Unidad 4, 5, 6:
Uso de Fertilizantes en estanques

Fertilizantes inorgánicos: importancia, tasas, cálculos de suministros.

La incidencia en la producción de organismos hidrobiológicos.

Métodos de aplicación.

Fertilizantes orgánicos: importancia, tasas, cálculos de suministros.

Métodos de aplicación.

Suministro de cal agrícola.

Relación con la alcalinidad total y la producción.

Otros factores que influyen en el suministro de la cal.

Aplicación de la cal en los estanques.

Reducción de pH.

Ejemplo de aplicación del ICA para fosfatos en varias estaciones del Estero Salado

Fertilizantes inorgánicos

- Son aplicados para incrementar la producción primaria, elevar la concentración de nutrientes, incrementar el zooplancton y elevar el crecimiento de las especies. No se necesitan todo el tiempo.
- Hay que usar fertilizantes de elevada calidad. Mano de obra es el principal limitante para la aplicación de abonos orgánicos ya que los aplican en grandes volúmenes: >1500 Kg./Ha.
- Hay un límite de concentración de fertilizante que es utilizado para producción, el exceso perjudica la calidad del agua.
- El reflejo de la fertilización está en el crecimiento del organismo. El fósforo se encuentra de diferentes maneras en los fertilizantes:
  - SP (superfosfato): la apatita se encuentra en las rocas y es altamente insoluble, pero al mezclarla con ácido sulfúrico se forma el fosfato monocálcico + yeso que es equivalente al superfosfato, que posee el pentóxido de fósforo del 16 -20 %.

Fertilizantes ....(2)

- Al referirse a la relación N-P-K se habla de Nitrógeno (N), de Fósforo (P) en forma de pentóxido de fósforo, y de Potasio (K) en forma de muriato de potasio. El cálculo se lo hace en función de la proporción de los ingredientes.
- STP (supertrifosfato): es apatita más ácido fosfórico y tiene el equivalente de pentóxido de fósforo del 44 - 54% lo cual implica aplicación en menor cantidad.
- Fosfato de amonio: empleado últimamente, el nitrógeno de los fertilizantes se lo obtiene a partir del nitrato de potasio o del nitrato de sodio.
- Los fertilizantes de N son costosos ya que gases naturales se utilizan para su fabricación, para su fijación del N atmosférico. Se puede recuperar amoníaco o amonio a partir del carbón.
- Nitrato de amonio: también como fuente de P y N.
- El potasio se obtiene de la Sylvita (cloruro de potasio) o de muriato de potasa que tienen de 60 a 62 % de K.

Cuándo se debe aplicar

Según los agrónomos se debe aplicar fertilizantes bajo 2 premisas:

- Cuando un sólo factor de crecimiento está limitando el crecimiento de una planta, el incremento en crecimiento con cada adición del factor de crecimiento, adicionado igual y sucesivamente, será progresivamente más pequeña.
- No hay proporción directa entre la concentración del fertilizante y el crecimiento del plancton, ya que este crece en función logarítmica.
- El fertilizante líquido es más soluble y se aprovecha de mejor manera en la columna de agua.
- **Para el acuicultor** el mejor índice de la eficiencia de un tratamiento con abono no es el efecto en el plancton o la fauna del fondo, pero si el crecimiento en la producción sobre los valores considerados normales, según Mortimer (1954).
- Resultados más convenientes se han logrado con fertilizantes orgánicos que inorgánicos.
- La mejor fuente de nitrógeno es la urea, o el ácido úrico.

Aplicación del fertilizante

- Aplicación del fertilizante:
  - el abono orgánico se lo aplica seco,
  - el abono sólido llega al sedimento rápido y no se aprovecha nada,
  - el abono duro se lleva al agua de la piscina para que se disuelva en la orilla,
  - se lo puede colocar en bolsas, saquillos para que se disuelva en el centro de la piscina.
- Lo recomendado es disolver en agua pero utilizando una plataforma que llegue al centro de la piscina para que quede disperso uniformemente.
- Se recomienda aplicar al inicio de la corrida justo antes de colocar los animales y luego con una frecuencia de días (no ofrece ventajas sobre meses o semanas).
- Es preferible colocarlo en días soleados y sin lluvia.
- Si la alcalinidad es menor de 20 ppm se recomienda tratamiento con cal anticipado de 1 mes pues el carbonato de calcio fresco favorece la precipitación del fósforo.

