), quienes establecieron que en la zona adyacente al recinto portuario, los valores de concentración para coliformes excedían los máximos permisibles para la legislación mexicana. Así mismo Delgadillo-Hinojosa y Orozco-Borbon (1987) encontraron que el contenido de bacterias patógenas en el sedimento superficial es mayor cerca de los efluentes, tales como *Salmonella sp*, *Shigella sp*, *Escherichia sp*, *Alcaligenes sp*, *Klebsiella sp* entre otras. Incluso reportan a estos organismos en áreas de uso recreativo. Segovia-Zavala y Galindo-Bect (1984) encontraron que durante los meses de agosto a septiembre, la planta de tratamiento del arroyo el Gallo aportaba las cantidades máximas de materia orgánica hacia la Bahía, presentando también valores más altos que los permitidos por la legislación mexicana. Galindo-Bect *et al.*, (1984), encontraron que en la zona del puerto de Ensenada y frente a la desembocadura del arroyo El Gallo existían los valores más altos de materia orgánica en sedimentos superficiales dentro de la Bahía. Segovia-Zavala *et al.*, (1988) colectaron muestras para el análisis de nutrientes tales como nitratos, nitritos y fosfatos dentro de la bahía evidenciando la transición de una fase oligotrófica a una eutrófica del cuerpo costero, principalmente en las áreas adyacentes a las descargas de agua residual. Donath-Hernández y Loya-Salinas (1989) registraron dos situaciones en la zona dañada dentro de la Bahía, de las cuales una se encuentra dentro del puerto de Ensenada y la otra frente a la desembocadura del Arroyo El Gallo donde el alto contenido de materia orgánica provoca una elevada biomasa de la infauna y a su vez condiciones anóxicas severas que casi no permiten encontrar vestigio alguno de macrofauna. Por último Encalada-Fleites y Millan-Nuñez (1990) evidencian el paso de una zona oligotrófica a una eutrófica mediante organismos bentónicos a consecuencia de una contaminación por materia orgánica originada por las descargas de aguas residuales hacia la bahía.

Los antecedentes reportados contemplan solamente una parte dinámica de la contaminación y algunos efectos de la degradación de la misma, lo cual nos indica que siempre es necesario conocer las interacciones fisicoquímicas y biológicas a las que sometemos al cuerpo costero.

2. Hipótesis de trabajo:

La población presenta actividades a diversas escalas en el uso del agua, las cuales hacen variar la magnitud de los aportes de aguas residuales del Arroyo El Gallo hacia la Bahía, manifestándose como consecuencia, en alteraciones de las concentraciones de nitrógeno y fósforo. De esta manera, se espera tener cambios en diversas escalas de tiempo:

a).- Variación diaria: se espera observar un aumento en la concentración y aporte de nutrientes por las primeras horas (7-13 hrs.), debido a que la población hace uso de mayores volúmenes de agua en actividades domésticas e industriales.

b).- Variación semanal: aquí la concentración y el aporte de nutrientes se espera ver aumentado hacia los días sábados y domingos, ya que gran parte de la población deja las actividades más pesadas del aseo para estos días, aunadas a las antes mencionadas.

c).- Variación estacional: debido a que en los meses de verano la ciudad capta el mayor número de turistas, la población aumenta considerablemente junto con sus actividades. De igual manera la actividad industrial adyacente al arroyo incrementa su producción. Por otra parte hacia los meses de invierno las actividades turísticas, industriales y de la población en general se ven disminuidas, por lo que la concentración y el aporte de nutrientes espera tener sus mayores valores en verano y los menores es los meses de invierno.

d).- La descarga de aguas residuales a través del Arroyo El Gallo hacia la Bahía provoca una posible zona de eutrofización en la zona adyacente a su desembocadura.

3. Objetivos:

1).- Evaluar la variabilidad diurna en la concentración de Nitrógeno Inorgánico y Ortofosfatos causada por la actividad de la población sobre la Planta de Tratamiento de la CESPE y el Arroyo El Gallo.

2).- Evaluar la variabilidad semanal y estacional en la concentración del Nitrógeno inorgánico y Ortofosfatos causada por la actividad de la población sobre el Arroyo El Gallo.

3).- Estimar los aportes del nitrógeno inorgánico y ortofosfatos por parte de la planta de tratamiento de la CESPE hacia la Bahía de Todos Santos.

4).- Determinar la eficiencia en la remoción de Nitrógeno inorgánico y Ortofosfatos por parte de la planta de tratamiento de la CESPE.

5).- Estimar la zona de influencia de la descarga de Nitrógeno inorgánico y Ortofosfatos por parte del Arroyo El Gallo sobre la Bahía de Todos Santos.

4. Descripción del área de estudio:

La Bahía de Todos Santos esta localizada entre los paralelos 31° 40' y 31° 50' de latitud Norte y de 116° 36' a 116° 50' de longitud Oeste. Geográficamente esta a 106 kilómetros al sur de la frontera México-USA sobre la costa Oeste de la Península de Baja California. Su forma es trapezoidal con una superficie de 24,000 hectáreas, midiendo 18 kilómetros de largo por 14 de ancho (Figura 1). Esta delimitada al Sur por la Península de Punta Banda que es rocosa montañosa, y por las Islas Todos Santos al Oeste; por el Norte con Punta San Miguel; y al Sureste por el Estero de Punta Banda. Cerca del 90% de su profundidad oscila entre los 10 y 50 metros, el 10% restante lo comprende un angosto cañón submarino ubicado entre las Islas Todos Santos y la Península de Punta Banda (Secretaría de Marina, 1974).

Sobre las corrientes dentro de esta Bahía Alvarez-Sánchez (1971) puso de manifiesto cierta relación entre los ciclos de marea y los vientos, lo cual produce corrientes superficiales, que la mayor parte del año son hacia el interior de la Bahía en dirección SE con cierta tendencia paralela a la costa. Durazo-Arvizu (1983) reporta que el patrón de corrientes superficiales al sur de la Bahía presenta una celda de circulación a partir de Punta Banda y a lo largo de la costa hasta el Estero de Punta Banda donde converge hacia el interior de esta Bahía.

Hacia el Noreste de la bahía se encuentra el Arroyo El Gallo, entre la entrada al Puerto de Ensenada y la boca del Estero de Punta Banda. Fue en la desembocadura de este arroyo y en las instalaciones de la planta de tratamiento de la CESPE (ubicada a 200 m de la desembocadura de este arroyo con la Bahía), donde se realizó la toma de las muestras para el presente estudio.

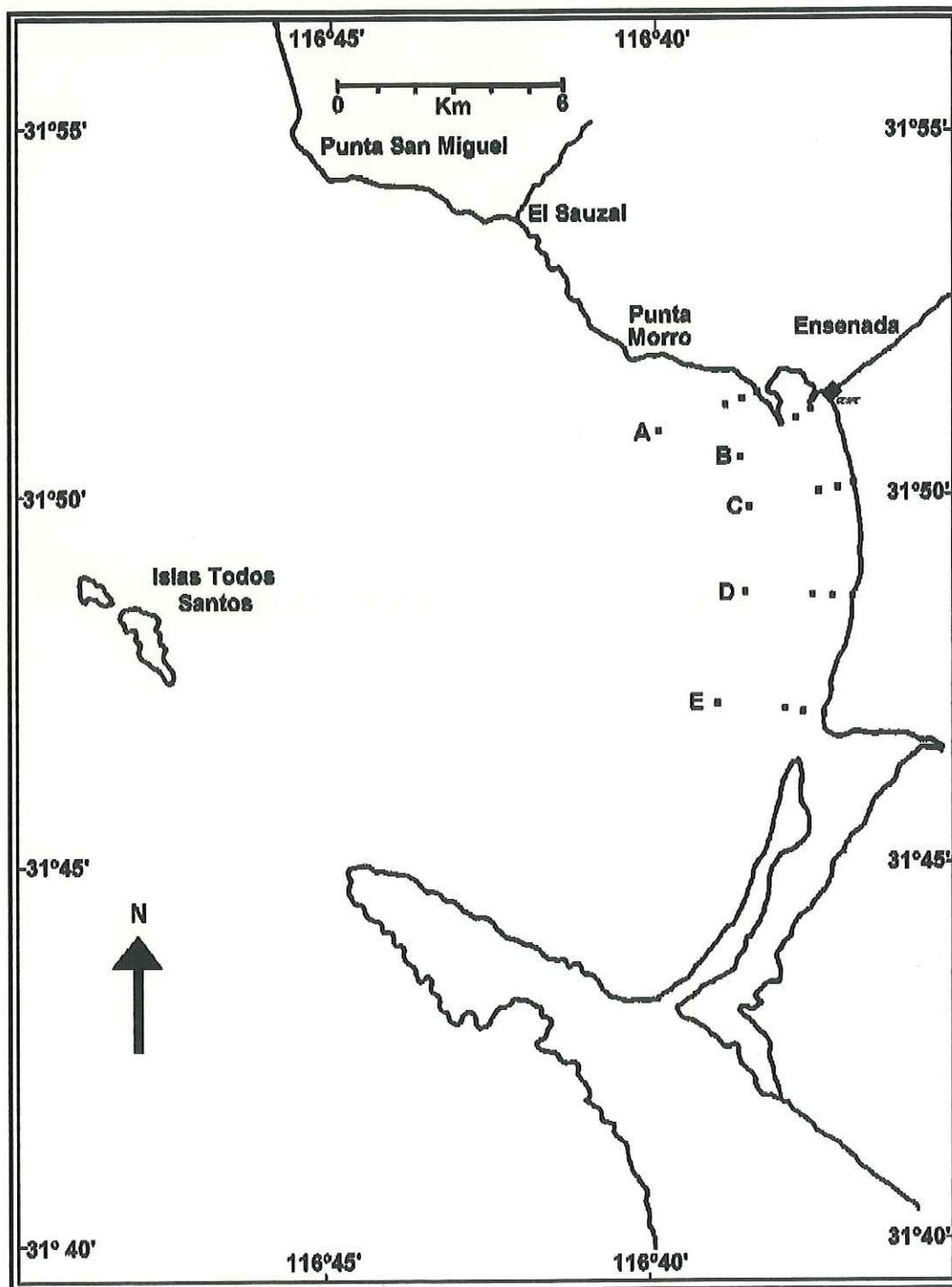


Figura 1. Localización del área de estudio y la ubicación de los transectos

5. Metodología:

5.1 Diseño del muestreo:

El diseño se realizó con el propósito de estudiar la variación en la concentración de nutrientes a diferentes escalas: diaria, semanal y estacional. Se ubicaron tres estaciones, la primera se le denominó *Entrada CESPE* (EC) ubicada a la entrada de la planta, la segunda a la salida de la planta de tratamiento la cual se nombró *Salida CESPE* (SC) y la última donde las aguas de la planta se unen con las provenientes del Arroyo El Gallo nombrado como *Salida Total* (ST) (Figura 2).

a).- *Variación Diurna*: Los muestreos se realizaron durante un día en las primeras semanas de los meses de estudio; en el periodo de julio a septiembre se realizaron en la EC y la ST y de octubre a diciembre en la EC, SC y ST. Con este propósito se realizaron 9 muestreos al día (Tabla I), de las 7:00 am hasta las 21:00 hrs, a intervalos de 2 horas; con la existencia de uno intermedio a las 12:00 hrs.

Tabla I: Fecha, horario y sitio en que se muestrearon las series diurnas.

DIA	MES	SITIO
9	JUL	EC y ST
1	AGO	EC y ST
6	SEP	EC y ST
11	OCT	EC, SC y ST
8	NOV	EC, SC y ST
18	DIC	EC, SC y ST

De julio a noviembre se tomaron muestras a las siguientes horas: 7, 9, 11, 12, 13, 15, 17, 19 y 21 y en diciembre a partir de las 9. EC= Entrada CESPE, SC= Salida CESPE y ST= Salida total

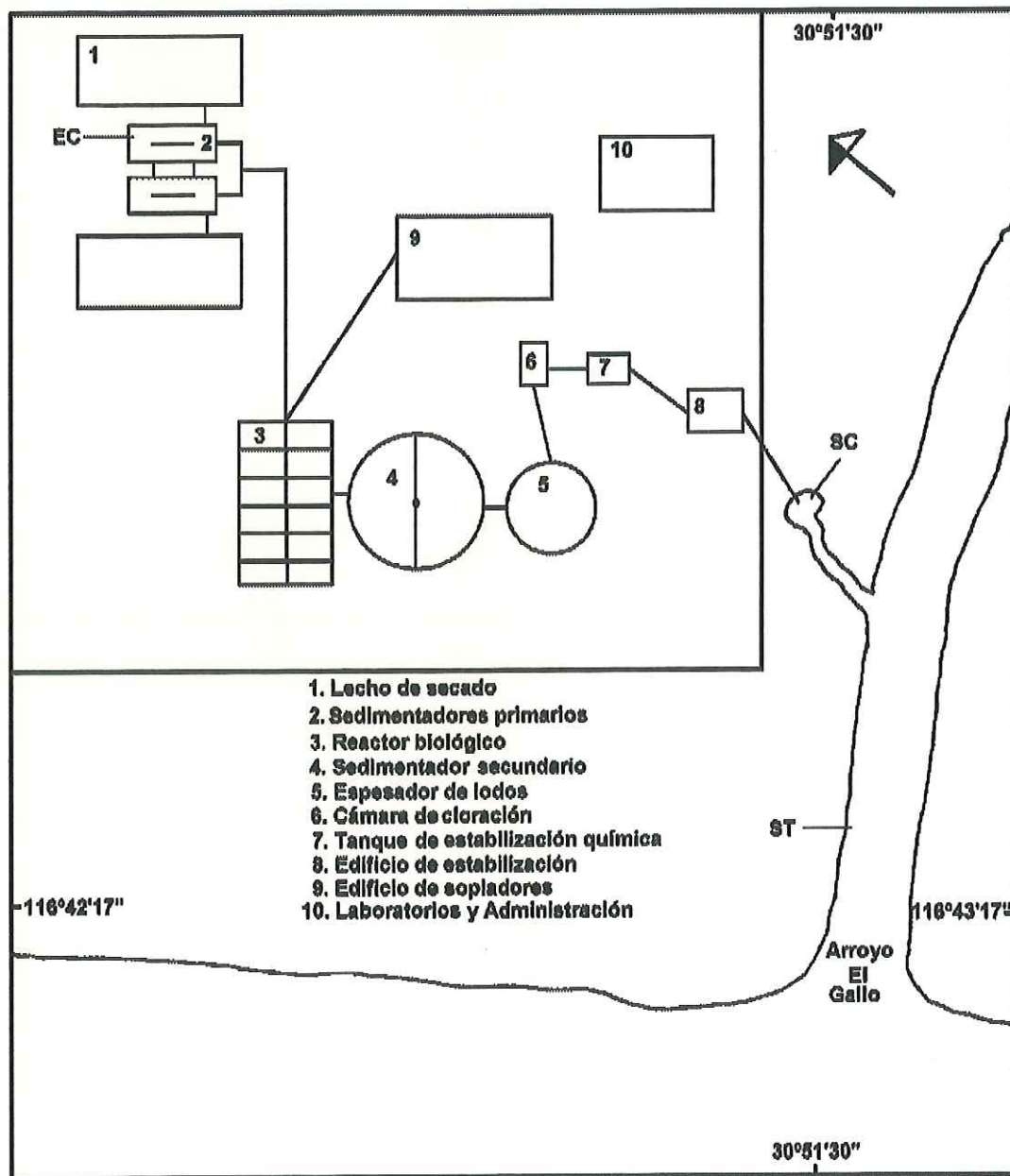


Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo dentro de la Planta de Tratamiento de la CESPE y el Arroyo El Gallo.

b).-Eficiencia y Aportes: para observar el comportamiento en la eficiencia y los aportes en relación a NO_3 , NO_2 , NH_4 , y PO_4 se muestreó en el periodo de octubre a diciembre sobre la EC y la SC en el mismo horario que la variación diurna (Tabla I).

c).-Variabilidad Semanal y Estacional: para verificar la presencia de estas tendencias, se realizó un muestreo con periodicidad de dos días desde el 16 de mayo de 1991 hasta el 17 de diciembre del mismo año; la toma de muestras se realizó entre las 11:00 y las 14:00 hrs en la estación ST (Figura 2).

d).-Zona de Influencia: para identificar la zona de influencia de la descarga sobre la Bahía se ubicaron una serie de transectos de acuerdo al patrón de circulación de la zona. Se muestreó sobre la zona de rompiente, a 100, 500, 1000 y 3000 metros de la costa en 5 diferentes transectos: A) Frente a el cárcamo de la Pesquera Galicia, B) Frente a el Arroyo El Gallo, C) Frente a la Cueva de los Tigres, D) Frente a la escuela del CONALEP y E) Frente al Hotel Estero Beach (Figura 1). Todas las muestras se tomaron en la superficie a bordo de una lancha tipo paceña. Este diseño permitió la detección de gradientes horizontales y estimar la dispersión de la pluma contaminante en la Bahía.

5.1.1 Métodos de Análisis:

Las variables medidas durante este estudio fueron nitratos, nitritos y fosfatos. Las muestras se colectaron en botellas de plástico de 250 ml siendo analizadas por la metodología descrita en APHA (1980). Muestras de amonio también se colectaron en botellas de plástico de 250 ml y se analizaron con la metodología descrita por Koroleff & Grasshoff (1983). Las muestras permanecieron congeladas a temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta ser analizadas en laboratorio.

Además se midió el Potencial de Hidrógeno (pH) y Potencial Redox (Eh) *in situ* con un potenciómetro modelo Orion SA-230. La temperatura se midió con un termómetro de cubeta de precisión $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por último, se tomaron muestras para Oxígeno Disuelto en botellas BOD, las que se analizaron bajo la metodología descrita por la APHA (1980).

Para el objetivo de establecer el área de influencia de las descargas de aguas residuales del arroyo, se planeó la toma de las siguientes muestras: nitratos, nitritos,

fosfatos y oxígeno disuelto las cuales se analizaron por el método descrito por Strickland & Parsons (1972); el amonio se analizó con la metodología de Koroleff & Grasshoff (1983). También se hicieron mediciones de pH y temperatura.

5.1.1.1 Procesamiento de Datos:

La observación del comportamiento diario en las concentraciones de nitrógeno inorgánico y ortofosfatos dentro de la planta de tratamiento, se realizó mediante un seguimiento en las fluctuaciones de los nutrientes sobre las tres estaciones de muestreo.

Los aportes de nitrógeno inorgánico y ortofosfatos que son descargados por la planta de tratamiento a la Bahía se conocieron una vez que se calculó la concentración de los nutrientes y después de multiplicar estos datos por el gasto de la planta de tratamiento usando la siguiente relación:

$$An = ([Xn])(Gp)$$

Donde: $[Xn]$ = Concentración del nutriente expresada en mg-at/lit.

Gp = Gasto de planta de tratamiento expresado en lt/s.

An = Aporte del nutriente en mg-at/s.

Para evaluar la variabilidad semanal y estacional de las concentraciones de nitrógeno inorgánico y ortofosfatos por parte del arroyo, se realizaron series de tiempo; y se utilizó el método de análisis espectral, mediante la aplicación del programa *SPECTRA*, para detectar las frecuencias predominantes en las series para los datos de concentración y de aportes diarios hacia la bahía.

Para calcular la eficiencia de remoción de la planta para las diferentes variables (NO_3 , NO_2 , NH_4 y PO_4) se utilizó la siguiente relación:

$$EP = (1 - [Xn]_{SC} / [Xn]_{EC}) (100)$$

Donde: $[Xn]_{SC}$ = Concentración del nutriente en la Salida CESPE.

$[Xn]_{EC}$ = Concentración del nutriente en la Entrada CESPE.

EP = Eficiencia de la Planta.