Tasas /cálculo de suministro

- Para una alta alcalinidad (>300 ppm), se vuelve necesaria aplicar mucho más fertilizante pues este se precipita. Se aplican con más éxito en época seca para evitar la dilución de las lluvias.
- Para hacer disponible el fósforo insoluble del sedimento se aplica más N que P para que las bacterias actúen sobre los fosfatos y lo hagan útil (o sea se induce la actividad bacteriana).
- Cuando existe turbidez por arcilla no es conveniente fertilizar ya que la luz no entra a la profundidad necesaria. Hay que tomar en cuenta las malezas acuáticas.
- Para Ecuador se aplican fertilizantes con mayor cantidad de N que fomenta el crecimiento de diatomeas. Se recomiendan aplicaciones de 1 vez por semana o:

  → se aplica urea 6 Kg./Ha, más STP 1 Kg./Ha; diariamente,

  → 23-7-0, 20 Kg./Ha; cada dos semanas,

  → fosfato de amonio, 15 - 25 Kg./Ha; cada dos semanas,

  → urea, 20 Kg./Ha más STP, 15 Kg./Ha; cada semana

Algunas características de los fertilizantes

- Cuando la lectura del disco Secchi es mayor a 0.40 m, después de fertilizar se vuelve a repetir.
- El aplicar urea y nitrato de amonio forma ácidos y al usarla continuamente se reduce el pH. Para remediar se puede hacer tratamiento con cal.
- Los fertilizantes inorgánicos pueden ser granulares o líquidos, los inorgánicos se los requiere en menor cantidad, no son tan económicos, sus efectos son más inmediatos que los orgánicos.
- Los fertilizantes granulares son sólidos y primero precisan disolverse para hacer efecto, los fertilizantes líquidos son pesados y necesitan disolverse en 3 o 4 partes de agua, además son muy caros por ser sumamente concentrados.

Fertilizantes inorgánicos

Aunque es cierto que los fertilizantes inorgánicos que aportan minerales (nitrógeno y fósforo especialmente) son más costosos que los de naturaleza orgánica, ellos son inmediatamente eficaces; ya que el fósforo se revela especialmente como un limitante en la producción primaria o vegetal (fitoplancton).

Los sedimentos de los fondos, suelen constituir una trampa de minerales, que posteriormente también son difundidos (más lentamente) y puestos a disposición de la utilización por los vegetales.

La fertilización de las aguas tiene una repercusión importante sobre el nivel de oxígeno existente.

El aumento de la cantidad de algas componentes del fitoplancton lleva a una producción de oxígeno (por fotosíntesis) durante el día.

La fertilización orgánica requiere a su vez, de una alta proporción de oxígeno para su descomposición. De esta forma se podrá mantener un mejor equilibrio en el sistema.

Precauciones por exceso de fertilizantes

- Si los fertilizantes inorgánicos se aportan en exceso, se puede producir una cantidad de algas azules (cianofíceas) que no son consumidas por los animales del sistema y que requerirán oxígeno durante el período de respiración de noche.
- Por lo tanto es necesario tener en cuenta el equilibrio en cuanto al manejo del estanque en este aspecto.

Utilidad respecto a la producción de alimento

- A mayor cantidad de fitoplancton, mayor cantidad de zooplancton (alimento importante para los peces).
- Bien manejado el sistema, los peces estarán en perfectas condiciones sanitarias con abastecimiento correcto de oxígeno y tendrán disponible mayor alimento natural, especialmente en sus primeros estadíos de vida cuando crecen más rápidamente, lográndose posteriormente una mayor producción.

Incidencia en la producción de organismos hidrobiológicos

- En general, para promover una rápida floración de los elementos pertenecientes al fitoplancton, se pueden utilizar entre 50 a 300 Kg./Ha., de acuerdo a la visibilidad medida por disco de Secchi diariamente.
- Los nutrientes más importantes como limitantes del crecimiento de las algas, son el fósforo y en menor medida el nitrógeno.
- Bajo estas consideraciones, los fertilizantes inorgánicos como la urea y el ácido fosfórico son los más empleados en general para cultivo de peces y camarones.

Fertilizantes orgánicos

Son producidos por animales. Los fertilizantes orgánicos se usan dependiendo del animal que lo produce; se requieren en mayores cantidades, son económicos, si no hay suplemento de oxígeno genera problemas ya que la materia orgánica necesita de él para descomponerse.

Los fertilizantes orgánicos como medio de aumento en la producción final del estanque en peces, camarones o langostas:

- En general, cuando se realiza una producción de peces sin aporte de fertilizantes y alimento, la misma se limita a la obtención de algunas centenas de Kg./Ha/año.
- Si la misma producción es realizada con aporte de fertilizantes (y en especial con varias especies, en policultivo), se puede alcanzar a superar, según varios investigadores, hasta una Ton/ Ha.
- El alimento natural producido: fitoplancton, zooplancton y zoobentos (animales ligados a los fondos) es especialmente rico en proteínas y se aumenta con aporte de la fertilización orgánica.

Formación de detritus dentro de un estanque

- El conjunto de material muerto que existe dentro de un estanque y que es producido a través de la descomposición de la materia orgánica, se denomina **detritus.**
- Este término se refiere al residuo utilizable de una transformación que se produce dentro del ecosistema acuático. Durante la evolución de este ecosistema, se produce la muerte de elementos vivos (zooplancton, fitoplancton, vegetales superiores asentados en los bordes y material externo que se incorpora como las hojas muertas).
- Todo este material es degradado continuamente, aportando a la formación del detritus. La degradación de toda la materia orgánica se produce bajo la acción continua de los microorganismos (bacterias, hongos, protozoarios y algas azules) existentes.
- En la práctica, lo que interesa, es que toda esta materia orgánica de estructura compleja, termina siendo destruida en elementos de estructura muy simple a medida que estos "descomponedores" actúan.

Incidencia en la producción de organismos

- Muchos de los animales pertenecientes al zooplancton y los crustáceos, utilizan este detritus como forma de alimento y en algunos casos determinadas especies de peces también (carpas, tilapias y otros).
- Estos organismos crecen con este aporte; ya que todo el detritus está rodeado de elementos microscópicos como Protozoarios, Bacterias y Hongos que también sirven como importante alimento.
- Los peces, como se mencionó, se alimentan especialmente en sus primeras fases de vida (alevines) del zooplancton, por lo tanto la materia orgánica que ellos aprovechan en esta forma, los beneficia ampliamente.
- La mineralización última que se produce en los ecosistemas de estanques, permite poner en disponibilidad nuevamente en el agua los nutrientes necesarios para la continuidad del ciclo, siempre que en el mismo exista disponibilidad de oxígeno.

Utilidad de los fertilizantes orgánicos

- Son de gran utilidad ya que ellos son materia orgánica posible de descomponerse dentro del agua donde se colocaron.
- Los desechos de los animales de granjas e inclusive del ganado, constituye a menudo una problemática para sus productores.
- Su empleo en estanques para cultivo de peces o camarones, ayuda en forma razonable a su utilización general.
- Toda fertilización que utilice abono orgánico debe ser controlada cuidadosamente según las especies bajo cultivo, especialmente en lo referido a los niveles de oxígeno disuelto, que no deben volverse críticos.
- Los abonos se descomponen (entran en circulación) dentro de un determinado rango de temperaturas, en general, por encima de los 18-20 °C, por lo cual el abonamiento en épocas invernales, con bajas temperaturas, es totalmente improcedente.