Estos resultados se procesaron y analizaron por métodos estadísticos, como a continuación se describe:

1.- Kolmogorov-Smirnov: para ver si los datos se distribuían normalmente.

2.- Prueba de Bartlett: para observar que los datos tuvieran homogeneidad de varianza.

3.- Correlación de Pearson: se aplicó a las muestras de pH, temperatura, flujo de la planta, oxígeno disuelto, y nutrientes con la finalidad de observar si existía asociación entre las variables a lo largo de la serie de tiempo.

Por último, para estimar la zona de influencia de dichas descargas, se calculó un "factor de enriquecimiento", y se estudió su comportamiento superficial en la Bahía. Este factor nos muestra cuantas veces es mayor la concentración de un nutriente en una zona afectada comparada con una zona considerada como testigo. Para tal propósito la estación no afectada se determinó de la siguiente manera:

$$C = C_0 e^{-kd}$$

Donde C = Es la concentración de la estación en cuestión.

C_0 = Es la concentración de la fuente principal (1B).

k = Es la constante de remoción.

d = Distancia a la descarga de la fuente principal (1B).

Al aplicar este coeficiente y graficar la concentración de X nutriente vs la distancia a la principal descarga, se encontró que la estación 5E presentaba los valores más bajos en concentración para los cuatro nutrientes, por lo que se tomó a esta estación como una zona no afectada por las descargas de este arroyo. Este factor quedó expresado de la siguiente manera:

$$FE = [X_n]_{Zc} / [X_n]_{Zn}$$

Donde: $[X_n]_{Zc}$ = Concentración del nutriente en la zona contaminada.

$[X_n]_{Zn}$ = Concentración del nutriente en la zona natural.

FE = Factor de Enriquecimiento.

También se compararon los resultados de este trabajo con las concentraciones reportadas como normales para la Bahía por otros autores.

6. Resultados:

Debido a la gran cantidad de resultados obtenidos a lo largo de este estudio y a que su manejo involucraba grandes espacios causando dificultad en la lectura de este trabajo, a continuación se mencionaran las *Tablas I-IX* las cuales están incluidas en el apéndice

6.1 Variación diurna:

a).- Descripción general de las variables fisicoquímicas:

Por lo que respecta al oxígeno disuelto, los valores sobre la EC, tomados en el tanque de sedimentación fueron de 0.0 mg-at/lit a lo largo del estudio y en las diferentes horas de muestreo. Para el sitio llamado SC siempre existieron los registros de oxígeno más altos superando a los presentados en el sitio denominado ST (*Tablas I-VIII*), donde los valores más altos se encontraron durante julio y la primer semana de agosto (2.15 mg-at/lit) y los menores hacia diciembre (0.55 mg-at/lit).

Por lo que respecta a la temperatura, existió una diferencia de 0.5 °C como máximo entre el agua que entra a la CESPE (EC) y la detectada a la salida de la misma (SC) siendo siempre mayor la temperatura en el primer sitio que el segundo. Por otra parte; entre la EC y la ST existió una diferencia en la temperatura de aproximadamente 1.0 °C como máximo, teniendo los valores más altos en el primer punto y los menores en el segundo. Este comportamiento prevaleció durante todas las series practicadas (*Tablas I-VIII*).

El pH mostró muy poca variabilidad a lo largo de todo el estudio, tanto en las horas como en los sitios de muestreo (EC, SC y ST). Durante julio los valores oscilaron entre 7.52 y 7.83 , en agosto fueron de 7.56 a 7.95, para septiembre se presentaron los valores máximos de 7.22 a 8.11, durante octubre se observó la mayor variación yendo de 6.9 a 7.89; en noviembre oscilaron de 7.1 a 7.92 y por último, en diciembre cuando se registraron los valores mínimos la variación fue de 5.95 a 6.63 (*mismas tablas*).

El Eh solo pudo ser medido del mes de julio al mes de octubre debido a que se presentaron fallas técnicas en el funcionamiento de los electrodos utilizados. De esta

manera en julio los valores variaron de 262.4 mV a 483.8 mV, durante agosto fueron de -28.9 mV a 420.6 mV, para septiembre oscilaron de 5.7 mV a 290.5 mV y en octubre de -179.0 mV a 393.9 mV (*mismas tablas*).

b).- Comportamiento general de los nutrientes:

Durante los meses de verano (de julio a septiembre) los cuatro nutrientes mostraron sus valores pico, el NO_3 varió de 0.001 a 0.241 mg-at/lit N- NO_3 , el NO_2 fue de 0.001 a 0.466 mg-at/lit N- NO_2 y el PO_4 de 1.333 a 6.830 mg-at/lit P- PO_4 , siendo siempre las mayores concentraciones en la ST y las más bajas en la EC para estos tres casos, mientras que el NH_4 mostró los valores más altos en la EC y los bajos a la ST yendo de 0.401 a 2.867 mg-at/lit de N- NH_4 (*mismas tablas*).

Los nitratos en octubre (Figura 3A) alcanzaron los valores mínimos en la EC (de 0.0 a 0.07 mg-at/lit N- NO_3), y en general se puede ver que para este mes las mayores concentraciones se presentaron sobre la SC (de 0.06 a 0.15 mg-at/lit N- NO_3). Durante este mes las concentraciones elevadas oscilaron entre las 12 y las 17 hrs aunque a las 7 hrs se presenta un pico en la ST de 0.27 mg-at/lit N- NO_3 .

Para noviembre (Figura 3B) las menores concentraciones se observaron sobre la EC (de 0.06 a 0.13 mg-at/lit N- NO_3) y las máximas en la SC durante todo el día; existe un fenómeno pico que se presenta a las 12 hrs y que altera las concentraciones en los tres sitios de muestreo, llegando a valores por encima de los 4.0 mg-at/lit N- NO_3 .

Durante diciembre (Figura 3C) se mantiene el mismo patrón, valores menores en la EC (de 0.04 a 0.06 mg-at/lit N- NO_3) y los mayores sobre la SC (de 0.11 a 0.15 mg-at/lit N- NO_3) durante todo el día; manteniéndose las mayores concentraciones entre las 13 y 19 hrs aunque se presenta un pico a las 11 hrs en la ST (de 0.15 mg-at/lit N- NO_3).

Aunque existe variabilidad en el comportamiento, los valores de NO_3 durante los tres meses siempre fueron menores en la EC y mayores a la SC.

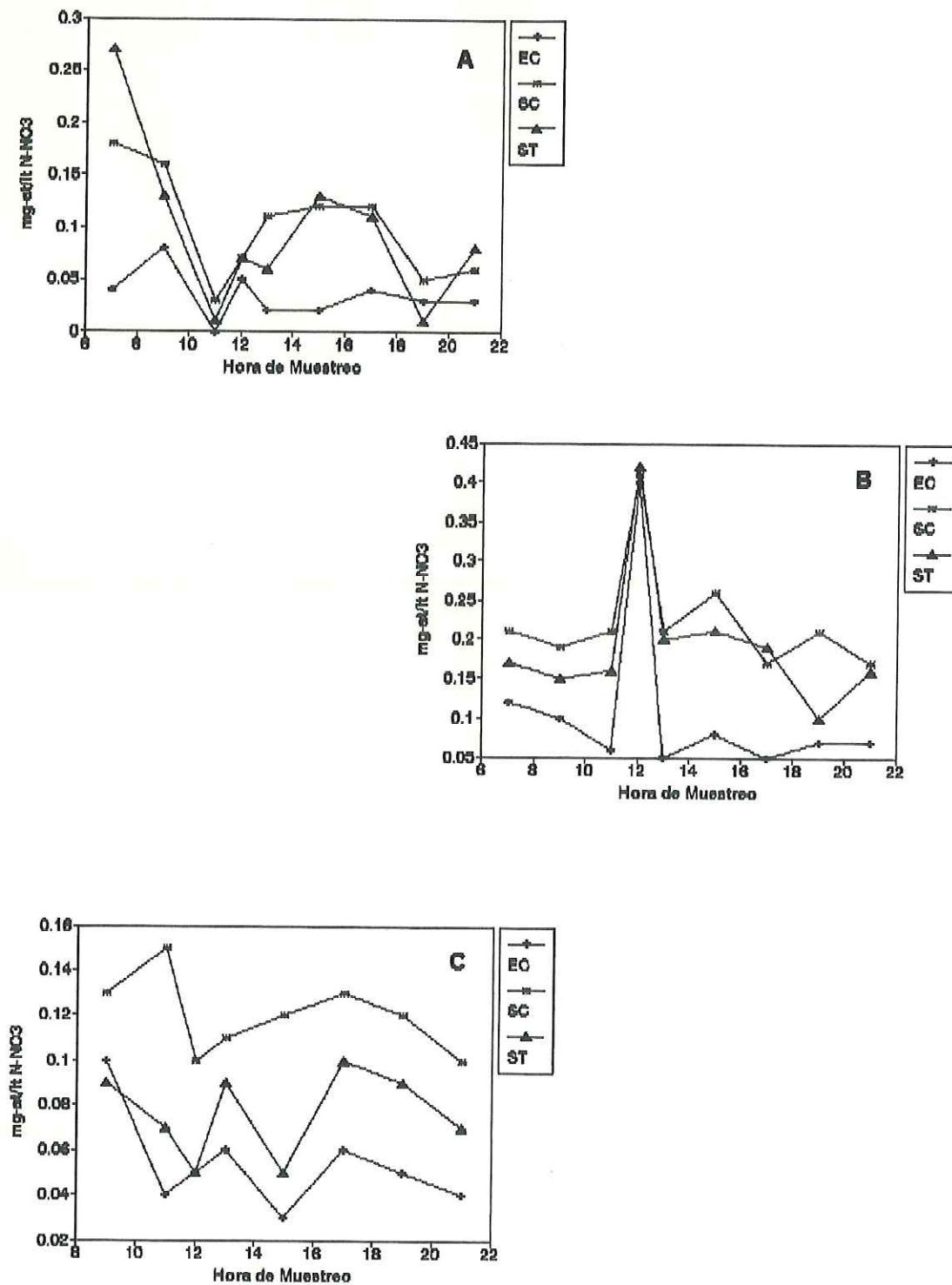


Figura 3. Variación espacial diurna del NO_3 para el muestreo de octubre (A), noviembre (B) y diciembre (C) de 1991.

En cuanto al nitrito, para octubre (Figura 4A) las concentraciones más bajas fueron en la EC (de 0.0 a 0.002 mg-at/lt N-NO₂) y las más elevadas se dieron en la ST (de 0.002 a 0.007 mg-at/lt N-NO₂). Para este mes se dio una marcada variabilidad, pero en general se puede apreciar que las concentraciones más elevadas se presentaron entre las 12 y las 15 hrs; cuando un máximo ocurre en la SC (0.008 mg-at/lt N-NO₂).

En noviembre (Figura 4B), las concentraciones suben en un orden de magnitud y se da una marcada variabilidad en cuanto a la hora y el sitio de muestreo, aún así las bajas concentraciones tienden a ocurrir sobre la EC (de 0.0 a 0.01 mg-at/lt N-NO₂) y las altas sobre la ST (de 0.01 a 0.025 mg-at/lt N-NO₂). Como el mes anterior, las altas concentraciones ocurrieron entre las 11 y las 17 hrs.

Para diciembre (Figura 4C) las concentraciones bajan en un orden de magnitud y una vez más se presentan los menores valores sobre la EC (de 0.0 a 0.003 mg-at/lt N-NO₂) y los mayores en la ST (de 0.003 a 0.008 mg-at/lt N-NO₂). En este mes las mayores concentraciones se dan entre las 12 y las 17 hrs; con un pico en la SC (0.008 mg-at/lt N-NO₂) a las 12 hrs.

Este nutriente fue el que presentó la mayor variabilidad durante los muestreos pero los valores más bajos siempre fueron en la EC y los más altos en la ST.

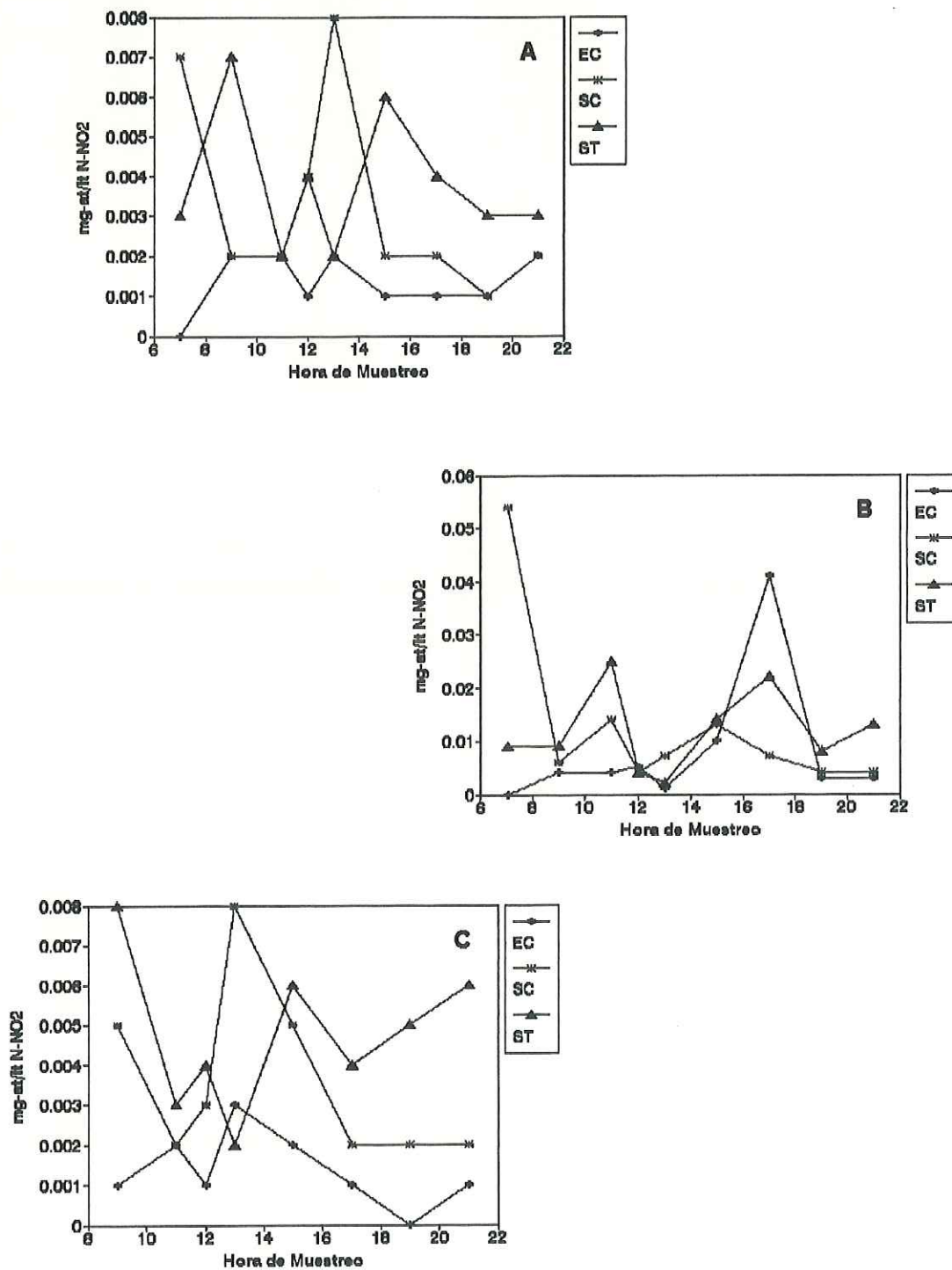


Figura 4. Variación espacial diaria del NO_2 para el muestreo de octubre (A), noviembre (B) y diciembre (C) de 1991.

Por lo que respecta al amonio (Figura 5A), en el mes de octubre presentó los valores más altos en la EC (de 1.1 a 2.0 mg-at/lit N-NH₄) y los más bajos en la SC (de 0.8 a 1.15 mg-at/lit N-NH₄). Para este mes se puede observar que de las 7 a las 11 y de las 15 a las 17 hrs. se mantuvieron las concentraciones elevadas, tendientes a disminuir a lo largo del día.

En noviembre (Figura 5B) los valores altos (de 0.9 a 1.6 mg-at/lit N-NH₄) se presentaron en la EC y los valores bajos sobre la ST (de 0.62 a 0.92 mg-at/lit N-NH₄) , manteniéndose las concentraciones altas de las 9 a las 12 y de las 15 a las 17 hrs manteniéndose estables a lo largo del día.

En diciembre (Figura 5C) los valores altos se presentaron una vez más en la EC (de 0.9 a 1.06 mg-at/lit N-NH₄) y los bajos en la ST (de 0.25 a 1.0 mg-at/lit N-NH₄). En este mes las mayores concentraciones se dieron de las 12 a las 19 hrs tendientes a incrementarse a lo largo de día.

En el caso del amonio se puede decir que los valores bajos se dieron a la ST y los altos a la EC aunque con una marcada variabilidad.

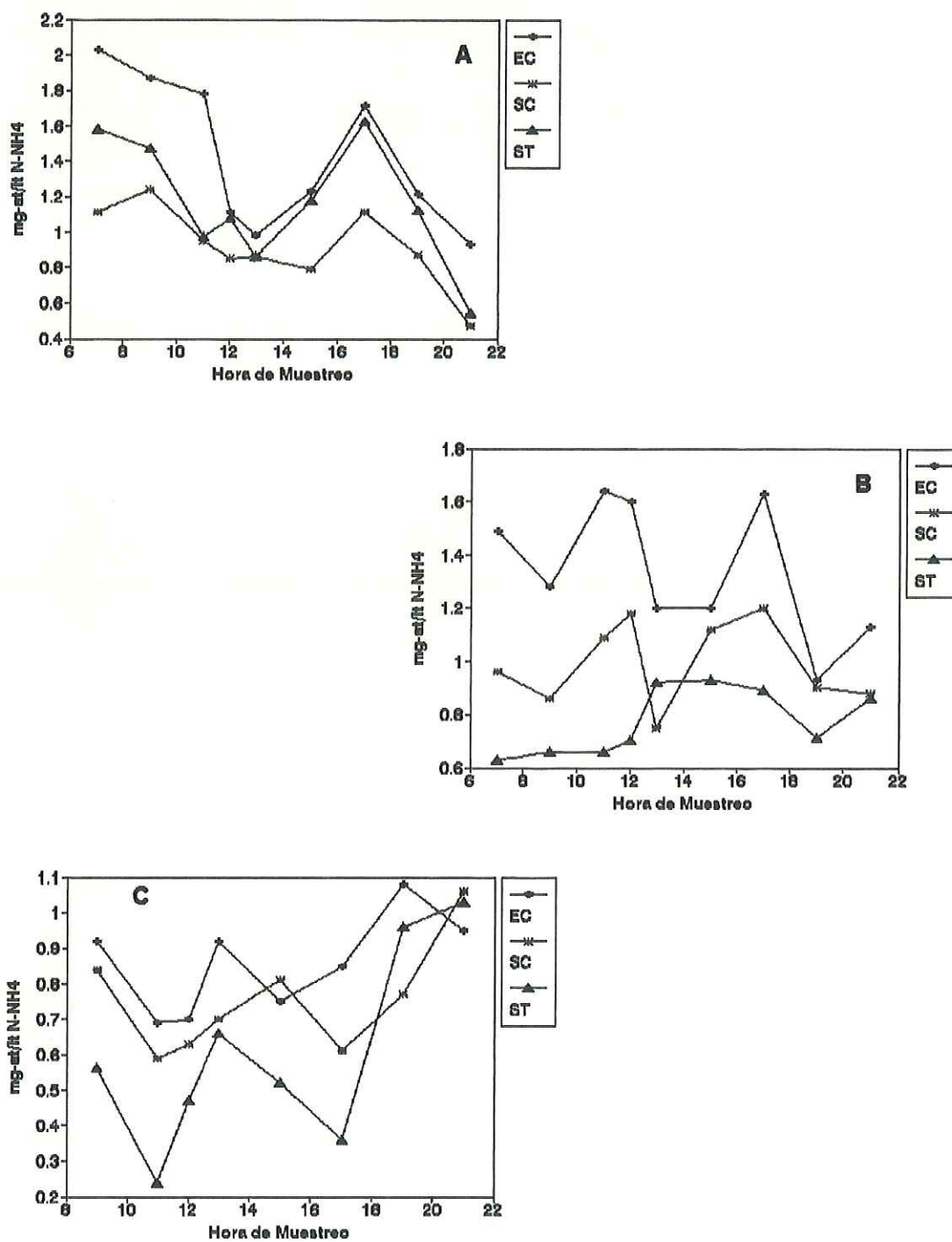


Figura 5. Variación espacial diaria del NH_4 para el muestreo de octubre (A), noviembre(B) y diciembre (C) de 1991.