Suministro de cal agrícola en estanques

- La práctica del encalado de los estanques, llevada a cabo en los sistemas acuícolas, es importante porque contribuye al aumento de la alcalinidad, reforzando la acción "buffer" o de equilibrio en el agua.
- Normalmente, aquellas aguas que presentan pH por debajo de 7, en torno a 6,5 son aguas con baja alcalinidad y baja dureza total (menores a 20 mg/litro de carbonato de calcio) y necesitan ser encaladas.
- Los materiales utilizados para ello, son los mismos que comúnmente se usan en agricultura: cal agrícola, cal hidratada y cal viva.
- La cal agrícola, compuesta por carbonato de calcio y/o carbonato de magnesio, produce una suave elevación del pH del medio. La cal hidratada (hidróxido de calcio) utilizada en la construcción, se utiliza ampliamente debido a su alta disponibilidad y rápido efecto para la elevación del pH del agua.
- En general, se recomienda esperar unas semanas luego de su aplicación para obtener niveles apropiados de pH a la siembra de los elementos a cultivar.

Dosis de cal generalmente utilizadas

- La cal viva (óxido de calcio) se utiliza solamente para eliminar parásitos, peces predadores u otros organismos indeseables que hayan quedado en los estanques de cultivo, posteriormente a las cosechas efectuadas y su aplicación debe ser efectuada con cuidado.
- Las dosis en que se aplican estos materiales dependerán, en general, de su composición y del objetivo perseguido.
- En el caso de la cal agrícola , las cantidades aplicadas (con pH entre 5 y 7) abarcarán desde 300 Kg./1000 m2; la hidratada a los mismos valores considerados de pH, entre 200 y hasta 75 Kg./1000 m2 y la cal viva , entre 180 y 55 Kg./1000 m2.
- Las dosis iniciales son siempre aplicadas sobre los fondos de los estanques y en seco. Posteriormente, si fuera necesario efectuar otras aplicaciones (a excepción de la cal viva), la cantidad adecuada se coloca dividida en porciones en varios puntos del estanque a tratar o también encerrada en bolsas de arpillera sumergidas en el agua, que permitirá su gradual dilución.

- Estas dosis, en estanque que ya están llenos de agua y en actividad acuícola, no deben sobrepasar los 10 Kg./ 1000 m2/día.
- Para la aplicación del material a estanque lleno, se procederá desde las orillas a la mano o en el caso de grandes estanques por medio de botes, tratando de que el mismo sea uniformemente desparramado.
- Siempre deberá considerarse, previo a la aplicación, las lecturas tomadas sobre el pH del medio. Cada estanque mostrará valores levemente diferentes, según se haya actuado sobre ellos en cuanto a fertilización.
- En el caso de la cal viva, las aplicaciones deberán realizarse siempre a estanque seco y vigilando posteriormente el nivel de pH (una vez cargado el estanque) hasta que se considere adecuado el valor del mismo para proceder a la siembra de los organismos a cultivar.
- La aplicación de cal, mejora también los suelos en el caso de que estos tengan tendencia a ácidos y es conveniente para su aplicación la utilización del discado, ya que de esta forma, el material penetra en aquellos y producirá un efecto retardado.

Importancia en la determinación del fósforo

- La determinación del fosfato ha crecido rápidamente en la práctica de la ingeniería ambiental a medida que los profesionales han descubierto las muchas formas diferentes en que los compuestos del fósforo afectan los fenómenos ambientales.
- Compuestos inorgánicos del fósforo que interesan en la práctica de la ingeniería son los fosfatos en sus formas moleculares deshidratadas, usualmente llamadas polifosfatos condensados.
- La descarga de 1 g de fósforo en un lago puede producir la formación de más de 100 g de biomasa (materia orgánica). Representa una DBO de 1.50 g de oxígeno para su oxidación aeróbica completa, además de los problemas de eutrofización y crecimientos de fitoplancton.
- El fósforo como fosfato es un nutriente de los microorganismos en el tratamiento biológico de aguas residuales.
- En la evaluación de los nutrientes requeridos para la actividad biológica, algunos autores prefieren el ensayo de ortofosfatos en vez del fósforo total.

Concentraciones típicas de fósforo en el agua

- En aguas naturales la concentración de fósforo es baja, de 0,01 a 1 mg/L-P.
- En aguas residuales domésticas varía normalmente entre 1 y 15 mg/L-P
- En aguas de drenaje agrícola oscila entre 0,05 y 1 mg/L-P
- En aguas superficiales de lagos varía entre 0,01 y 0,04 mg/L-P
- Una composición típica, en cuanto a las formas de fósforo, en un agua residual doméstica puede ser la siguiente: ortofosfatos 5 mg/L-P; tripolifosfatos 3 mg/L-P; pirofosfatos 1 mg/L-P, y fosfato orgánico menor del 1 mg/L-P.

Todas las formas de fósforo se determinan por conversión de la especie que se busca en ortofosfatos. El método Denigé o del cloruro estannoso se basa en que los ortofosfatos en condiciones ácidas reaccionan con el molibdato de amonio para formar un complejo conocido como fosfomolibdato de amonio

Determinación del fósforo

- Fosfomolibdato de amonio, es reducido por el cloruro estannoso para producir un complejo azul llamado molibdeno azul, cuyo color es proporcional a la cantidad de ortofosfatos presente.
- En el método del ácido ascórbico, el reactivo de molibdato de amonio y tartrato de antimonio y potasio reacciona, en medio ácido, con los ortofosfatos para formar un complejo de fosfomolibdato de antimonio.
- Este complejo es reducido por el ácido ascórbico a un complejo de color azul intenso cuyo color es proporcional a la concentración de fósforo.

Compuestos de fósforo comúnmente encontrados en la práctica de la ingeniería ambiental

Nombre	**Fórmula**
Ortofosfatos	
Fosfato trisódico	$Na_3\,PO_4$
Fosfato disódico	$Na_2\,HPO_4$
Fosfato monosódico	$Na\,H_2PO_4$
Fosfato diamónico	$(NH_4)_2\,HPO_4$
Polifosfatos	
Hexametafosfato de sodio	$Na_3\,(PO_3)_6$
Tripolifosfato de sodio	$Na_5\,P_3\,O_{10}$
Pirofosfato tetrasódico	$Na_4\,P_2\,O_7$

Métodos de determinación del fósforo o del fosfato

- Conocer las cantidades de orto, poli y fósforo orgánico presente.
- Es posible medir el ortofosfato con muy poca interferencia a partir de los polifosfatos debido a su estabilidad en las condiciones de pH, tiempo y temperatura utilizadas en la prueba.
- Los polifosfatos y las formas orgánicas del fósforo deben ser convertidas a ortofosfato para su medición.