Por último , el fosfato para el mes de octubre (Figura 6A) alcanzó los valores bajos en la EC (de 1.97 a 4.0 mg-at/lt P-PO₄) y los altos en la ST (de 5.0 a 9.0 mg-at/lt P-PO₄), en este mes las concentraciones más elevadas se dieron entre las 11 y las 15 hrs incrementándose a lo largo del día.

En el mes de noviembre (Figura 6B) los valores bajos ocurrieron sobre la EC (de 2.2 a 3.6 mg-at/lt P-PO₄) y los altos sobre la ST (de 3.1 a 7.06 mg-at/lt P-PO₄), presentándose las concentraciones más altas de las 11 a las 13 hrs permaneciendo .estables a lo largo del día

Para finalizar, en el mes de diciembre (Figura 14) se mantiene este patrón, valores bajos (de 1.3 a 3.5 mg-at/lt P-PO₄) en la EC y los altos (de 3.1 a 6.7 mg-at/lt P-PO₄) en la ST. Las concentraciones elevadas se presentan de las 13 a las 17 hrs tendientes a disminuir a lo largo del día.

Los fosfatos también mostraron una marcada variabilidad, pero como se puede observar las menores concentraciones ocurrieron a la EC y las mayores a la ST.

Observando el comportamiento de los cuatro nutrientes, podemos apreciar de manera general que sus concentraciones, si bien tienen grandes fluctuaciones, presentan una tendencia a incrementarse al medio día (12 hrs) y por la tarde (16 hrs).

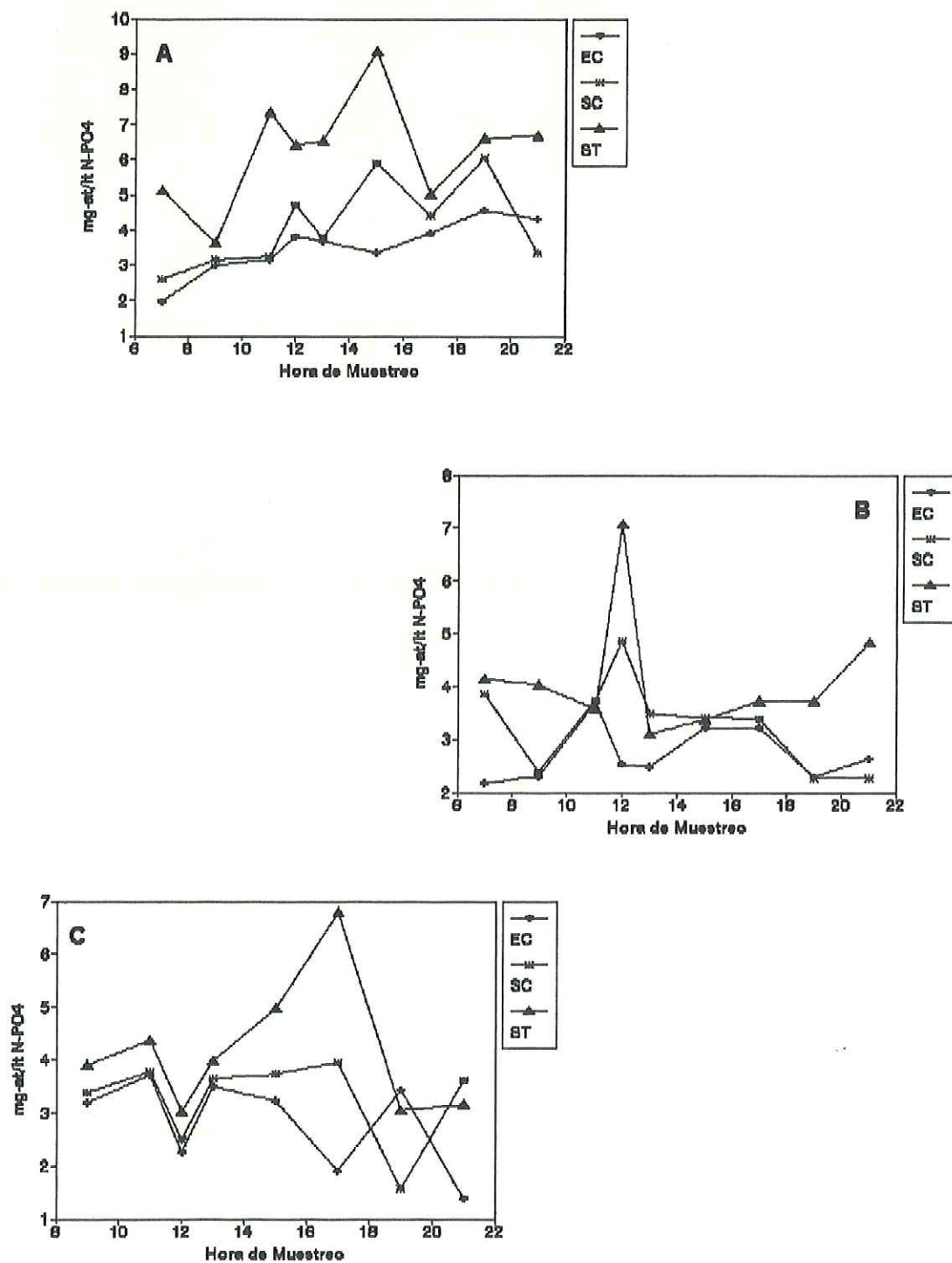


Figura 6. Variación espacial diurna del PO_4 para el muestreo de octubre (A), noviembre (B) y diciembre (C) de 1991.

6.1.1 Variación estacional y semanal:

a).- variación general de las variables fisicoquímicas:

El oxígeno disuelto mostró que los valores más altos, aunque con una marcada variación, se presentaron hacia los meses de junio y julio, siendo de 2.5 mg-at/lt (Figura 7). Por otra parte, la concentración del oxígeno disminuyó en los meses de invierno, durante noviembre y diciembre, llegando a ser hasta de 0.6 mg-at/lt pero marcadamente más estables.

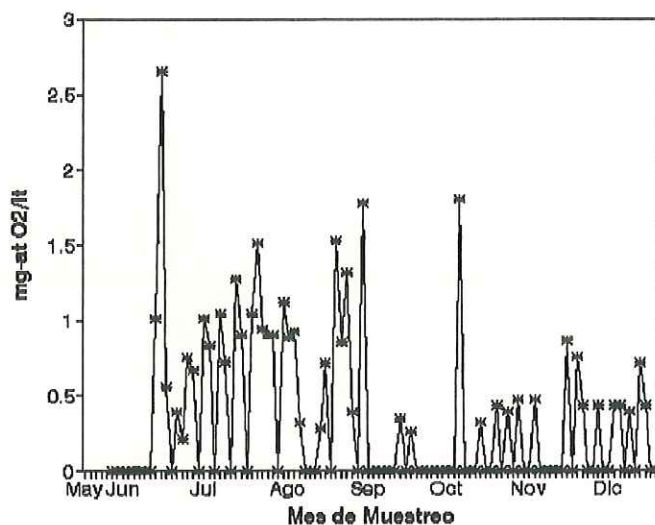


Figura 7. Concentración del oxígeno disuelto medido en el punto ST del 16 de mayo al 18 de diciembre de 1991.

La temperatura denota un marcado comportamiento estacional, con los valores más altos en el verano, 27.5 °C, disminuyendo estos hacia los meses de invierno 21.0 °C (Figura 8)

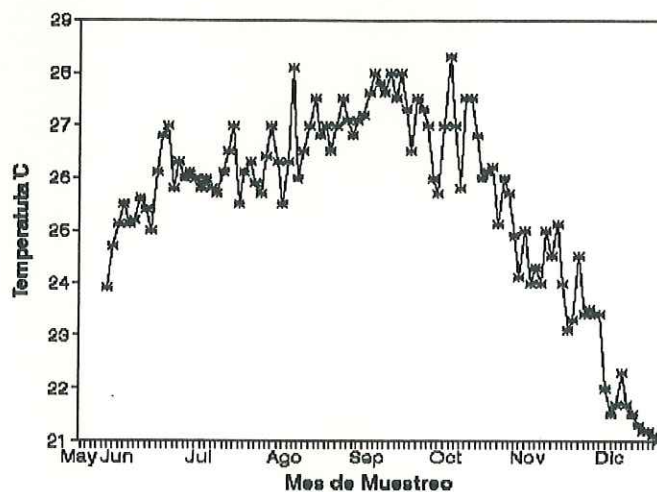


Figura 8. Comportamiento anual de temperatura en el sitio ST del 16 de mayo al 18 de diciembre de 1991.

El pH durante la serie de tiempo mostró una variación estacional, de mayo hasta octubre se presentaron los valores básicos que oscilaron entre los 7.0 y 8.2, y a partir de la última semana de noviembre y durante los muestreos de diciembre se presentaron los valores ácidos, que oscilaron entre 6.3 y 6.9 (Figura 9).

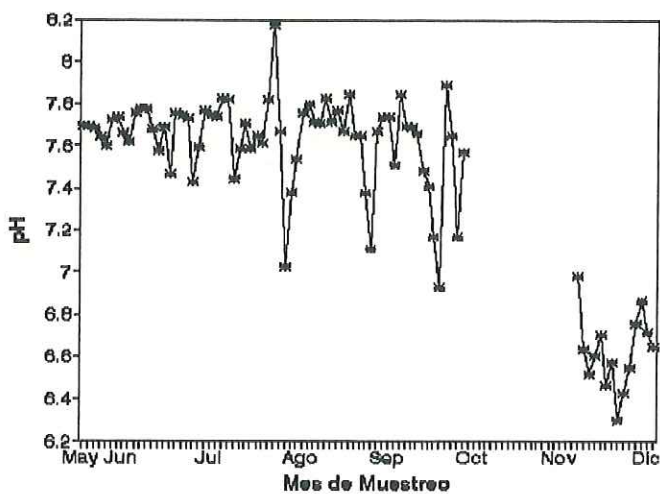


Figura 9. Comportamiento anual del pH en el sitio ST del 16 de mayo al 18 de diciembre de 1991.

Por lo que respecta al Eh, que se midió a partir del mes de junio y hasta la primer semana de octubre, los valores fueron muy variables yendo de -90.2 mV a 424.1 mV (Tablas I-viii).

b).- variación general de los nutrientes:

Los nitratos y los nitritos (Figura 10 A y B), en general, mostraron comportamiento muy similar al del oxígeno, de mayo a julio se presentan los máximos, que son de 1.15 y 0.93 mg-at/lit N-NO₃ , N-NO₂ respectivamente y para el invierno los mínimos, de 0.13 y 0.009 mg-at/lit N-NO₃ ,N-NO₂ respectivamente.

El amonio para los meses de agosto y parte de septiembre presentó los valores máximos, 2.2 mg-at/lit N-NH₄, y para el mes de diciembre ocurrieron los mínimos, 0.23 mg-at/lit N-NH₄ (Figura 10 C).

Para los fosfatos el comportamiento fue inverso a los anteriores. Valores considerablemente altos se presentaron para mayo (6.8 mg-at/lit P-PO₄), decreciendo para finales del mes de agosto (3.2 mg-at/lit P-PO₄); ya que en septiembre hubo un incremento llegando a obtener los valores máximos en diciembre 7.13 mg-at/lit P-PO₄ (Figura 10 D).

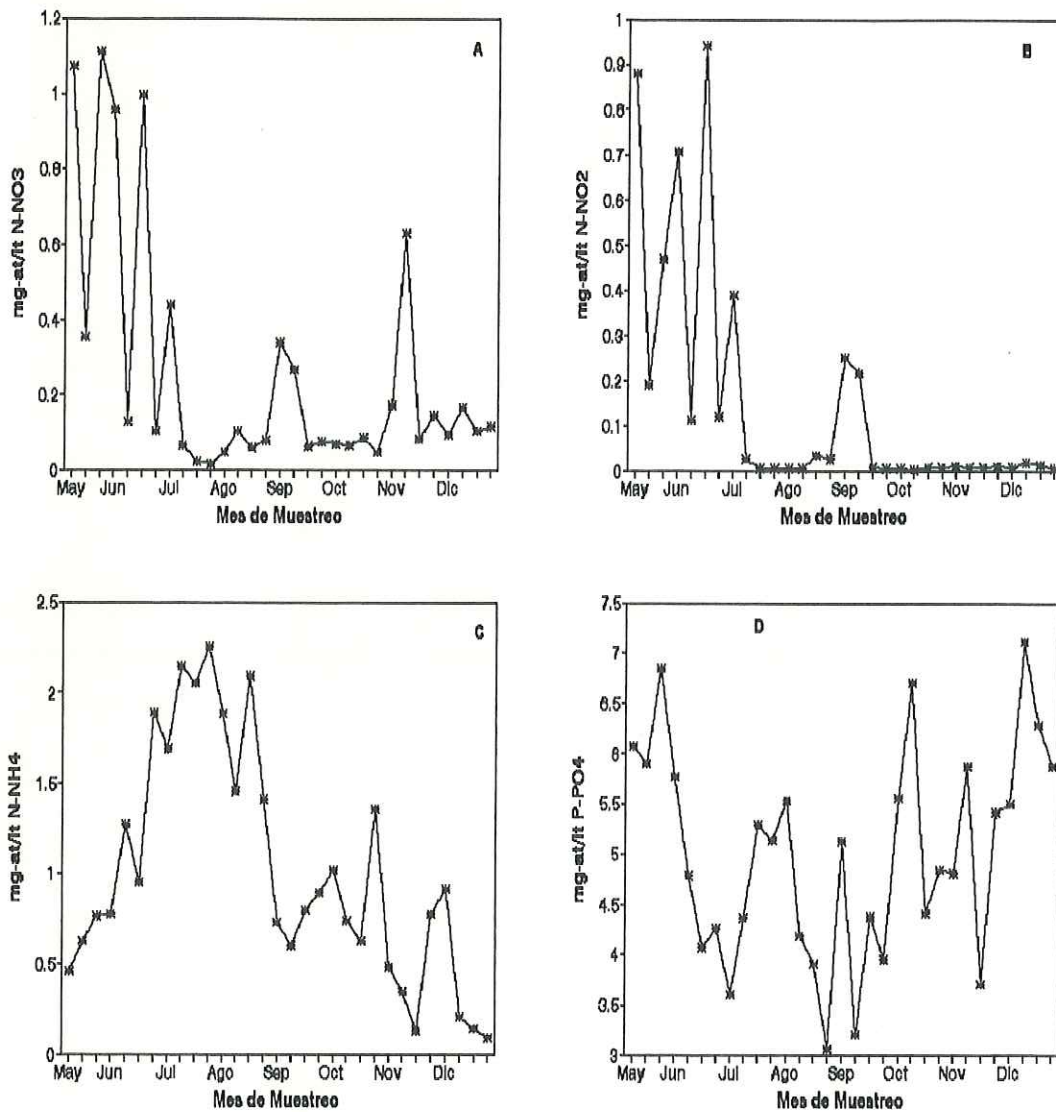


Figura 10. Concentraciones semanales promedio en el sitio ST del 16 de mayo al 18 de diciembre de 1991 para NO₃ (A), NO₂ (B), NH₄ (C) y PO₄ (D).

Analizando los resultados de la correlación de Pearson (Tabla II) se puede notar que los comportamientos del NO₃ y NO₂ están muy relacionados ($r = 0.98$) debido al involucramiento de ambos en el proceso de la nitrificación, mientras que el NH₄ no mostró una correlación con el comportamiento del NO₃ y NO₂ ($r = -0.17$ y -0.03 respectivamente) debido a que su presencia esta influenciada principalmente por la

degradación del material orgánico presente. El PO_4 mostró una relación inversa en su comportamiento con respecto al NO_3 , NO_2 y NH_4 , teniendo valores de r de -0.24, -0.32 y -0.39 respectivamente, ya que sus variaciones obedecen más bien a la degradación de la materia orgánica y a los aportes de detergentes los cuales son ricos en fosfatos.

El comportamiento de la temperatura y pH mostraron gráficamente una tendencia estacional bien definida, así que tomándolos como punto de referencia, se puede inferir que ninguna otra variable guarda una estrecha relación con el comportamiento estacional entre estas variables, es decir, valores altos en verano y bajos en invierno.

Otra relación interesante se dio entre el flujo de la planta de tratamiento con casi todas las demás variables. Esto significa que la concentración y los aportes mostraron el mismo comportamiento debido a que existe una relación positiva entre el flujo de la planta y la concentración como resultado de las diferentes escalas de uso del agua.

Tabla II. Resultado de la matriz de correlación de Pearson practicada para las muestras de la serie total.

	Flujo	NH4	NO2	NO3	O2	pH	PO4	Temp
Flujo	1.00							
NH4	-0.19	1.00						
NO2	0.21	-0.03	1.00					
NO3	0.26	-0.17	0.98	1.00				
O2	-0.13	0.35	-0.03	-0.05	1.00			
pH	-0.54	0.64	0.27	0.14	0.34	1.00		
PO4	0.14	-0.39	-0.32	-0.24	-0.28	-0.66	1.00	
Temp	-0.71	0.45	-0.02	-0.12	0.23	0.84	-0.58	1.00

Valor positivo indica una correlación (+) en el comportamiento de las muestras analizadas.

Valor negativo indica una correlación inversa en el comportamiento de las muestras analizadas.

Respecto al comportamiento semanal de los aportes y la concentración de nutrientes, el análisis espectral que se practicó a los datos mostró que existe un mismo comportamiento entre los mismos, habiendo solo diferencias en las escalas. Los resultados obtenidos mostraron claramente la existencia de una variación semanal para el caso de los cuatro nutrientes (Figuras 11 A, B, C, D); existiendo además otra tendencia quincenal para el caso de los nitratos y los nitritos. En estas figuras es notoria

la presencia de un pico representativo a los siete y uno más a los quince días lo cual hace evidente la tendencia temporal de sus comportamientos.