Ejemplo de aplicación del ICA para fosfatos para el Estero Salado

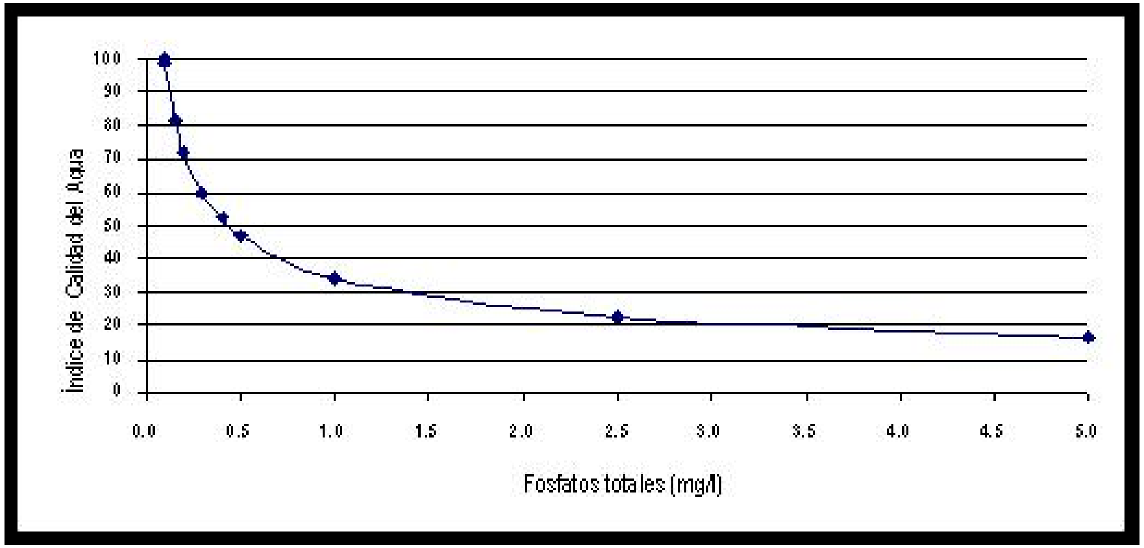
ICA = índice de calidad del agua global

I*i* = índice de calidad para el parámetro i

W*i* = Coeficiente de ponderación del parámetro i

n = Número total de parámetros

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^{n} I_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}$$



- $IPO4 = 34.215\,(PO4)^{-0.4}$ .... (PO4) Fosfatos Totales en mg/l

Referencia: Comisión Nacional del agua, México, 2000

Tabla de datos

Referencia: Proyecto de investigación de calidad de agua, J. Castro, ESPOL, 2004.

	Puente Miraflores	Puente Calle Aguirre	Puente Calle 17	Puente Portete	Puente Isla Trinitaria	Promedio
Sep. 2000	25mg/l	11mg/l	16mg/l	14mg/l	6.3mg/l	14.46mg/l
Oct. 2000	37mg/l	17mg/l	14mg/l	15mg/l	7mg/l	18mg/l
Nov. 2000	21mg/l	15mg/l	16mg/l	8mg/l	5.8mg/l	13.16mg/l
Dic. 2000	32mg/l	18mg/l	16mg/l	15mg/l	6.9mg/l	17.58mg/l
Ene. 2001	15mg/l	14mg/l	14mg/l	9mg/l	7mg/l	11.8mg/l
Promedio	26mg/l	15mg/l	15.2mg/l	12.2mg/l	6.6mg/l	

Resultados de cálculo de I_{PO4}

Mensual

Septiembre:

IPO4 = 34.215 $(14.46)^{-0.46}$

IPO4 = 10.01

Octubre:

IPO4 = 34.215 $(18)^{-0.46}$

IPO4 = 9.05

Noviembre:

IPO4 = 34.215 $(13.16)^{-0.46}$

IPO4 = 10.455

Diciembre:

IPO4 = 34.215 $(17.58)^{-0.46}$

IPO4 = 9.15

Enero:

IPO4 = 34.215 $(11.8)^{-0.46}$

IPO4 = 10.99

Por lugar

Puente Miraflores

IPO4 = 34.215 $(26)^{-0.46}$

IPO4 = 7.64

Puente Calle Aguirre:

IPO4 = 34.215 $(15)^{-0.46}$

IPO4 = 9.84

Puente Calle 17:

IPO4 = 34.215 $(15.2)^{-0.46}$

IPO4 = 9.785

Puente Portete:

IPO4 = 34.215 $(12.2)^{-0.46}$

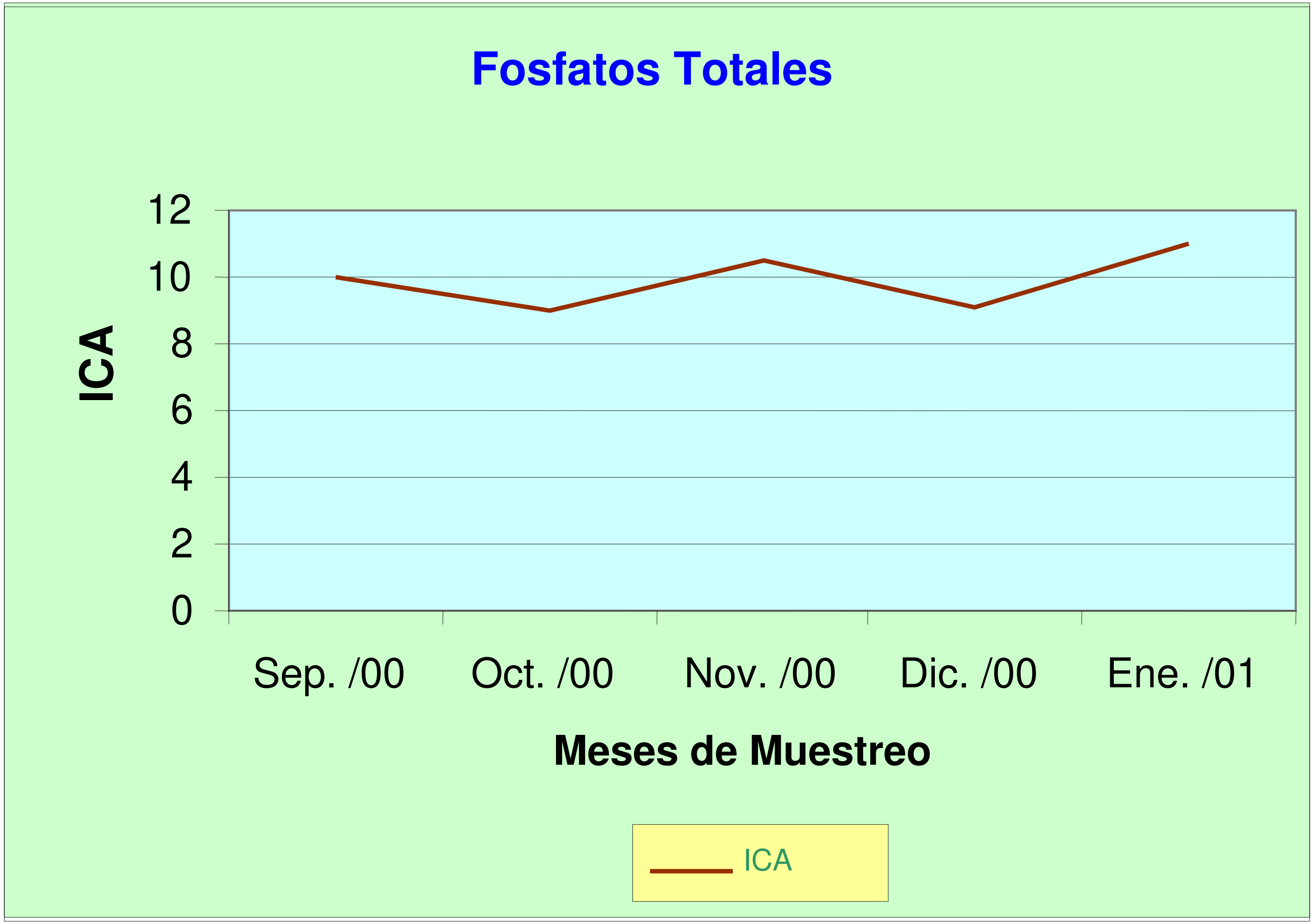
IPO4 = 10.826

Puente Isla Trinitaria:

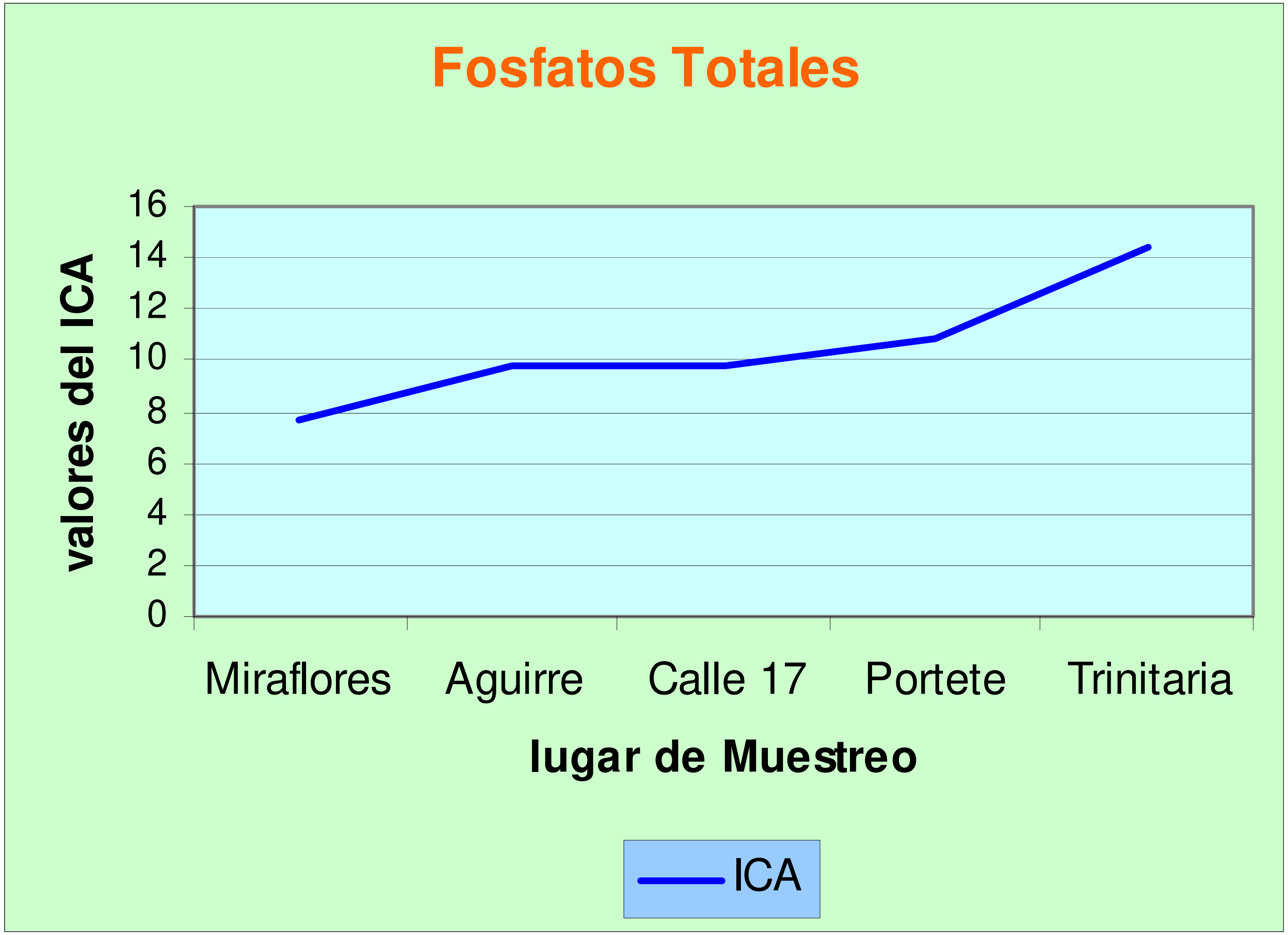
IPO4 = 34.215 $(6.6)^{-0.46}$

IPO4 = 14.36

Valores Mensuales de IPO4 (sep. 2000– ene.2001)



Variaciones de IPO4 según lugar de muestreo



Análisis de resultados

IPO4 por lugares de muestreo (geográfico) = 8.53

IPO4 mensual = 9.93

ICA	CRITERIO GENERAL
85 –100	No Contaminado
70 - 84	Aceptable
50 – 69	Poco Contaminado
30 - 49	Contaminado
0 - 29	Altamente Contaminado

- Conclusión: Según los cálculos realizados, con respecto a las muestras que se han tomado en diferentes puntos del Estero Salado, se concluye que este cuerpo de agua esta altamente contaminado de acuerdo a este parámetro.