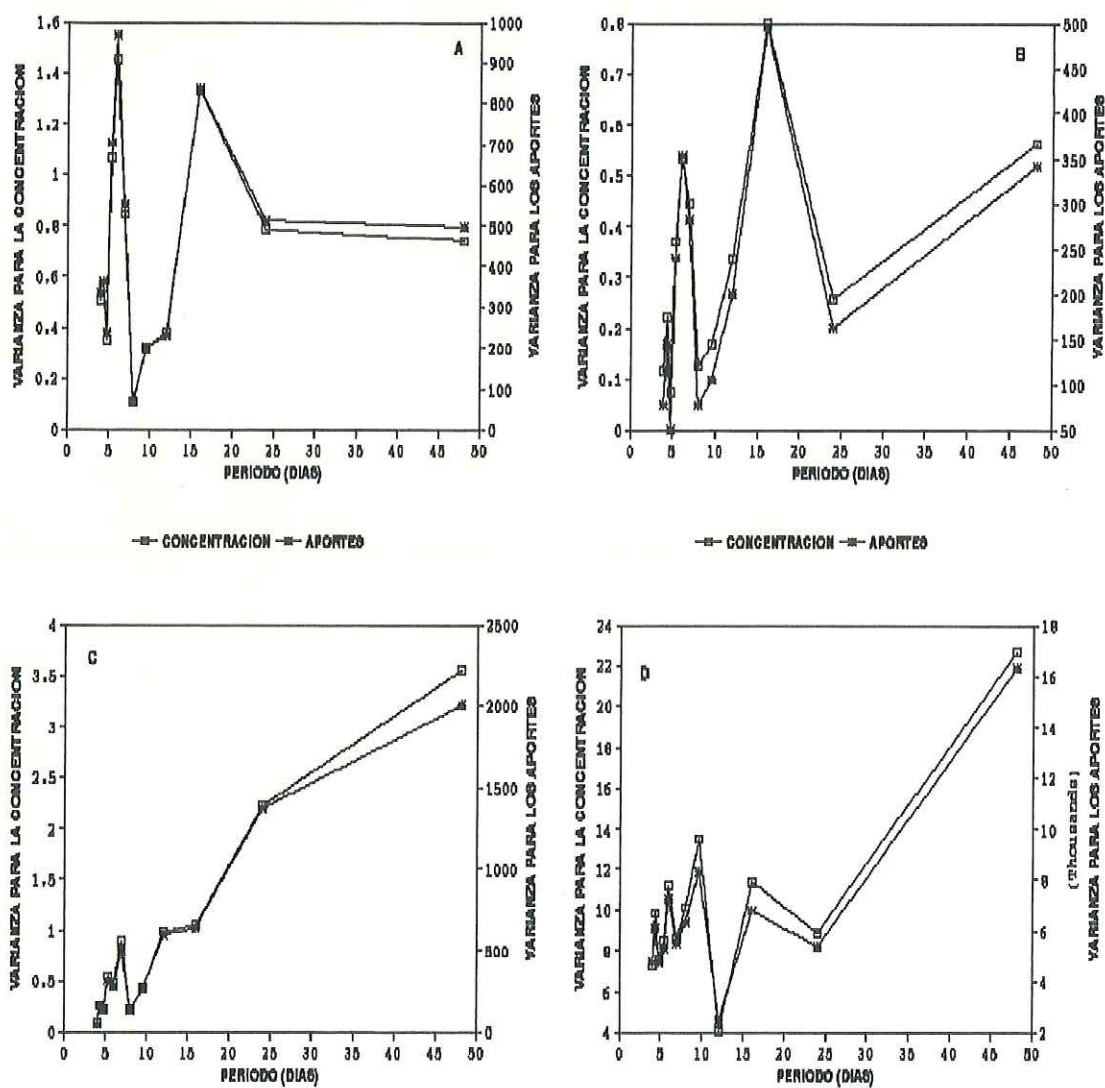


Figura 11. Análisis espectral de la serie de tiempo del NO₃ (A), NO₂ (B), NH₄ (C) y PO₄ (D).

6.1.1.1 Aportes de N y P de la planta de tratamiento a la bahía:

Los mayores aportes de P-PO₄ fueron en mayo (146.57 kg/día) y en diciembre (165.14 kg/día). Los nitratos y nitritos tuvieron un comportamiento similar, los mayores aportes de N-NO₃ se dieron en junio (19.04 kg/día) y de N-NO₂ también en junio (12.74 kg/día), los aportes de estos tres nutrientes mostraron un decremento en sus aportes hacia los meses de verano. Por lo que al amonio se refiere, este alcanzó los máximos de julio a agosto (46.43 kg/día) y los mínimos en diciembre (Figuras 12 A, B, C, D).

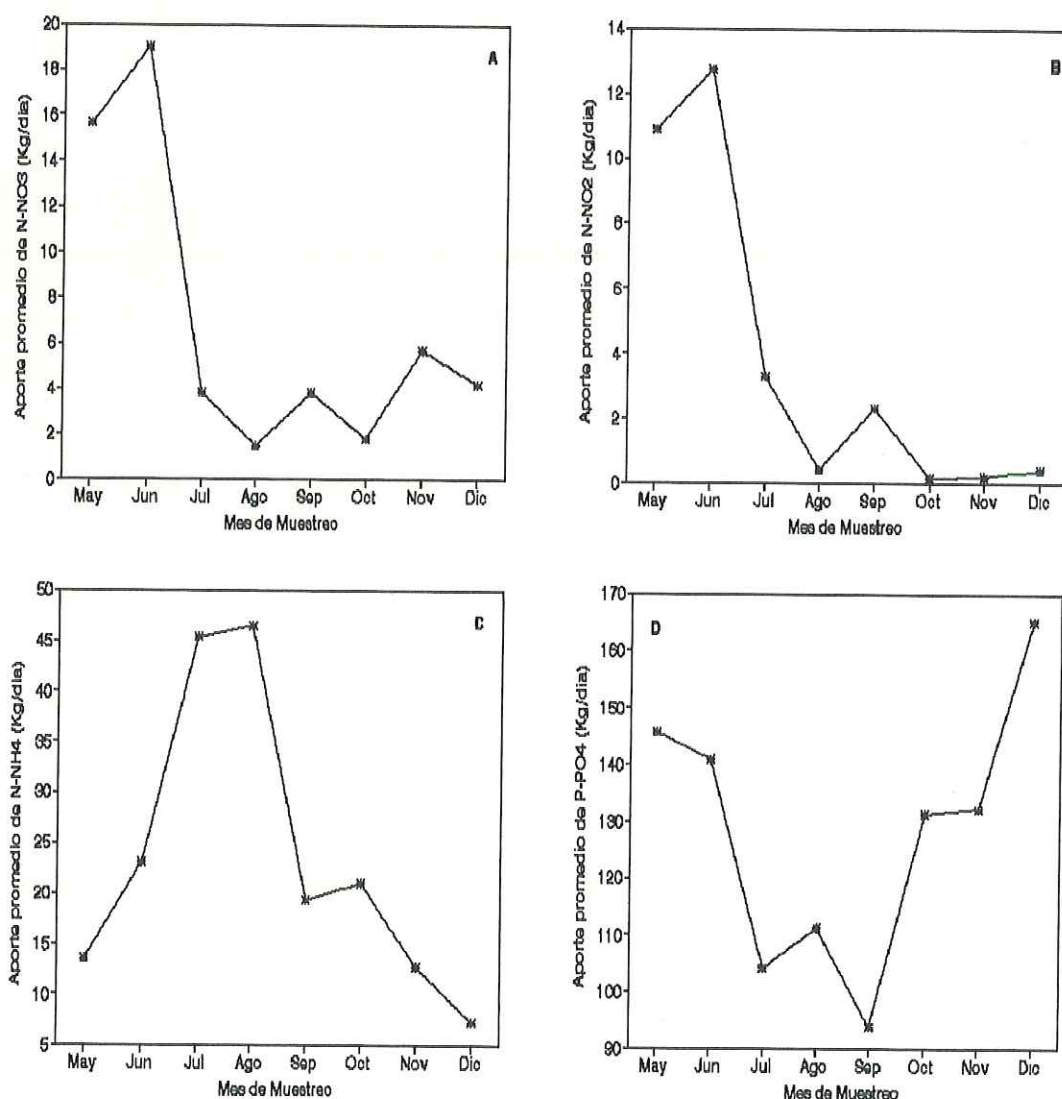


Figura 12. Aporte promedio diario de la planta en los diferentes meses de muestreo para NO₃ (A), NO₂ (B), NH₄ (C) y PO₄ (D).

El comportamiento de los aportes está directamente relacionado con el incremento o decremento de las diversas actividades de la población, lo cual repercute en la variación del flujo de la planta (Figura 13), donde se aprecia que los mayores flujos registrados en la planta ocurrieron de mayo a julio y en el mes de diciembre, decreciendo durante el verano

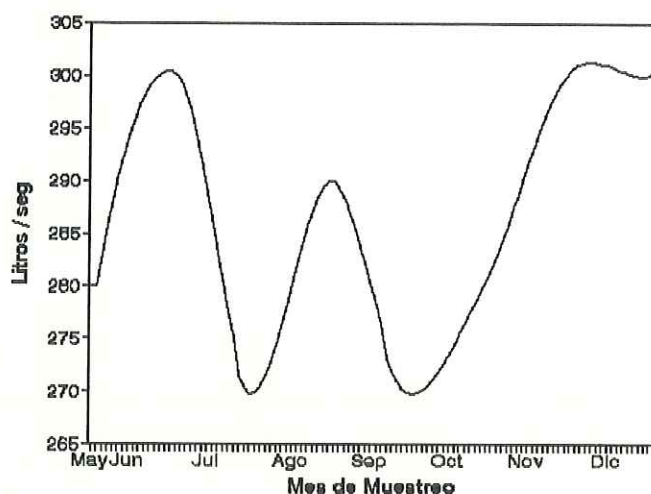


Figura 13. Comportamiento del flujo de la Planta de Tratamiento de la CESPE del 16 de mayo al 18 de diciembre de 1991.(Datos proporcionados por Ortega-Pérez,1992 comunicación personal)

Para determinar la relación existente entre los aportes de la planta con la concentración de nutrientes y el flujo de la misma, se calculó el coeficiente de variación (CV) del flujo, que resultó de 3.7%, y como se aprecia en la Tabla III, el CV de la concentración de los nutrientes es mayor que el del flujo de la planta, lo cual nos sugiere que las variaciones en los aportes de los nutrientes son función de las fluctuaciones de la concentración y no de la variación del flujo, ya que en todos los casos el CV de la concentración de los nutrientes es mayor al CV del flujo de la planta.

Tabla III. Valores del Coeficiente de Variación (CV) para la concentración de nutrientes

Coeficiente de Variación para de la concentración de:			
PO ₄	NH ₄	NO ₃	NO ₂
33.0%	67.0%	180.0%	237.0%

6.1.1.1.1 Variaciones en la eficiencia de la planta de tratamiento:

Por lo que respecta a la eficiencia de la planta de tratamiento, el NH_4 fue el único nutriente removido por la planta (Tabla IV). La eficiencia de remoción en octubre fue de 22.0 %, en noviembre de 26.0 % y en diciembre de solo 12.5 %. Para el NO_3 , NO_2 y PO_4 no se encontró ninguna reducción en las concentraciones a la salida de la planta. Por el contrario; para estos tres parámetros la planta actúa como un sistema mineralizador que aporta nutrientes hacia la Bahía (Tabla IV).

Tabla IV. Porcentaje de eficiencia de la Planta de Tratamiento en cuanto al sitio EC-SC.

MES	NO_3	NO_2	NH_4	PO_4
OCTUBRE	-164.98	-119.28	21.95	-17.18
NOVIEMBRE	-97.64	-57.14	25.98	-20.96
DICIEMBRE	-85.63	-125.29	12.42	-0.15

Valores negativos indican aporte de nutrientes por parte de la planta.

6.1.1.1.1.1 Distribución superficial en la Bahía:

Por lo que respecta al N y P, las variables medidas presentaron los valores más altos en concentración sobre las estaciones situadas en la zona de rompiente (*Tabla IX*), específicamente en los puntos de descargas de aguas residuales; disminuyendo estos valores conforme las estaciones se alejaban de la costa. También existió un patrón de dispersión paralelo a la costa, en dirección sur de la Bahía conforme las estaciones se alejaban de la fuente principal (Arroyo El Gallo) y nos acercamos a la boca del Estero Punta Banda (Figuras 14-17).

El factor de enriquecimiento empleado para identificar el cambio de concentración entre las estaciones es claro a este respecto, este factor muestra claramente dos fuentes de nutrientes antropogénicas, el Arroyo El Gallo que es la principal, seguido del cárcamo de la Pesquera Galicia. También se tiene el aporte de una fuente natural de NO_3 y NH_4 a la Bahía, el Estero de Punta Banda.(Tabla V).

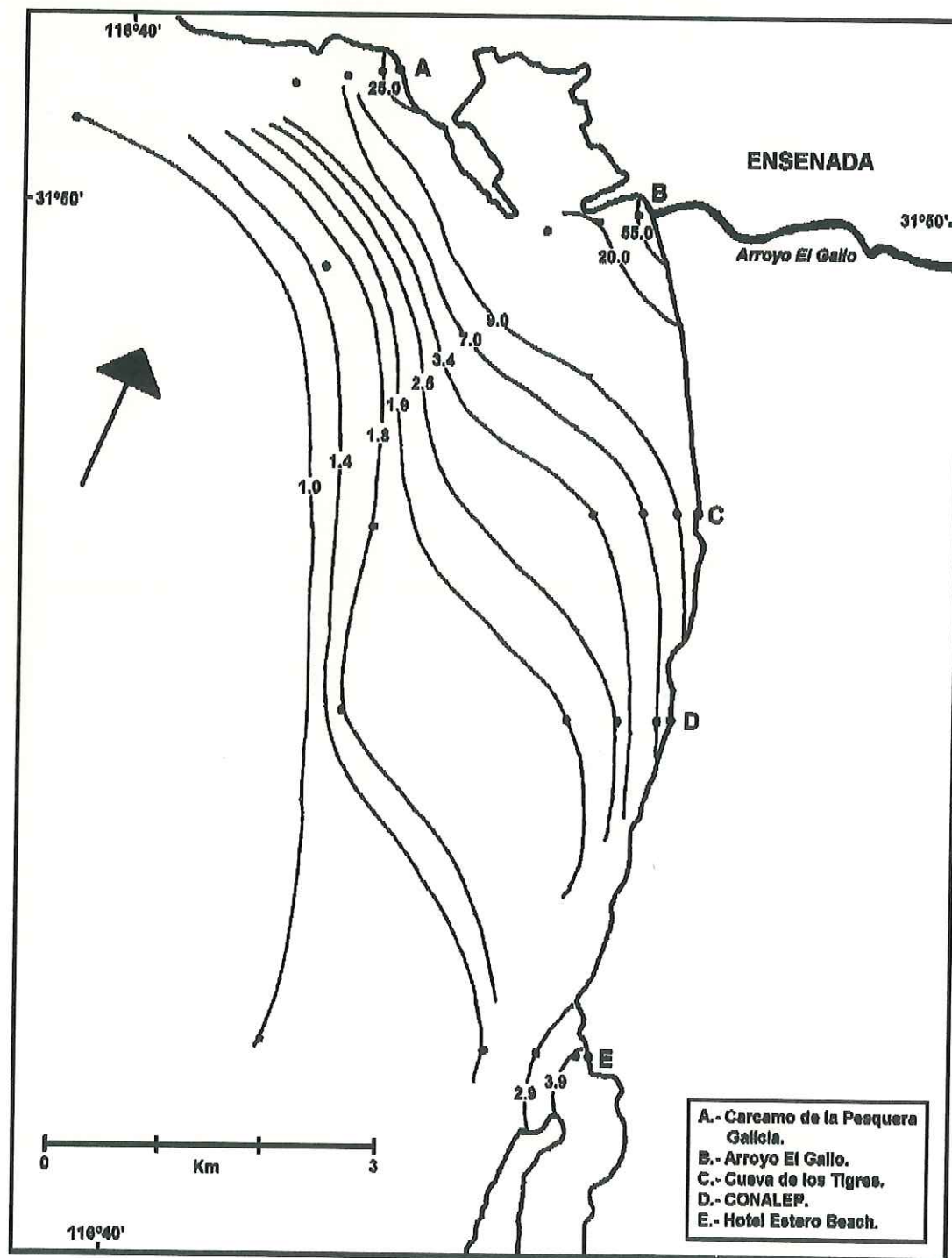


Figura 14. Comportamiento superficial del factor de enriquecimiento del NO_3 en la Bahía de Todos Santos durante el 22 de noviembre de 1991.

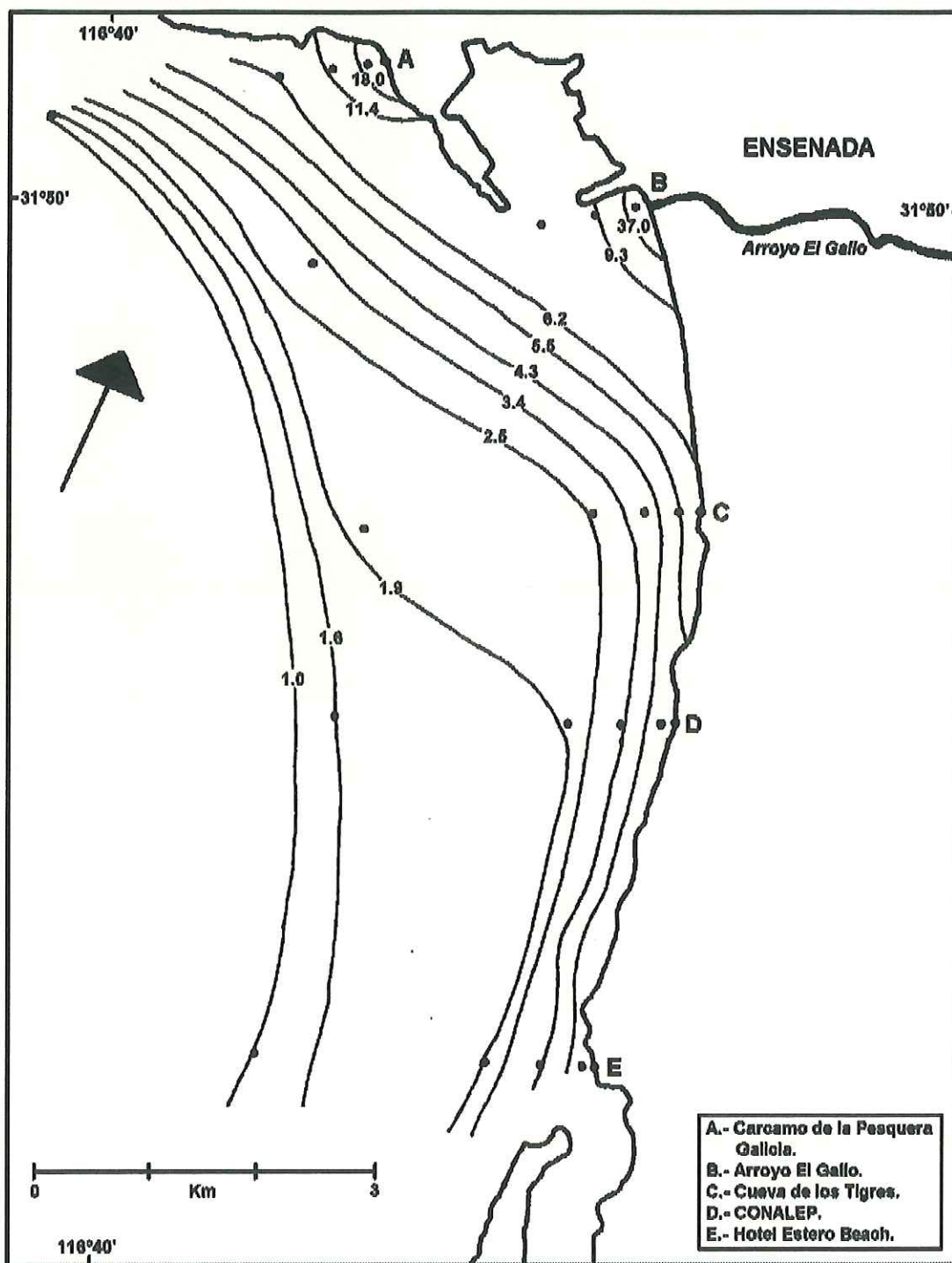


Figura 15. Comportamiento superficial del factor de enriquecimiento del NO_2 en la Bahía de Todos Santos durante el 22 de noviembre de 1991.

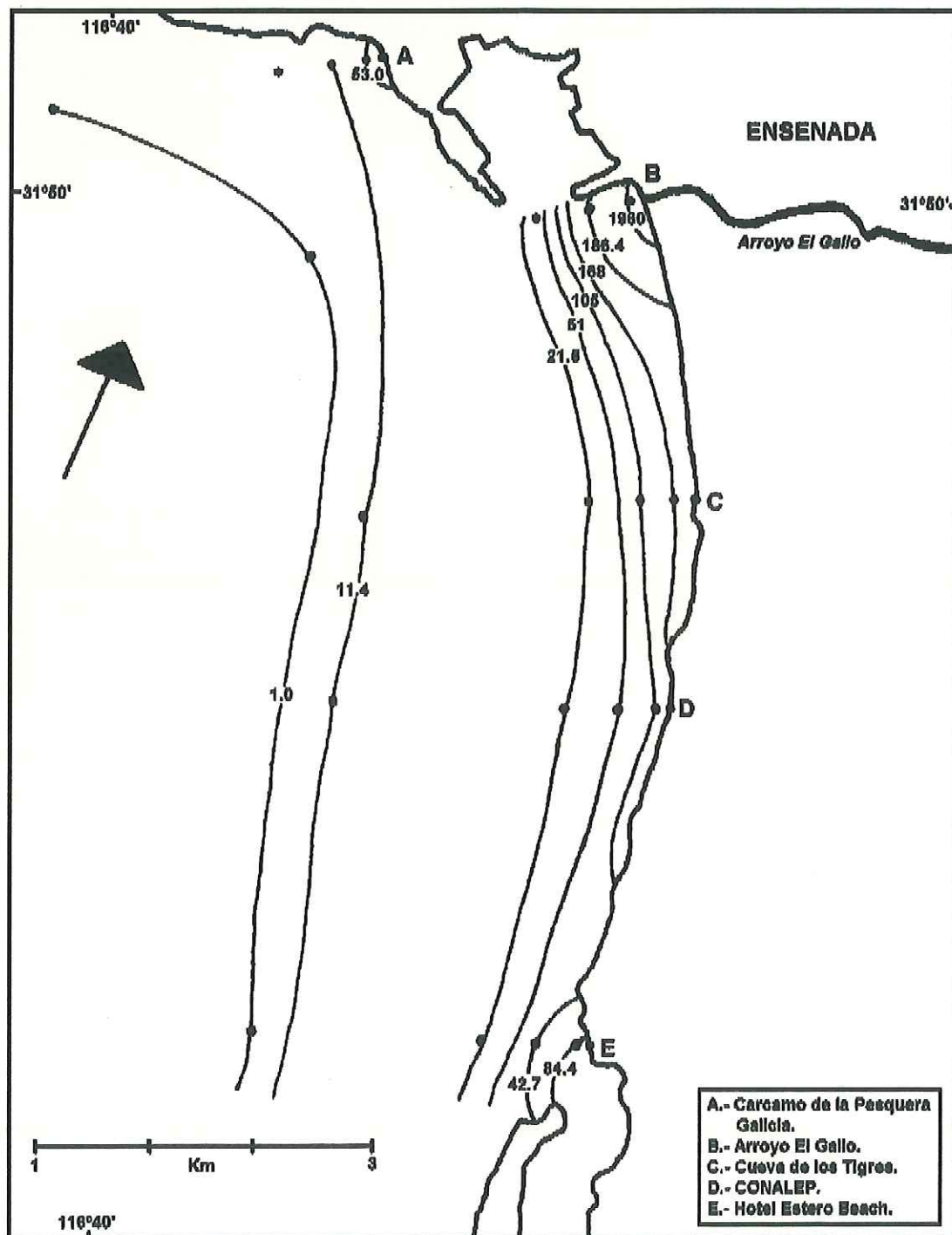


Figura 16. Comportamiento del factor de enriquecimiento del NH_4 en la Bahía de Todos Santo durante el 22 de noviembre de 1991.

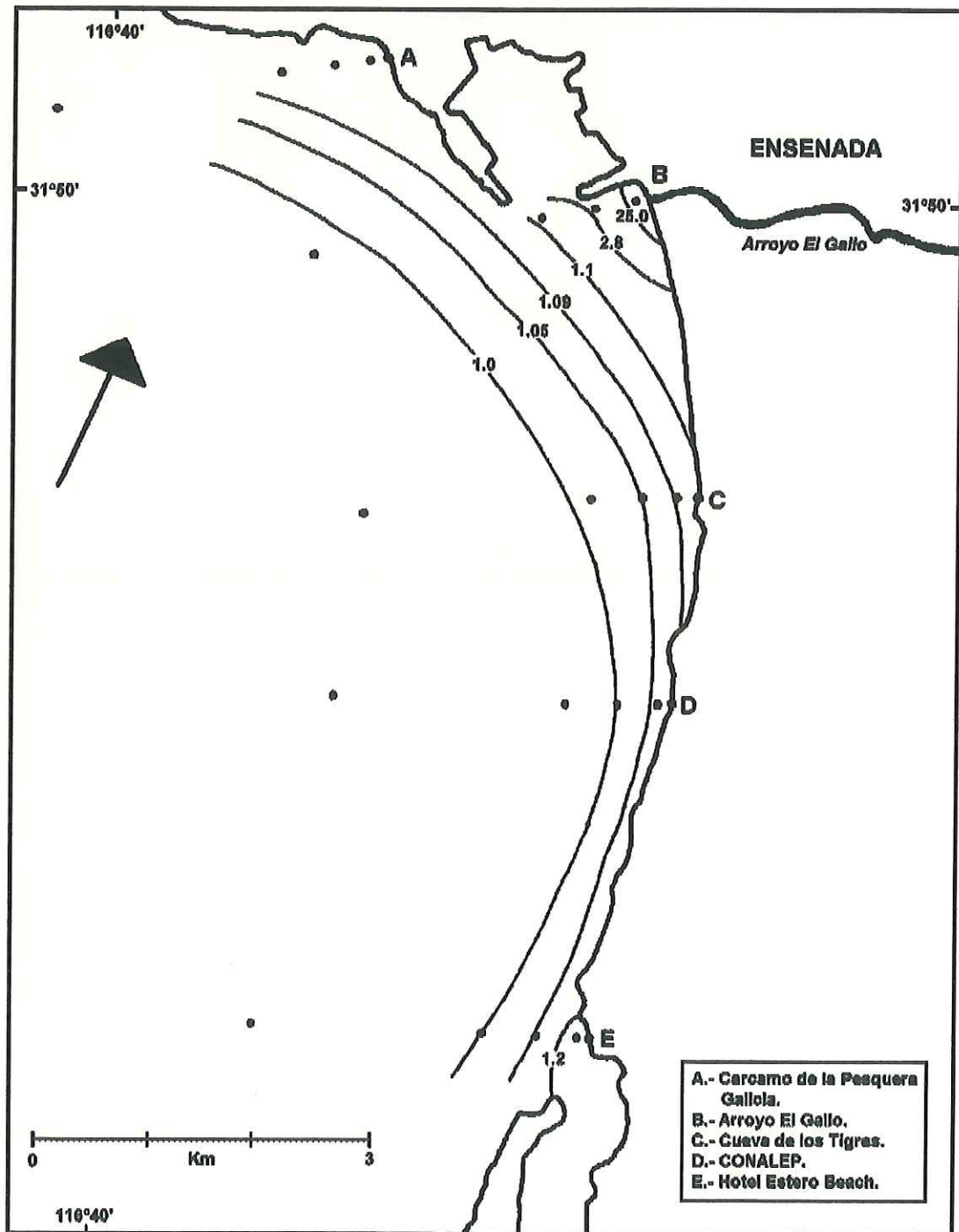


Figura 17. Comportamiento superficial del factor de enriquecimiento del PO_4 en la Bahía de Todos Santos durante el 22 de noviembre de 1991.

Tabla V. Resultados del factor de dilución empleado para identificar la principal fuente de nutrientes en la Bahía.

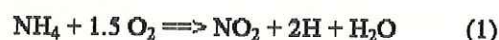
Estación	NO ₃	NO ₂	NH ₄	PO ₄
1A	60.6	21.0	124.0	2.0
2A	25.6	17.2	53.1	1.2
3A	8.8	11.4	11.4	1.1
4A	5.3	6.2	1.0	1.1
5A	1.4	1.0	1.0	0.1
1B	88.6	107.6	2439.0	50.6
2B	54.7	36.5	1960.0	25.4
3B	20.0	9.3	186.4	2.8
4B	3.1	4.8	53.1	1.12
5B	1.4	3.2	1.0	1.01
1C	25.0	17.1	184.4	5.01
2C	7.0	5.4	168.0	1.91
3C	4.9	3.5	105.0	1.05
4C	3.4	2.6	21.9	1.13
5C	2.1	2.2	11.4	1.0
1D	20.6	14.5	186.4	1.87
2D	9.0	4.7	105.2	1.05
3D	2.5	3.4	51.0	1.0
4D	1.9	1.9	21.8	1.0
5D	1.8	1.6	11.4	1.0
1E	9.0	13.3	157.3	1.12
2E	3.9	4.2	84.4	1.07
3E	2.9	3.1	42.7	1.05
4E	1.3	1.9	21.8	1.0
5E	1.0	1.0	1.0	1.0

1.0: Indica que la concentración en esa estación es igual a la concentración de la muestra considerada como de referencia (5E)

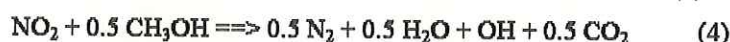
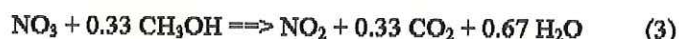
valor > 1.0: Indica que la concentración en esa estación es n veces mayor a la concentración de la muestra considerada como de referencia (5E)

7. Discusión:

El comportamiento de las formas nitrogenadas analizadas en este trabajo obedece prácticamente a la degradación de la materia orgánica y a dos procesos químico-biológicos bien establecidos: la nitrificación y la denitrificación. En general la nitrificación ocurre cuando existe una considerable concentración de oxígeno disuelto en el medio, la cual permite la oxidación de los compuestos nitrogenados presentes, culminando con la producción de NO_3 . Por otra parte la denitrificación es el proceso inverso, es decir, la reducción de las formas nitrogenadas en un medio en el cual la concentración de oxígeno disuelto es tan baja, que permite la formación de compuestos tan reducidos como el NH_4 e incluso el N_2 como a continuación se describe:



Y



1 y 2 corresponden a la nitrificación, 3 y 4 a la denitrificación según Andreoli et al, (1979).

Las variaciones del oxígeno disuelto (O_2) dentro y fuera de las instalaciones de la CESPE, no se pueden atribuir a algún patrón temporal de comportamiento, pues a lo largo del estudio, su concentración no se mantuvo estable (*Tablas I-viii*). Su comportamiento está dado por la naturaleza de la carga orgánica presente en el agua residual, la cual actúa como sustrato fermentable que permite la presencia de organismos capaces de desdoblar los mismos compuestos orgánicos dentro de los estanques receptores (Clifford *et al*, 1992). Lo anterior nos sugiere que el comportamiento del O_2 dentro de la planta, cuya concentración promedio fue de 1.55 mg-at/lt, (Delgadillo-Villanueva, 1992, comunicación personal), está supeditado completamente por la carga orgánica que recibe diariamente, que según Segovia-

Zavala y Galindo-Bect (1984) oscila alrededor de 350 mg/lt de DBO, generando una gran demanda de O_2 .

También es notable el incremento de O_2 en las muestras de la SC, ya que para todas las muestras tomadas sobre la EC la concentración fue de 0.0 mg-at/lt mientras que para la SC oscilaron de 0.58 a 1.86 mg-at/lt. Esto se ocasiona por el proceso de oxigenación mecánica al que se somete el agua dentro de sus mismas instalaciones, y por la existencia de una calda de agua a presión que se origina en el ducto de desecho del agua residual de la planta. A este respecto Rummel (1989) encontró que las caídas de agua son un mecanismo importante en la oxigenación de aguas residuales.

En la ST, las concentraciones de O_2 variaron de 0.0 a 1.87 mg-at/lt principalmente por: a) la presencia de agua residual sin tratamiento alguno proveniente de la zona industrial aledaña al arroyo, b) pequeñas caldas de agua residual en el arroyo originadas por la topografía irregular del lugar y c) por la influencia de la marea en el sitio de la colecta de muestras, ocasionándose una mezcla de aguas; y como se puede observar en la *Tabla IX* del apéndice, la concentración del O_2 del agua de mar en ese punto era más elevada (1.97 mg-at/lt).

Por otra parte, las variables fisicoquímicas (temperatura, pH y Eh) en las descargas influenciaron directamente la especiación química de los nutrientes. El valor promedio del pH dentro de la planta de tratamiento fue de 7.57, favoreciendo la presencia de estos nutrientes; pues se ha determinado que la nitrificación ocurre entre un pH de 5 y 8.5 y la denitrificación entre un pH de 4 y 9.5 (Delwiche and Bryan, 1976; Stankewich and Gyger, 1978). También se ha determinado que el NH_4 a un pH de 7.5 se mantiene estable y que el P a niveles cercanos del punto de neutralidad de pH (7.0) se le encuentra formando fosfatos (Winkler, 1986).

La temperatura en general varió de los 21 a los 28 °C permitiendo el establecimiento de bacterias nitrificantes y denitrificantes, para las cuales su rango óptimo esta entre los 20 y 40 °C (Christensen and Harremoes, 1977). Por otra parte se comprobado que por encima de los 14 °C el volumen de oxígeno en las aguas residuales decrece rápidamente (Argaman and Miller, 1979).

El Eh tuvo un valor promedio dentro de las instalaciones de 106.5, y esta es una variable cuyo valor positivo nos sugiere la presencia de un medio oxidante donde las

reacciones se están llevando al cabo espontáneamente (Snoeyink and Jenkins, 1990), lo cual nos sugiere que se estaría produciendo una nitrificación en las aguas residuales, sobre todo en la ST donde el valor promedio fue de 189.11.

Por lo que respecta a los nutrientes, las variaciones diurnas de NO_3 y NO_2 , muestran claramente mayores concentraciones en la SC y la ST respectivamente y las menores para ambos nutrientes sobre la EC, relacionándose directamente con la concentración del O_2 , ya que donde se tenían las concentraciones más altas y oscilaciones más pronunciadas del O_2 , ocurrieron también los máximos de NO_3 y NO_2 , es decir, la nitrificación se hizo notoria. A este respecto se ha confirmado que la nitrificación y la denitrificación se presenta cuando las concentraciones de oxígeno se mantienen poco estables, en el límite de 1.4 mg-at/lit de O_2 , lo cual ocasiona que las bacterias nitrificantes ó denitrificantes puedan establecerse, suscitándose la denitrificación aún y cuando el medio pudiera considerarse ligeramente óxico (Payne, 1973, Okuda *et al.*, 1974 y Chesterikoff *et al.*, 1992).

También se ha comprobado que en las reacciones de la denitrificación se obtiene nitrógeno libre como producto final, y como producto intermedio de gran importancia el NO_2 , así mismo a una mayor concentración de ácidos grasos en el agua residual se incrementa la concentración de N inorgánico (DSENY, 1976; Wedi 1992).

Los procesos antes mencionados ocurren por que en el medio existe la necesidad de continuar con la degradación de la materia orgánica en el agua residual, y nos muestra que las variaciones diurnas en la concentración de NO_3 y NO_2 están dadas por la carga orgánica de las aguas residuales, las cuales influyen en el comportamiento del oxígeno, pues en periodos del día se pueden dar fenómenos de consumo o generación de NO_3 y como consecuencia variaciones en la concentración de NO_2 , ya que los registros del oxígeno están al límite (1.4 mg-at/lit) de lo que se considera la fase óxica para algunos autores.

En relación al NH_4 , esta fue la forma predominante del nitrógeno, y su concentración fue mayor a la de NO_3 y NO_2 , llegando en ocasiones a ser por un orden de magnitud, y tal como se esperaba, estas concentraciones fueron mayores sobre el afluente de la planta; donde las concentraciones del O_2 fueron de 0.0 mg-at/lit propiciando la degradación anaerobia de la materia orgánica, generándose la

denitrificación y con esta la presencia de las formas reducidas del nitrógeno (Neu, 1992). Por este motivo, a la ST se registraron las menores concentraciones de NH_4 , ya que la concentración del O_2 siempre fue relativamente más alta.

De acuerdo a Richards (1965), en medios tendientes a ser anóxicos la materia orgánica degradada genera NH_3 , que bajo las condiciones de pH (7.57) que se encontraban el agua residual dentro de la planta, este NH_3 prevalece en forma de NH_4 . Lo anterior apoya el planteamiento antes mencionado, que mientras exista oxígeno en el medio para degradar la materia orgánica, las formas oxidadas del nitrógeno incrementan sus concentraciones sobre las formas reducidas y viceversa, aunque este incremento no significa que las formas oxidadas predominan sobre las reducidas para este estudio.

Para el PO_4 , los valores más altos se presentaron en la ST y SC, mientras los menores a la EC, lo cual pudo estar afectado por la poca disponibilidad de O_2 en el medio, pues se ha visto que en un sistema donde el intercambio de oxígeno con aguas saturadas de material orgánico es poco o nulo, la concentración de ortofosfatos se mantiene en su especie química, no sufriendo degradación alguna; ya que los ortofosfatos no forman complejos de manera tan efectiva como los fosfatos condensados (Snoeyink and Jenkins, 1990).

Además, es importante considerar que los detergentes son ricos en PO_4 y que diariamente son enviados considerables volúmenes de detergentes a la planta debido a las actividades de la ciudad, pudiendo existir depositación de estos en los estanques y al paso del tiempo sea liberado PO_4 (Wable and Randall, 1992), sin contar con los fosfatos producidos por la degradación de la materia orgánica dentro de la planta. Además a la ST también llegan aguas provenientes de la zona industrial que contienen considerables concentraciones de fosfatos (Delgadillo-Villanueva, 1992, comunicación personal).

En general se podría considerar que las fuentes más importantes de ortofosfatos fueron : a) los fosfatos presentes en el agua residual que al llegar a la planta no son retenidos por esta, debido a que el tratamiento al que se somete el agua residual permite el libre paso de los ortofosfatos, b) los fosfatos producidos por la degradación del material orgánico y c) los fosfatos liberados por parte de los detergentes

acumulados dentro de la planta. Lo anterior nos muestra que la planta actúa como un sistema mineralizador. Por su parte en la ST las concentraciones de fosfatos fueron las más altas de este estudio debido a las descargas de la planta más el aporte proveniente de la zona industrial.

En relación al comportamiento diurno en la concentración del PO_4 y NO_2 sobre la ST, este pudo estar dado por un aporte debido a las descargas de agua residual de las industrias aledañas al arroyo. Y que además un incremento en las concentraciones de cualquier nutriente en la EC repercute directamente con las concentración del mismo en los otros dos sitios de muestreo; lo cual viene a alterar el periodo del día en el cual existe un incremento en la concentración de nutrientes, que generalmente ocurrió entre las 11 y las 17 hrs (Figuras 3, 4, 5 y 6).

El análisis espectral nos indica la existencia de un pico representativo a los 7 días y otro para los NO_3 y NO_2 a los 15 días aproximadamente, mostrando un comportamiento periódico en la concentración de estos nutrientes. Este comportamiento pudo estar influenciado por el uso del agua de la población en sus diversas actividades ya que a esta planta son canalizadas principalmente las aguas domésticas así como las de servicio turístico y comercial (Ortega-Pérez, 1992, comunicación personal). Estas actividades se ven favorecidas semanalmente con el incremento en la afluencia turística y por que la población residente que generalmente realiza sus actividades que repercuten en un mayor gasto de agua hacia los fines de semana (Secretaría de Turismo, 1992, Gonzales-Ybarra, 1992, comunicación personal).

El comportamiento estacional de los nutrientes sobre el arroyo se aprecia claramente en las figuras de promedio semanal (10 A, B, C y D), donde los NO_3 y NO_2 muestran valores máximos en los meses de mayo a julio (0.747 y 0.513 mg-at/lit respectivamente) cuando la actividad turística está en su apogeo y las descargas de la actividad industrial no se presentan en este arroyo (Figura 18), lo cual repercute en que el O_2 presente también sus máximos en la ST (2.15 mg/lit), decreciendo conjuntamente hacia diciembre. En este caso la presencia del O_2 favorece la nitrificación, provocando el desfase del NH_4 .

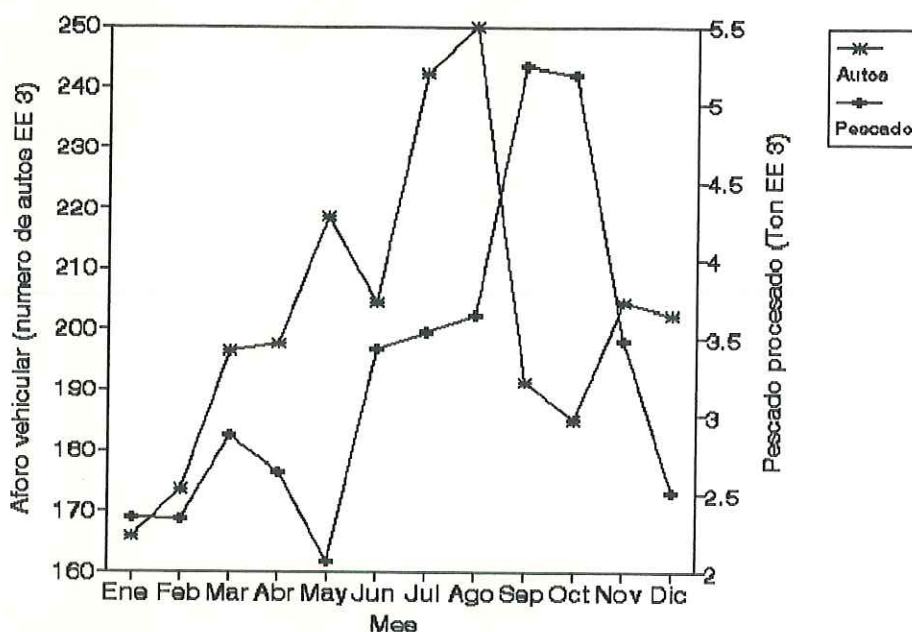


Figura 18. Toneladas de pescado procesado por la industria adyacente al Arroyo El Gallo y aforo vehicular a la ciudad de Ensenada por la carretera escénica durante 1991. (Secretaría de Pesca, 1994; Caminos y Puentes Federales de Ingreso, 1994).

El NH_4 , alcanza sus máximos (2.2 mg-at/lt) en agosto y septiembre, cuando los NH_3 y NO_2 decrecen junto con el oxígeno. Esto ocurrió cuando la actividad en la industrial fue máxima (Figura 18), y cuyas descargas contienen una alta carga orgánica que genera el decremento de la concentración del O_2 , pues estas industrias pesqueras desechan básicamente material proteico, que al oxidarse en condiciones casi anaerobias genera productos reducidos del nitrógeno (como el NH_4) y se consume casi en su totalidad el oxígeno presente.

Por otra parte el fosfato, muestra sus máximos durante mayo y diciembre (5.84 y 6.13 mg-at/lt P- PO_4) respectivamente, cuando la presencia de las descargas de la industria son nulas. Para el resto del estudio cuando la presencia de las descargas industriales están en su máximo, sus concentraciones se mantienen oscilando entre los 4.15 y 5.5 mg-at/lt P- PO_4 . Este comportamiento pudo estar dado por la presencia de grasas generadas por la industria pesquera, las cuales se acumulaban a las orillas del arroyo generando un medio casi anóxico. Estas grasas permiten que el fósforo

presente sea transformado a fósforo particulado y que se deposite en el sedimento (Tesuka, 1986); lo cual pudo influir en no poder detectar la concentración real presente a la ST, por lo que al disminuir la presencia de estas grasas se libera el fosfato registrándose las máximas concentraciones en los meses de mayo y diciembre.

Es necesario señalar que el comportamiento temporal de estos nutrientes dependerá también de factores como la calidad y cantidad de material orgánico presente en el agua residual y del comportamiento del O_2 , los cuales generan variaciones en los procesos químicos que determinan en última instancia los niveles de concentración de los nutrientes.

En la variación de los aportes de nutrientes, es notorio que aunque existe un decremento en el flujo de la planta durante el verano (Figura 13) debido a que la CESPE racionó el reparto de agua potable en la ciudad para poder atender las demandas de agua del sector turismo, existen mayores descargas de NO_3 , NO_2 y NH_4 en el verano decreciendo para el invierno, lo cual pudo estar dado por que en estos meses la ciudad incrementó su población debido a la afluencia de turistas a la misma (Secretaría de Turismo, 1992) y por las descargas de las industrias pesqueras aledañas. Por su parte el PO_4 presentó algunos aportes altos en verano cuando aún no se tenía gran influencia de las grasas generadas por la industria de la zona, y en diciembre al disminuir estas descargas se registraron los máximos valores en los aportes; esto se puede comprobar con los aportes diarios promedio para cada mes (Figura 12).

Dado que no existen trabajos específicos sobre el tema en la zona de estudio, éstos se compararon con los datos obtenidos de otras plantas con el mismo tipo de tratamiento para aguas residuales en el estado de California U.S.A. Es notorio que los volúmenes descargados por la planta de la CESPE son relativamente mínimos si los comparamos con la planta Hyperion de Los Ángeles CA. (Tabla VI) la cual descarga 59.4 veces más NO_3 , 538.1 veces más NH_4 y 23.3 veces más PO_4 por año, esta diferencia se basa en los flujos promedio de cada planta (286.28 lt/seg. y 8235.87 lt/seg. respectivamente).

Tabla VI. Aportes de nutrientes en distintos puntos de la costa de California. Fuente: SCCWRP (1990).

PLANTA	FLUJO PROMEDIO	TIPO DE TRATAMIENTO	N-NO ₃	N-NO ₂	N-NH ₄	P-PO ₄
	l/s		ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
CESPE	286.28	PRIMARIO	2.36	1.29	9.17	45.37
HYPERION*	8235.87	PRIMARIO AVANZADO	140.25	-----	4934.80	1057.08
P.CONVERGENTE**	7620.56	PRIMARIO AVANZADO	28.84	36.05	9182.70	1764.42
CONDADO DE ORANGE***	5344.56	PRIMARIO AVANZADO	-----	-----	4045.10	-----
POINT LOMA****	8367.3	PRIMARIO AVANZADO	-----	-----	6702.30	102.71

* : Hyperion Waste Water Treatment Plant (Los Angeles, CA)

** : Joint Water Pollution Control Plant (Los Angeles, CA)

*** : County Sanitation Districts of Orange County (Newport Beach, CA)

**** : Point Loma (San Diego, CA)

CESPE: Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada

En lo que a eficiencia de remoción se refiere, esta planta no la presentó para el NO₃, NO₂ y PO₄ (Tabla IV), por el contrario, los valores negativos indican que la planta aportó nutrientes, llegando en ocasiones a salir el doble de lo que entraba como es el caso del NO₂; con esto se puede decir que la planta actúa como un cuerpo mineralizador de estos tres nutrientes hacia la Bahía al cumplir con su función de degradar el material orgánico, y que en el caso del NO₃ y NO₂ este comportamiento está influenciado por la nitrificación.

Sin embargo, para el NH₄, si existió eficiencia, siendo en octubre de 21.95%, en noviembre de 25.98 y en diciembre de 12.42%. Pero si se compara el porcentaje de eficiencia con los aportes de NH₄ tenemos un comportamiento inverso, es decir, en diciembre hubo menor eficiencia pero menor fue el aporte de NH₄ a la Bahía y en octubre, cuando la eficiencia fue mayor los aportes fueron más cuantiosos (Figura 19).

Segovia-Zavala y Galindo-Bect (1984), evaluaron la eficiencia de esta planta en cuanto a la eliminación de material orgánico encontrando que era de tan solo 26.8 %, cuando en sus instalaciones tenían en servicio dos tanques de sedimentación tipo Imhoff. Esta eficiencia reportada es similar a la del NH₄ para este estudio, pero en la realización del presente trabajo, solo uno de estos tanques se encontraba en funcionamiento. Y el no contar con las instalaciones operando al 100% dentro de la planta pudo ser también uno de los principales factores que afectan a la eficiencia de esta planta.

Por lo que respecta a la determinación de la zona de influencia, la red de muestreo permitió conocer la dispersión y la concentración de dichos nutrientes sobre la Bahía. De esta manera, al comparar las menores concentraciones de este estudio, que fueron en la estación 5E a 3 kilómetros de la costa (0.32 para NO_3 ; 0.22 para NO_2 ; 0.001 para NH_4 y 1.27 para PO_4 $\mu\text{gr-at/lt}$), con las que otros autores han reportado dentro de la Bahía (a continuación descritas) y con las consideradas como normales en la zona costera de otras regiones, se observó que estas concentraciones están dentro de estos rangos y por debajo de las consideradas como contaminadas en otros trabajos; lo cual sugiere que la zona de influencia de ese arroyo llega hasta los 3 kilómetros (Figuras 14, 15, 17 y 17).

También es evidente que en las estaciones situadas sobre la zona de rompiente las concentraciones van disminuyendo conforme nos alejamos del Arroyo El Gallo, y nos acercamos al Estero de Punta Banda. Perpendicularmente a la costa también se aprecia una dilución de los nutrientes como la antes mencionada, esto se corrobora con la disminución en el factor de enriquecimiento (Tabla V).

En este sentido Alvarez-Sánchez (1971), y Hernández-Walls (1986) reportan un patrón predominante de corrientes superficiales hacia el interior de la Bahía con dirección S-E así como una componente paralela a la costa con dirección al sur, desde el Arroyo El Gallo hasta la boca del Estero de Punta Banda. Por su parte Pérez-Higuera y Chee-Barragan (1984) así como Delgadillo-Hinojosa (1985) evidencia un transporte de sedimentos y de bacterias en sedimentos superficiales respectivamente, desde la descarga de el Arroyo El Gallo hacia el centro y sur de la Bahía, mientras que Sañudo-Wilhelmy *et al* (1984) reportaron un transporte superficial de bacterias hacia la zona centro de la Bahía causado por las corrientes superficiales.

Ahora bien, los intervalos en la concentración de nutrientes (en $\mu\text{gr-at/lt}$) encontrado para la Bahía durante el periodo de invierno es de 0.312 - 12.1 para NO_3 , 0.036 - 0.92 para NO_2 , y de 0.0 - >5 para PO_4 ..(Del Valle-Villorín, 1985; Martínez-García 1988; y Segovia-Zavala *et al*, 1988). Mientras, el intervalo en concentración de nutrientes ($\mu\text{gr-at/lt}$) reportado para zonas costeras en donde es de <0.01 - 15 para NO_3 , de 0.0 - 5 para NO_2 , de 0.0 - 25 para NH_4 , y para PO_4 de 1.0 - 10.0 (Sharp, 1983; y Sagi, 1987). Además Ketchum (1969) determinó que estados en los cuales la

concentración de fosfatos sea encontrada por debajo de $2.8 \mu\text{gr-at/lit}$ son considerados como no alterados por actividades antropogénicas. Esta serie de trabajos corroboran el comportamiento de distribución de nutrientes en la Bahía y dan pauta para el establecimiento de la posible zona de impacto de las descargas de este arroyo.

En la Bahía se pueden apreciar dos tipos de fuentes de nutrientes (Figuras 14-17). El primer tipo es antropogénico, siendo la principal el Arroyo El Gallo seguido del cárcamo de la Pesquera Peninsular, que el 22 de noviembre de ese año no se encontraba descargando en toda su capacidad (Campos de la Garza, 1993. comunicación personal); y el segundo tipo, es una fuente natural de NH_4 y NO_3 , que la constituye el Estero de Punta Banda (Tabla V).

Estudios referentes al Estero de Punta Banda (Alvarez-Borrego *et al.*, 1977; Zertuche-González y Alvarez-Borrego, 1978; Millan-Núñez *et al.*, 1981 y Green *et al.*, 1984) lo señalan como una zona rica en nutrientes y se le ha adjudicado un flujo considerable de estos mismos por la remineralización existente en él ya que son exportados a la zona costera a través de corrientes de marea.

En lo que se refiere al posible fenómeno de eutroficación que las descargas del Arroyo El Gallo puedan causar sobre la Bahía; Weiss (1970) señala que cuando los elementos considerados como nutrientes están presentes en cantidades mayores a las normales dentro del medio ambiente, una acelerada multiplicación celular ocurre y se dan condiciones indeseables en la calidad del agua. Es entonces cuando el agua está pasando a un estado de eutroficación como una consecuencia a los altos niveles de nutrientes que está alcanzando. En relación a esta definición, el factor de enriquecimiento también nos muestra la existencia de una zona eutrófica formada por las descargas de este arroyo la cual se va desvaneciendo conforme avanza la pluma de nutrientes.

Segovia-Zavala *et al.*, (1988) mencionó que es evidente que la Bahía presenta el fenómeno de la eutroficación inducida por contaminación orgánica de origen industrial y urbano en las zonas adyacentes a las descargas orgánicas; y en este trabajo observamos que este fenómeno continua, pues los elevados aportes de nutrientes que este arroyo arroja diariamente así lo confirman. Lo anterior se corrobora en los altos

factores de enriquecimiento que son de consideración, aún si se comparan con los observados en la fuente natural como es el Estero de Puntas Banda.

Por último, para establecer el grado de impacto potencial que puede ocasionar el aporte de estos nutrientes a la Bahía de Todos Santos, en relación a la producción orgánica primaria (POP), se realizó el siguiente cálculo asumiendo que todo el N y P de las descargas se mezcla en la columna de agua y que a su vez se asimila completamente por el fitoplancton para ser convertido en biomasa: tomando en cuenta que la cantidad de nutrientes a la Bahía fue de 12.87 Ton./año de N, 45.37 Ton./año de P, que el volumen de la zona eufótica de la Bahía es de $1.26 \times 10^9 \text{ m}^3$ y considerando la relación de Redfield (C:N:P) 116:16:1; la productividad potencial calculada para estos aportes sería de $0.004 \text{ gC/m}^3/\text{día}$.

Gaxiola y Alvarez (1984) han reportado un valor promedio de productividad en la Bahía de Todos Santos de $1.0 \text{ gC/m}^3/\text{día}$, por lo que el valor de productividad calculado en este trabajo equivaldría al 0.4% de la (POP) en la Bahía. Lo anterior no deja de ser una mera subestimación, ya que diariamente entra a la Bahía gran cantidad de material orgánico que al degradarse produce nutrientes y estos a su vez incrementan la POP, no deja de ser trascendente el significado de todos estos aportes para la Bahía.

8. Conclusiones:

La planta de tratamiento del tipo primario ubicada en las orillas del Arroyo El Gallo, presenta un comportamiento diario tendiente a alcanzar las máximas concentraciones de NO_3 , NO_2 , NH_4 y PO_4 entre las 11 y las 17 hrs; esta conducta esta influenciada por la carga orgánica que contiene en sus aguas residuales, producto de las actividades de la población.

En la entrada de la planta se registraron las mayores concentraciones de NH_4 (2.2 mg-at/lt). En la salida de la planta fueron mayores las concentraciones de NO_3 (1.13 mg-at/lt), mientras que en la desembocadura del Arroyo El Gallo el NO_2 y PO_4 alcanzaron sus máximas concentraciones (0.93 y 7.2 mg-at/lt respectivamente).

Los NO_3 , NO_2 , NH_4 y PO_4 presentes en las descargas de agua residual del Arroyo El Gallo mostraron una variación semanal en su concentración, lo cual reflejó un comportamiento en el uso del agua por parte de las actividades turísticas, de servicios e industriales.

En las descargas del Arroyo el Gallo las concentraciones de NO_3 , NO_2 mostraron un comportamiento estacional, con las mayores concentraciones al inicio del verano y las menores en el invierno, cuando la actividad turística e industrial no estaba en su máximo causando la disminución del O_2 e interrumpiendo la nitrificación. a la Bahía.

La concentración del NH_4 también mostró un comportamiento estacional con los mayores valores en verano y los menores en el invierno aunque marcadamente desfasado con el NO_3 y NO_2 , debido a que el contenido de material orgánico proveniente de la zona industrial y la ciudad afectó directamente a la disponibilidad del O_2 .

La concentración del PO_4 presentó una variación inversa, durante el verano los valores fueron bajos aumentando hacia el invierno; comportamiento influenciado por los meses de máxima producción pesquera de la industria aledaña (agosto-noviembre).

La variabilidad en los aportes estuvo en función de la concentración, por lo que se presentaron las mismas variaciones estacionales en los aportes de NO_3 , NO_2 , NH_4 y PO_4 .

Los aportes de la planta de tratamiento ubicada en el Arroyo el Gallo durante 1991 resultaron de: N-NO₃ 2.36 Ton., N-NO₂ 1.29 Ton., N-NH₄ 9.17 Ton., y para el P-PO₄ 45.37 Ton.

La eficiencia en la planta de tratamiento durante los meses de octubre, noviembre y diciembre varió de 21.95% a 12.42% en el caso del NH₄ el cual resultó ser el único nutriente removido. Para el NO₃, NO₂, y PO₄ la planta actuó como un cuerpo mineralizador produciendo en promedio 116% más NO₃, 100% más de NO₂ y 12.8% más de PO₄ debido a la degradación de la materia orgánica y al proceso de nitrificación.

En la zona de influencia de las descargas del arroyo es evidente la existencia de un transporte de nutrientes paralelo a la costa con dirección al sur de la Bahía hacia la boca del Estero de Punta Banda. La pluma de nutrientes se desvanece aproximadamente a tres kilómetros de la costa, donde las concentraciones de las variables medidas son semejantes a las del mar abierto.

Es evidente la existencia de una zona de eutroficación cercana a la descarga del Arroyo El Gallo, el cual resultó ser el principal emisor antropogénico de nutrientes a la Bahía seguido del cárcamo de la Pesquera Peninsular.

Se detectó un aporte natural de NO₃ y NH₄ a la Bahía por parte del Estero de Punta Banda.

9. Literatura citada:

- Andreoli A., N. Bartilucci, R. Forgione , and R. Reynolds. 1979. Nitrogen removal in a subsurface disposal system. *Journal WPCF*, 51(4):841-854 pp.
- Alvarez-Sánchez L.G., 1971., Medición de corrientes superficiales en la Bahía de Todos Santos. Baja California. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Tesis de Licenciatura. 54 pp.
- Alvarez-Borrego S., J.R. Lara-Lara, y M.J. Acosta Ruiz. 1977. Parámetros relacionados con la productividad orgánica primaria en dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas* 4(1):12-22 pp.
- APHA-AWWA-WPCF. 1980. Standard methods for the examination of water and wastewater. 15 TH edition. Washington, USA. 1134 pp.
- Argaman Y., and E. Miller, 1979. Modeling recycled systems for biological nitrification and denitrification. *Journal WPCF*. 51(4):749-758 pp.
- Caminos y Puentes Federales de Ingreso,. 1994. Comandancia Regional de Ensenada, Departamento de Estadística e Informática. 23 pp.
- Chesterikoff A., B. Garban., G. Billen, and M. Poulin. 1992. Inorganic nitrogen dynamics in the river Seine downstream from Paris (France). *Biochemistry*. 17:147-164 pp.
- Clifford W.R., K.P. Brannan, S.A. Mc Clintock, and V.M Pattarkine, 1992. The case for anaerobic reduction of oxygen requirements in biological phosphorus removal systems. *Water Environmental Research*. 64(6):824-833 pp.
- Christensen M.H., and P. Harremoës. 1977. Biological denitrification of sewage: a literature review. *Prog. Water Technology*. 8(4/5):451-555 pp.
- Delgadillo Hinojosa F. 1985. Contaminación fecal en sedimentos superficiales de la zona litoral de la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis de Licenciatura, 40pp.
- Delgadillo-Hinojosa F. y M.V. Orozco-Borbon. 1987. Bacterias patógenas en sedimentos de la Bahía de Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas*, 13 (3):31-38.

- Del Valle-Villorín F.J., 1985. Efectos de la contaminación orgánica en la concentración de nutrientes en la zona costera de la Bahía de Todos Santos, B.C. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Tesis Licenciatura. 56 pp.
- Delwiche C.C. and B.A. Bryan. 1976. Denitrification. *Ann. Rev. Microbiol.* 30(1):241-262 PP.
- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (DSENY)., 1976. Manual de tratamiento de aguas negras, Quinta edición LIMUSA, México, 303 pp.
- Donath-Hernández F.E. y D.H. Loya-Salinas. 1989. Contribución al estudio de la contaminación orgánica marina de la Bahía de Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas.* 15(1):73-88.
- Durazo Arvizu R. 1983. Circulación superficial y cinemática de la región sur de la Bahía de Todos Santos. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Tesis Licenciatura. 68 pp.
- Encalada-Fleites R.R. y E. Millan-Nuñez. 1990. Impacto de las aguas residuales industriales y domésticas sobre las comunidades bentónicas de la Bahía de Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas,* 16(4):121-139.
- Faganelli I. J., 1982. Nutrient dynamics in seawater column in the vicinity of piran submarine outfall sewage. (North Adriatic). *Marine Pollution Bulletin,* 13(2):61-66.
- Galindo-Bect M.S., J.A. Segovia-Zavala y I. Rivera Duarte. 1984. Contenido de materia orgánica en sedimentos superficiales de la Bahía de Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas,* 10(3): 93-102 .
- Gaxiola G.C. y S.A. Alvarez. 1984. Relación fotosíntesis-Irradiancia de aguas costeras del noroeste de Baja California, *Ciencias Marinas,* 10(3):53-63.
- Green-Ruíz M.J., S. Caschetto, y S. Alvarez-Borrego. 1984. Silice disuelto en la columna de agua y en las aguas intersticiales de una laguna costera. *Ciencias Marinas* 9(2):51-74 pp.
- Hernandez-Walls R., 1986. Circulación inducida por el viento en la zona costera. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Tesis Licenciatura. 69 pp.

- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), 1989. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Centro de información y actualización de conocimiento. Cuernavaca, México. 76 pp.
- Ketchum B.H., 1969. Eutrophication of estuaries. In: Eutrophication; Causes, Consequences, Correctives. National Academic Sciences, Washington U.S.A. 197-209 pp.
- Ketchum B.H., 1977. Man's impact on the costal enviroment: Nutrients in the marine enviroment. Woods Hole Oceanographic Institute. Massachusetts U.S.A. 68-85 pp.
- Ketchum B.H., 1982. Nutrients in the marine enviroment. in: Impact of man on the costal enviroment. Thomas W. Duke (Tech. ed.) Enviromental Protection Agency. Washington D.C. Epa-600/8-82-021.
- Koroleff F. y K. Grasshoff. 1983. Determination of nutrients, Grasshoff K., Ehrhardt M.; Kremling K. second edition. 125-188 pp.
- Martínez García G.M., 1988. Aspectos hidrológicos para el diseño de un emisor submarino en la Bahía de Todos Santos, B.C. Facultad de Ciencias Marinas. Tesis Licenciatura. 102 pp.
- Millán-Núñez E., F.J. Ortiz-Cortez y S. Alvarez-Borrego. 1981. Variabilidad temporal y espacial de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera, a finales de verano. Ciencias Marinas 7(1):103-128 pp.
- Neu K.E., 1992., Achievement of biological nutrient removal in full-scale rotating biological contactor wastewater treatment plant. Wat. Sci. Tech. 26(5-6):1115-1124 pp.
- Orozco-Borbon V. y E.A. Gutierrez-Galindo., 1983. Contaminación fecal en la zona del puerto de Ensenada, Baja California, Ciencias Marinas, 9(1):27-34.
- Okuda I.S., B. Ruíz. y J. García . 1974. Algunas características en el agua de la fosa de Cariaco. Bol. Inst. Oceanogr. Universidad de Oriente, Venezuela. 13(1-3):163-174 pp.
- Payne W.J., 1973. Reduction of nitrogenous oxides by microorganims . Bacteriol. Rev. 37:409-452 pp.

- Pérez-Higuera R. y A. Chee-Barragan. 1984. Transporte de sedimentos en la Bahía de Todos Santos, B.C. 10(3):31-52 pp.
- Plan Municipal de Desarrollo de Ensenada, 1990-1992. Comité de Planeación para el Desarrollo de Municipio de Ensenada. XIII Ayuntamiento de Ensenada. 99pp.
- Richards F.G. 1965. Anoxis basins and fjords. En: Riley J.P., G. Skirrow eds. Chemical oceanography Vol. 1, Academic Press. London England. 611-645 pp.
- Rivera-duarte I. 1982. Comportamiento de los contaminantes derivados de la industria pesquera en la región del Sauzal, Bahía de Todos Santos, Baja California., Facultad de Ciencias Marinas. Tesis Licenciatura, 86 pp.
- Rummel W., 1989. Contribution to the oxygen input in a treated sewage channel by falls. Acta hydrochim. hydrobiol. 17(4):437-451 pp.
- Sagi T., 1987. Distribution of nitrogen and phosphorus in the Pacific. J. Earth Sci. 35(2):289-304 pp.
- Sañudo Wilhelmy S.A., A. Morales Yáñez. y J. Vargas Flores. 1984. Contaminación fecal en la Bahía de Ensenada, Baja California, México. Ciencias Marinas 10(1):7-17 pp.
- Secretaría de Marina., 1984. Estudio geográfico de la región de Ensenada Baja California. México. 463 pp.
- Secretaría de Pesca., 1994. Dirección General de Informática y Registros Pesqueros, Delegación Ensenada. 12 pp.
- Secretaría de Turismo., 1992. Volelín Informativo para la región de Ensenada Baja California. México 32 pp.
- Segovia-Zavala J.A. y M.S. Galindo-Bect., 1984. Fuentes de contaminación por materia orgánica en la Bahía de Todos Santos, Baja California, Ciencias Marinas, 10(1): 19-32.
- Segovia-Zavala J.A., I. Rivera-Duarte y F.J. Del Valle Villorín., 1988. Efectos de desechos orgánicos en las zonas adyacentes a los efluentes de la Bahía de Todos Santos, Baja California: Nutrientes, Ciencias Marinas, 14(1): 81-94.
- Snoeyink V. L., D. Jenkins., 1990. Química del agua. Ed. LIMUSA. México D.F.-508 pp

- Soudan M., 1975. Biological effects of industrial and domestic waste discharge in costal waters. *Progress in water tecnology*, Pergamon Press, 7(5 y 6):905-909.
- Southern California Costal Water Research Proje., 1990. Annual report 1989-90. California. U.S.A. 102 pp.
- Stankewich M.J. and R.F. Gyger. 1978. Nitrification in oxygen-ativated sludge systems. Cap. 5, in: *The use of high-purity oxygen in the activate sludge process*. CRC Press USA. 139-172 pp.
- Strickland J.D.H. y T.R. Parson. 1972. *A practical hand-book of sea water analysis*, Fisheries Research Board of Canada. 167 pp.
- Tezuka Y., 1986. Does the seston of Lake Biwa release disolved inorganic nitrogen and phosphorus during aerobic decomposition?: It's implications for eutrophication. *Ecol. Res.* 1:293-302 pp.
- Wable M.W. and C.W. Randall. 1992. Investigation of reduction in oxygen requirements of biological phosphorus removal systems. *Wat. Sci. Tech.* 26 (9-11):2221-2223 pp.
- Walker J.D., 1976. *Industrial Wastewater Treatment Equipment*, Chapter 4. In *Industrial Wastewater Management Handbook*. Hardam S. Azad editor in chief. McGraw-Hill Book Co., N.Y., U.S.A.
- Wedi D., 1992. Effects of an activated primary settling tank on a biological phosphorus removal. *Wat, Sci. Tech.* 26 (9-11):2199-2202 pp.
- Weiss M.C., 1970. *The relative significance of phosphorus and nitrogen*. Department of Enviromental Sciences and Engineering School of Public Healt. Water Resources Research Institute of University of North Carolina, U.S.A. 27 pp.
- Winkler M.A. 1986. *Biological treatment of waste-water*. Winkler & Ellis Horwood Ltd, Publishers. Cap. 7.
- Zertuche-González J.A. y S. Alvarez-Borrogo. 1978. Series de tiempo de las variables fisico-químicas en las bocas de dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas.* 5(1):91-103 pp.

10. APENDICE

Tabla i: Concentraciones de los diferentes parametros durante el mes de mayo.

DIA	HORA	SITIO	N-NH ₄ mg-at/lit	N-NO ₃ mg-at/lit	N-NO ₂ mg-at/lit	P-PO ₄ mg-at/lit	TEMP °C	O ₂ mg at/lit	pH	Eh mV
16	11.3	S.T	0.870009	0.8286335	0.5927511	6.6268541	---	---	---	---
18	11.15	S.T	0.0907524	1.3189972	1.1651956	5.5313621	---	---	---	---
20	12.3	S.T	0.0309864	1.1643921	0.76364	8.7305865	---	---	---	---
22	10.45	S.T	0.0401811	0.0477995	0.0025289	5.0660204	---	---	---	---
24	12.4	S.T	0.6936993	0.1180746	0.0051956	3.0689287	---	---	---	---
26	14.45	S.T	1.0111487	0.0821562	0.0025289	6.7334949	---	---	---	---
28	15.3	S.T	1.0486173	1.3830256	1.0034178	5.6476975	23.9	0	7.698	---
30	11	S.T	0.5560076	0.1165129	0.0051956	5.3859428	24.7	0	7.687	---

ST = Salida Total --- = Muestra no tomada

Tabla ii: Concentraciones de los diferentes parametros durante el mes de junio.

DIA	HORA	SITIO	N-NH ₄ mg-at/lit	N-NO ₃ mg-at/lit	N-NO ₂ mg-at/lit	P-PO ₄ mg-at/lit	TEMP °C	O ₂ mg at/lit	pH	Eh mV
1	---	---	0.280394	0.155555	0.010973	4.915754	25.1	0	7.645	---
3	13	S.T	0.004551	0.46946	0.016751	4.445565	25.5	0	7.603	---
5	11.45	S.T	0.243845	0.761482	0.426529	8.585167	25.1	0	7.729	297.8
7	13.2	S.T	1.13206	0.086841	0.003862	5.705865	25.2	0	7.739	395.4
9	12.2	S.T	1.678229	3.124285	1.431862	8.682113	25.6	0	7.665	493.1
11	14	S.T	0.378089	0.033745	0.002529	4.377702	25.4	0	7.62	356.2
13	11.45	S.T	0.948164	0.828633	0.566973	8.769365	25	1.013455	7.768416	375.6
15	11.45	S.T	1.006781	2.010816	1.54564	4.174115	26.1	2.654287	7.784528	411.6
17	13.4	S.T	1.209066	0.02906	0.00564	5.434416	26.8	0.554987	7.78	399
19	12.5	S.T	1.549272	0.05717	0.01764	7.460591	27	0	7.683674	397.5
21	12	S.T	1.216422	0.396051	0.37764	3.582744	25.8	0.392111	7.587748	392.6
23	13	S.T	1.093902	0.025936	0.050084	2.690839	26.3	0.211136	7.699984	390
25	13.35	S.T	0.81622	0.243008	0.257196	6.762579	26	0.754059	7.472855	377.3
27	13	S.T	1.029308	1.468917	1.422084	3.660301	26.1	0.663572	7.766688	396.3
29	---	---	1.007471	0.794	0.710084	2.884731	26	0	7.751209	406

ST = Salida Total --- = Muestra no tomada

Tabla iii: Concentraciones de los diferentes parametros durante el mes de julio.

DIA	HORA	SITIO	N-NH ₄ mg-at/lt	N-NO ₃ mg-at/lt	N-NO ₂ mg-at/lt	P-PO ₄ mg-at/lt	TEMP °C	O ₂ mg at/lt	pH	Eh mV
1	12	S.T	1.065628	0.153993	0.048307	2.787785	25.8	1.4	7.735729	415.8
3	11.45	S.T	1.297566	0.118075	0.310973	4.368008	26	1.15	7.430891	350.8
5	10.3	S.T	2.069926	0.121198	0.091862	4.843044	25.8	0	7.602166	357.4
7	12.2	S.T	3.11813	0.016566	0.026529	5.017547	25.7	1.45	7.773441	403.3
11	14.3	S.T	1.7465	0.773975	0.654529	3.922055	26.1	1	7.7572	379.4
13	11	S.T	1.624899	0.099335	0.118973	3.291905	26.5	0	7.74096	355.5
15	11.15	S.T	2.313588	0.16961	0.06164	2.65206	27	1.77	7.838066	367.8
17	14.15	S.T	1.756155	0.007196	0.004751	5.987009	25.5	1.25	7.822859	360.6
19	11.15	S.T	1.469968	0.036868	0.004751	3.854193	26.1	0	7.456279	345.3
21	12.45	S.T	3.030779	0.046238	0.030084	4.949685	26.3	1.45	7.591099	364.3
23	11.35	S.T	2.128773	0.008758	0.006084	6.229375	25.9	2.1	7.710258	373.8
25	13.5	S.T	1.977979	0.055608	0.003862	4.290451	25.7	1.3	7.599722	383.3
27	14.15	S.T	2.049238	0.000949	0.003862	5.347164	26.4	1.25	7.65523	382.2
29	13.3	S.T	2.125095	0.011881	0.004751	5.453805	27	1.25	7.6162	402.7
31	15.05	S.T	2.200952	0.025936	0.003418	5.696171	26.3	0	7.824125	423.2

Concentraciones de la serie de tiempo del 9 de julio

HORA	SITIO	N-NH ₄ mg-at/lt	N-NO ₃ mg-at/lt	N-NO ₂ mg-at/lt	P-PO ₄ mg-at/lt	TEMP °C	O ₂ mg at/lt	pH	Eh mV
7	E.C	1.941889	0.016566	0.002084	2.099467	25.5	0	7.5238	319.8
	S.T	1.767464	0.09465	0.010084	2.797479	26.1	1.367195	7.8306	483.8
9	E.C	1.982576	0.015005	0.003418	2.458168	26	0	7.75	339.1
	S.T	1.717307	0.074348	0.013196	2.535725	25.5	1.22328	7.69	319.5
11	E.C	2.796313	0.035306	0.002084	4.251672	26	0	7.75	307.2
	S.T	1.891778	0.05717	0.002529	3.912361	26.1	0.503703	7.73	314.7
12	E.C	2.559548	0.000949	0.109196	3.010761	26	0	7.68	262.4
	S.T	1.892007	0.36638	0.466973	3.359767	26.3	0.719576	7.74	349.5
13	E.C	2.566444	0.021251	0.001196	4.174115	26	0	7.79	---
	S.T	2.01108	0.040304	0.002529	4.348619	26.5	0.647619	7.6	---
15	E.C	2.101188	0.000949	0.002084	3.495492	26.5	0	7.4	---
	S.T	1.966485	0.114951	0.127862	3.573049	26	0	7.57	---
17	E.C	2.867572	0.000949	0.005196	2.865342	26	0	7.45	---
	S.T	2.1159	0.125883	0.092751	2.933204	26	0.431746	7.54	---
19	E.C	2.564145	0.000949	0.002084	2.632671	26	0	7.69	---
	S.T	2.015907	0.233638	0.010973	4.077169	26	0.719576	7.51	---
21	E.C	2.106705	0.01032	0.000751	4.852739	25	0	7.76	---
	S.T	1.916374	0.241446	0.012307	4.416481	25.6	0.8491	7.78	---

EC = Entrada CESPE ST = Salida Total --- = Muestra no tomada

Tabla iv: Concentraciones de los diferentes parametros durante el mes de agosto.

DIA	HORA	SITIO	N-NH ₄ mg-at/lt	N-NO ₃ mg-at/lt	N-NO ₂ mg-at/lt	P-PO ₄ mg-at/lt	TEMP °C	O ₂ mg at/lt	pH	Eh mV
2	12.3	S.T	1.725122	0.002511	0.007862	4.494038	26.3	0.888759	8.160065	396.5
4	13.4	S.T	2.980208	0.025936	0.006973	4.930296	28.1	0.924309	7.674807	424.1
6	11.5	S.T	2.003264	0.024375	0.006973	4.68793	26	0.319953	7.030513	293.3
8	---	---	1.884882	0.047019	0.004529	5.531362	26.5	0	7.38622	207.3
10	13.45	S.T	1.766499	0.069663	0.002084	6.374794	27	0	7.549431	121.3
12	12.05	S.T	1.440085	0.072786	0.004307	3.912361	27.5	0	7.76096	349.9
14	12	S.T	1.322851	0.088403	0.010529	4.649152	26.8	0.284403	7.802613	397.3
16	12	S.T	1.600993	0.149308	0.002084	3.980223	27	0.711007	7.726065	397.3
19	12.3	S.T	1.715928	0.05717	0.00564	6.937082	26.5	0	7.713179	378.8
21	11.45	S.T	2.220031	0.07591	0.048307	3.660301	27	1.528666	7.835667	285.3
23	11.3	S.T	2.1159	0.060293	0.03764	2.749006	27.5	0.853209	7.724894	332.4
25	12.2	S.T	2.32646	0.039991	0.044751	2.264275	27.1	1.315363	7.775782	344.4
27	12.15	S.T	1.646967	0.166486	0.058084	5.4635	26.8	0.391054	7.677095	365.1
29	13	S.T	1.233202	0.01032	0.007418	2.089772	27.1	0	7.853381	349.1
31	12	S.T	1.341241	0.055608	0.015418	1.634125	27.2	1.777518	7.658247	360.3

Concentraciones de la serie de tiempo del 1° de agosto

HORA	SITIO	N-NH ₄ mg-at/lt	N-NO ₃ mg-at/lt	N-NO ₂ mg-at/lt	P-PO ₄ mg-at/lt	TEMP °C	O ₂ mg at/lt	pH	Eh mV
7	E.C	2.069926	0.000965	0.004751	1.808628	26	0	7.56	322
	S.T	2.065329	0.004073	0.008751	2.913815	25.6	1.741968	7.79	358.2
9	E.C	2.230835	0.039991	0.030084	1.430538	26	0	7.87	46.1
	S.T	1.582603	0.05717	0.005196	1.876491	26	0.568806	7.77	420.6
11	E.C	2.313588	0.000793	0.003862	3.204653	26.9	0	7.95	66.1
	S.T	1.444682	0.008758	0.002973	2.167329	26	0	7.82	406
12	E.C	2.136588	0.000637	0.006084	2.671449	26	0	7.69	16
	S.T	1.463072	0.008758	0.009196	3.834804	26	0.284403	7.76	204
13	E.C	1.840517	0.000481	0.003418	2.758701	26.5	0	7.83	62.1
	S.T	1.646047	0.004073	0.00564	3.592438	26.5	0	7.86	218.3
15	E.C	2.017056	0.002511	0.010084	2.235191	26.5	0	7.69	42.5
	S.T	1.651564	0.020627	0.003418	2.77809	26.5	0.391054	7.85	233.4
17	E.C	2.474496	0.000169	0.003862	3.543965	27	0	7.74	-28.9
	S.T	1.825116	0.000169	0.015418	2.322443	26	1.457565	7.61	161.5
19	E.C	2.043721	0.000949	0.004307	2.700533	27	0	7.77	58.6
	S.T	1.669034	0.000325	0.014529	1.963742	26.7	0	7.76	391.3
21	E.C	2.143484	0.000793	0.002973	2.816869	26.5	0	7.76	114.1
	S.T	1.577087	0.002511	0.013196	3.204653	26.5	1.493115	7.78	299.1

EC = Entrada CESPE ST = Salida Total

Tabla v: Concentraciones de los diferentes parametros durante el mes de septiembre.

DIA	HORA	SITIO	N-NH ₄ mg-at/lit	N-NO ₃ mg-at/lit	N-NO ₂ mg-at/lit	P-PO ₄ mg-at/lit	TEMP °C	O ₂ mg at/lit	pH	Eh mV
2	13.4	S.T	0.626348	0.050923	0.00564	4.271062	27.6	0	7.654	379.2
4	12.16	S.T	0.729789	0.049381	0.009198	4.804266	28	0	7.387951	212.2
8	10.45	S.T	0.83323	0.908279	0.738529	6.277848	27.6	0	7.117639	372.5
10	12.16	S.T	0.614854	0.80063	0.614084	2.865342	28	0	7.675379	367.7
12	13	S.T.	0.382686	0.07591	0.028307	2.758701	27.5	0	7.748853	354.6
14	12	S.T	0.801048	0.124321	0.005196	3.980223	28	0.34537	7.749488	350.7
16	---	---	0.811852	0.09543	0.00764	4.198352	27.3	0	7.519409	328
18	11.46	S.T	0.822886	0.08664	0.010084	4.416481	26.5	0.262481	7.852383	305.3
20	11.3	S.T	0.810243	0.043115	0.011862	4.649152	27.5	0	7.702822	258.3
22	---	---	0.729789	0.04868	0.007862	4.217741	27.3	0	7.694959	297.25
24	14.3	S.T	0.649335	0.054046	0.003862	3.786331	27	0	7.687096	336.2
26	14.3	S.T	0.42866	0.091526	0.00564	4.823655	26	0	7.488737	281.5
28	13.15	S.T	1.598694	0.079033	0.005186	3.253127	25.7	0	7.415958	323.1
30	---	---	1.200561	0.076345	0.004084	4.048085	27	0	7.175288	302.5

Concentraciones de la serie de tiempo del 6 de septiembre

HORA	SITIO	N-NH ₄ mg-at/lit	N-NO ₃ mg-at/lit	N-NO ₂ mg-at/lit	P-PO ₄ mg-at/lit	TEMP °C	O ₂ mg at/lit	pH	Eh mV
7	E.C	1.596396	0.002511	0.024751	1.333592	27	0	7.87	290.5
	S.T	1.069995	0.100896	0.00164	3.999612	27.2	0.207222	7.82	263.2
9	E.C	1.405604	0.015005	0.002084	2.787785	27.2	0	8.11	65.8
	S.T	0.803347	0.144623	0.012307	2.865342	27.2	0	7.68	167.7
11	E.C	1.133209	0.000637	0.026973	3.563354	27	0	7.44	16.5
	S.T	0.511413	0.114951	0.00564	4.086864	27.5	0	7.67	108.7
12	E.C	0.936671	0.005634	0.002084	4.038391	27	0	7.73	107
	S.T	0.92058	0.100896	0.006084	2.971983	27.5	0	7.54	128.9
13	E.C	0.617153	0.000949	0.003862	4.290451	27	0	7.87	25.2
	S.T	0.401076	0.089965	0.005196	4.387397	27.2	0	7.85	125.1
15	E.C	0.828633	0.000325	0.026084	3.592438	27	0	7.77	30.9
	S.T	0.729789	0.039991	0.027862	4.794571	27.5	0	7.6	110.2
17	E.C	0.891847	0.005634	0.002973	2.681144	27.1	0	8.1	66.5
	S.T	0.476933	0.063416	0.00164	6.830441	27.6	0	7.8	5.7
19	E.C	0.958509	0.012862	0.002973	2.923509	27	0	8.1	33
	S.T	0.626348	0.065759	0.00964	7.528454	26.9	0	7.43	122
21	E.C	1.269981	0.000481	0.003418	2.632671	27	0	7.86	27.5
	S.T	0.847022	0.018128	0.028307	5.744644	25.5	0	7.22	202.3

EC = Entrada CESPE ST = Salida Total --- = Muestra no tomada

Tabla VI: Concentraciones de los diferentes parámetros durante el mes de octubre.

DIA	HORA	SITIO	N-NH ₄ mg-at/lt	N-NO ₃ mg-at/lt	N-NO ₂ mg-at/lt	P-PO ₄ mg-at/lt	TEMP °C	O ₂ mg at/lt	pH	Eh mV
2	13.1	S.T	0.802427	0.068101	0.002973	4.843044	28.3	0	6.934619	-90.2
4	11.45	S.T	1.251592	0.071225	0.00564	6.47174	27	0	7.891008	360.1
6	12	S.T	0.817139	0.058731	0.003418	6.859525	25.8	1.795396	7.658326	321
8	13.45	S.T	0.44705	0.063416	0.002084	10.71798	27.5	0	7.177882	246.6
10	11	S.T	0.870009	0.063416	0.002084	4.658846	27.5	0	7.57021	220.1
12	---	---	0.892996	0.068882	0.001862	4.750945	26.8	0	---	---
14	13.5	S.T	0.915983	0.074348	0.00164	4.843044	26	0.323171	---	---
16	12.4	S.T	0.62221	0.05795	0.002529	4.852739	26.1	0	---	---
18	11.3	S.T.C	0.320622	0.032183	0.002084	5.259913	26.2	0	---	---
20	10.35	S.T.C	0.644737	0.174295	0.031418	2.671449	25.1	0.430895	---	---
22	14.45	S.T	1.299864	0.063416	0.002529	5.744644	26	0	---	---
24	15.45	S.T.C	1.173436	0.027498	0.003862	4.086864	25.7	0.394987	---	---
26	11.45	S.T	1.594097	0.0478	0.018973	4.697625	24.9	0	---	---
28	12.3	S.T	0.775763	0.177418	0.014529	6.384489	24.1	0.466803	---	---
30	13.45	S.T	0.513712	0.061855	0.011862	4.028696	25	0	---	---

Concentraciones de la serie de tiempo del 11 de octubre

HORA	SITIO	N-NH ₄ mg-at/lt	N-NO ₃ mg-at/lt	N-NO ₂ mg-at/lt	P-PO ₄ mg-at/lt	TEMP °C	O ₂ mg at/lt	pH	Eh mV
7	E.C	2.035446	0.049361	0.000751	1.973437	26.5	0	7.68	76
	S.C	1.111372	0.180541	0.007418	2.603587	26.5	1.831304	7.77	311
	S.T	1.587201	0.275803	0.003418	5.124188	26	0	7.21	-7.6
9	E.C	1.874537	0.088403	0.002084	2.991372	26.7	0	7.93	-12.9
	S.C	1.240098	0.16024	0.002529	3.165875	---	---	---	---
	S.T	1.474565	0.135253	0.007418	3.640911	25.7	0	7.13	243.5
11	E.C	1.787187	0.004073	0.002529	3.15618	26.5	0	7.79	-123
	S.C	0.950463	0.030621	0.002084	3.233737	26.5	---	7.69	-89
	S.T	0.971151	0.015005	0.002973	7.353951	26	0	6.94	-120
12	E.C	1.118268	0.054046	0.00164	3.825109	27	0	7.73	-35
	S.C	0.858516	0.07591	0.004751	4.717014	---	---	---	---
	S.T	1.081489	0.077471	0.004307	6.403878	26.5	0	7.22	-82
13	E.C	0.989541	0.022813	0.002084	3.689384	27.5	0	7.67	-146
	S.C	0.865412	0.11339	0.008307	3.766941	27	1.867212	7.89	393.9
	S.T	0.865412	0.06654	0.002084	6.529908	27	0	7.29	-179
15	E.C	1.235699	0.024375	0.00164	3.350073	26.8	0	7.39	---
	S.C	0.79875	0.124321	0.002529	5.909452	---	---	---	---
	S.T	1.18378	0.135253	0.006529	9.098982	27	0	6.9	---
17	E.C	1.711256	0.041553	0.00164	3.912361	26.5	0	7.53	---
	S.C	1.11367	0.129006	0.002973	4.416481	26.5	---	7.65	---
	S.T	1.621681	0.11339	0.004307	5.017547	26.5	0	7.44	---
19	E.C	1.216987	0.035306	0.001196	4.571595	26.5	0	6.91	---
	S.C	0.872308	0.058731	0.00164	6.064566	---	---	---	---
	S.T	1.120566	0.013443	0.003862	6.617159	26	0	6.88	---
21	E.C	0.93897	0.032183	0.002084	4.300145	26.3	0	8.21	---
	S.C	0.472335	0.060293	0.002084	3.350073	26	0.574527	7.45	---
	S.T	0.542	0.089	0.003082	6.691	26	0	7.13	---

EC = Entrada CESPE SC = Salida CESPE ST = Salida Total --- = Muestra no tomada

Tabla VII: Concentraciones de los diferentes parámetros durante el mes de noviembre.

DIA	HORA	SITIO	N-NH ₄ mg-at/lt	N-NO ₃ mg-at/lt	N-NO ₂ mg-at/lt	P-PO ₄ mg-at/lt	TEMP C	OXI mg at/lt	pH	Eh mV
1	---	---	0.390732	0.147746	0.01364	4.275909	24	0	---	---
3	10.05	S.T	0.267752	0.305475	0.002973	4.523122	24.3	0.466803	---	---
5	13.4	S.T	0.449348	0.97543	0.008307	4.43587	24	0	---	---
7	15	S.T.C	0.391881	0.630302	0.014973	5.667087	25	0	---	---
9	13.4	S.T	0.20109	0.278926	0.00164	7.528454	24.5	0	---	---
11	12.15	S.T	0.000874	0.032183	0.006529	3.980223	25.1	0	---	---
13	13.45	S.T	0.079259	0.046238	0.01364	3.834804	24	0	---	---
15	13.2	S.T	0.175804	0.119636	0.006973	4.271062	23.1	0.86179	---	---
17	10.45	S.T	0.267752	0.129006	0.002529	2.719922	23.3	0	---	---
19	11.35	S.T	0.407972	0.127445	0.00564	6.937082	24.5	0.754066	6.980317	165
21	---	---	0.773464	0.16961	0.00564	5.851285	23.4	0.430895	6.449916	286
23	12.1	S.T	1.138956	0.13213	0.02164	3.447019	23.5	0	6.521127	178.3
25	---	---	0.966554	0.101677	0.016529	6.083955	23.4	0	6.616851	289.3
27	13.35	S.T	0.794152	0.071225	0.011418	8.720892	23.4	0.430895	6.712575	192.5
29	10.15	S.T	1.11367	0.0478	0.003862	4.387397	22	0	6.475904	163.7

Concentraciones de la serie de tiempo del 8 de noviembre

HORA	SITIO	N-NH ₄ mg-at/lt	N-NO ₃ mg-at/lt	N-NO ₂ mg-at/lt	P-PO ₄ mg-at/lt	TEMP °C	O ₂ mg at/lt	pH	Eh mV
7	E.C	1.495253	0.124321	0.000751	2.186718	24	0	7.82	----
	S.C	0.966554	0.210213	0.054973	3.854193	24	0	7.46	----
	S.T	0.637841	0.174295	0.009196	4.135337	23.5	0	7.29	----
9	E.C	1.288371	0.105581	0.004751	2.283665	24	0	7.92	----
	S.C	0.86771	0.196158	0.006396	2.380611	----	----	----	----
	S.T	0.660828	0.158678	0.00964	4.028696	23.5	0	7.45	----
11	E.C	1.649266	0.069663	0.004751	3.689384	24.2	0	7.56	----
	S.C	1.092982	0.213336	0.014529	3.747552	24	----	7.31	----
	S.T	0.663127	0.163363	0.025196	3.563354	23.5	0	7.77	----
12	E.C	1.600993	0.405421	0.005196	2.52603	24.2	0	7.81	----
	S.C	1.18493	0.417915	0.004751	4.852739	----	----	----	----
	S.T	0.702664	0.4226	0.004751	7.063112	24	0	7.35	----
13	E.C	1.201021	0.05717	0.001196	2.477557	24.5	0	7.37	----
	S.C	0.750017	0.213336	0.007862	3.495492	24.5	1.10776	7.57	----
	S.T	0.925178	0.205528	0.002973	3.098013	24	0	7.27	----
15	E.C	1.207917	0.080595	0.010084	3.214348	24.5	0	6.5	----
	S.C	1.127462	0.261748	0.01364	3.40824	----	----	----	----
	S.T	0.930924	0.21646	0.014529	3.379157	24	0	7.29	----
17	E.C	1.633175	0.055608	0.041196	3.214348	24	0	7.5	----
	S.C	1.207917	0.17898	0.007418	3.388851	24	----	7.42	----
	S.T	0.890897	0.194596	0.022973	3.737857	24.2	0.311557	7.39	----
19	E.C	0.936671	0.077471	0.003862	2.293359	23.7	0	7.62	----
	S.C	0.904489	0.213336	0.004307	2.264275	----	----	----	----
	S.T	0.712549	0.100896	0.008307	3.718468	23.5	0	7.21	----
21	E.C	1.130911	0.077003	0.003418	2.622976	23.5	0	7.76	----
	S.C	0.8861	0.175856	0.004307	2.254581	23.5	1.142377	7.52	----
	S.T	0.86771	0.16024	0.013196	4.823655	23.2	0	7.1	----

EC = Entrada CESPE SC = Salida CESPE ST = Salida Total --- = Muestra no tomada

Tabla viii: Concentraciones de los diferentes parametros durante el mes de diciembre.

DIA	HORA	SITIO	N-NH ₄ mg-at/lit	N-NO ₃ mg-at/lit	N-NO ₂ mg-at/lit	P-PO ₄ mg-at/lit	TEMP °C	O ₂ ml at/lit	pH	Eh mV
1	10.3	S.T.C	0.778081	0.161801	0.004307	2.816869	21.5	0	6.581818	----
3	14.1	S.T	0.506816	0.15087	0.033196	6.985555	21.7	0.427716	6.307692	----
5	11	S.T	0.056272	0.199281	0.006084	7.198837	22.3	0.427716	6.430631	----
7	11.45	S.T.C	0.058571	0.149308	0.012751	7.179447	21.7	0	6.553571	----
9	11	S.T	0.012597	0.138376	0.023862	7.644789	21.5	0.392073	6.76506	----
11	13.1	S.T.C	0.166609	0.12276	0.022529	4.717014	21.3	0	6.873494	----
13	11.05	S.T	0.221778	0.060293	0.006529	6.539603	21.2	0.712861	6.728915	----
15	---	---	0.178542	0.094565	0.004257	6.236874	21.2	0.427716	6.656626	----
17	---	---	0.095564	0.115688	0.003999	5.879565	21.1	0	6.584337	----

Concentraciones de la serie de tiempo del 18 de diciembre

HORA	SITIO	N-NH ₄ mg-at/lit	N-NO ₃ mg-at/lit	N-NO ₂ mg-at/lit	P-PO ₄ mg-at/lit	TEMP °C	O ₂ ml at/lit	pH	Eh mV
9	E.C	0.929775	0.105581	0.001196	3.194959	22	0	5.95	----
	S.C	0.840126	0.138376	0.005196	3.379157	21.7	1.639579	6.43	----
	S.T	0.568582	0.099335	0.008751	3.902866	21.1	0.605931	6.6	----
11	E.C	0.699906	0.046238	0.002529	3.718468	22	0	6.22	----
	S.C	0.594166	0.157116	0.002973	3.786331	----	----	----	----
	S.T	0.249362	0.07591	0.003418	4.368008	21.5	0.605931	6.15	----
12	E.C	0.704503	0.052485	0.00164	2.254581	22.3	0	6.38	----
	S.C	0.633244	0.105581	0.003418	2.487252	22.3	----	6.45	----
	S.T	0.472335	0.054046	0.004307	3.03015	22	0.427716	6.18	----
13	E.C	0.92058	0.068101	0.003418	3.495492	22.3	0	6.31	----
	S.C	0.702204	0.114951	0.008751	3.640911	22.3	1.17622	6.4	----
	S.T	0.663127	0.091526	0.002529	3.980223	22.1	0.392073	6.63	----
15	E.C	0.757373	0.035306	0.002084	3.224043	22.2	0	6.4	----
	S.C	0.819438	0.127445	0.00564	3.737857	----	----	----	----
	S.T	0.527504	0.058731	0.006973	4.978769	22	0	6.51	----
17	E.C	0.851619	0.063416	0.00164	1.89588	22	0	6.21	----
	S.C	0.610257	0.138376	0.002973	3.951139	21.7	----	6.31	----
	S.T	0.366595	0.109798	0.004751	6.791663	21.5	0.641575	6.45	----
19	E.C	1.081489	0.058731	0.000751	3.42763	22	0	6.32	----
	S.C	0.773464	0.120417	0.002084	1.566263	----	----	----	----
	S.T	960.6015	0.098085	0.005196	3.04954	21.5	0	6.52	----
21	E.C	0.955061	0.041553	0.00164	1.382065	21.7	0	6.45	----
	S.C	1.069995	0.108705	0.002529	3.621522	21.5	1.53265	6.45	----
	S.T	1.035515	0.077003	0.006529	3.165875	21	0.811979	6.46	----

EC = Entrada CESPE SC = Salida CESPE ST = Salida Total --- = Muestra no tomada

Tabla ix: Concentraciones de los diferentes parámetros en la bahía durante el 22 de noviembre

EST	N-NH ₄ μgr-at/lit	N-NO ₃ μgr-at/lit	N-NO ₂ μgr-at/lit	P-PO ₄ μgr-at/lit	TEMP C	OXI mg at/lit	pH
1A	0.136726	19.39925	4.636364	2.5063	16.7	2.549462	8.052808
2A	0.058571	8.189835	3.784091	1.48453	16.7	3.303529	8.074602
3A	0.012597	2.827011	2.5	1.393094	16.7	3.231713	8.096396
4A	0.001103	1.70607	1.363636	1.358262	16	3.267621	8.109807
5A	0.001103	0.469787	0.227273	1.240702	16	3.267621	8.11316
1B	2.690573	28.35558	23.67045	64.2276	16.7	1.974936	7.548198
2B	2.161874	17.52579	8.045455	32.23343	16.7	1.687672	8.000838
3B	0.205687	6.431718	2.056818	3.532425	16.3	3.016265	7.98575
4B	0.058571	1.002823	1.068182	1.432281	16	3.231713	8.094719
5B	0.001103	0.469787	0.727273	1.297305	16	3.267621	8.094719
1C	0.203388	7.998356	3.772727	6.445343	16.5	2.908542	8.027661
2C	0.184999	2.250306	1.204545	2.439309	16.7	3.195805	8.015926
3C	0.116038	1.590729	0.784091	1.3452	16.5	3.195805	8.062867
4C	0.02409	1.087929	0.565909	1.445343	16	3.231713	8.079631
5C	0.012597	0.681881	0.495455	1.279889	16	3.231713	8.015926
1D	0.205687	6.520191	3.204545	2.371324	16.5	2.621278	8.052808
2D	0.116038	2.904283	1.036364	1.3452	16.5	3.231713	8.005868
3D	0.056272	0.824324	0.75	1.27118	16.5	3.231713	8.084661
4D	0.02409	0.614917	0.431818	1.27118	16	3.231713	8.084661
5D	0.012597	0.582441	0.363636	1.279889	16	3.231713	8.049455
1E	0.173505	2.904283	2.931818	1.435764	16.5	3.159897	8.082984
2E	0.093051	1.244706	0.941818	1.375678	16.5	3.016265	8.096396
3E	0.047077	0.947953	0.693182	1.332137	16.5	3.231713	8.139983
4E	0.02409	0.423522	0.431818	1.27118	16.5	3.253258	8.041073
5E	0.001103	0.329398	0.227273	1.27118	16	3.253258	8.082984