



**BUAP**

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

**DIAGNÓSTICO DE EUTROFIZACIÓN EN  
LA PRESA DE VALSEQUILLO  
(MANUEL ÁVILA CAMACHO)**

**TESIS**

Para obtener el grado de:  
**MAESTRA EN INGENIERÍA  
OPCIÓN TERMINAL AMBIENTAL**

Presenta:

**ING. CLAUDIA BEATRIZ LAUG GARCIA**

Director de tesis:

**DRA. MARTHA PATRICIA GONZÁLEZ ARAÓZ**

Co-Director:

**DRA. MARÍA MAURA MARGARITA TEUTLI LEÓN**

Puebla, Pue.

Abril 2016



**BUAP**

OFICIO SIEP No. 3505/ 2015

**ING. CLAUDIA BEATRIZ LAUG GARCÍA**

Maestría en Ingeniería, opción terminal Ambiental  
Presente.

El suscrito M.I. Edgar Iram Villagrán Arroyo, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de Tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema intitulado **"DIAGNÓSTICO DE EUTROFICACIÓN EN LA PRESA DE VALSEQUILLO"**, para obtener el grado de Maestra en Ingeniería con opción terminal Ambiental. Asignándose como Asesor de tesis a la Dra. Martha Patricia González Araoz y Co- Asesor a la Dra. María Maura Margarita Teutli León.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**

"Pensar bien, para vivir mejor"

Puebla, Pue., a 27 de octubre de 2015

M.I. EDGAR IRAM VILLAGRÁN ARROYO  
Director de la Facultad de Ingeniería

C.c.p. Dra. Martha Patricia González Araoz. Asesor tema tesis.

C.c.p. Dra. María Maura Margarita Teutli León. Co-Asesor tema tesis.

C.c.p. Archivo.

GJS/PGA/dsm.

Facultad  
de Ingeniería

ESTADÍSTICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio  
s/n, edif. 108 C, Col. San Manuel,  
Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C.P. 72570  
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

Asunto: Autorización de Impresión tesis

**M. I. FENANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ**  
DIRECTOR FACULTAD DE INGENIERIA B. U. A. P.  
PRESENTE.

Por este medio del presente, le informo que la **Ing. Claudia Beatriz Laug García**, alumna de la Maestría en Ingeniería con opción terminal en Ambiental ha elaborado la tesis titulada:

**“DIAGNÓSTICO DE EUTROFICACIÓN EN LA PRESA DE VALSEQUILLO”**

**(MANUEL ÁVILA CAMACHO)**

La cual ha sido revisada de forma general por tiempos sin considerar redacción y ortografía, autorizando su impresión. Lo anterior, para los efectos académicos a que haya lugar.

Agradeciendo su atención quedo a sus órdenes.

ATENTAMENTE

H. PUEBLA DE Z., 16 DE ABRIL DE 2016.



Dra. Martha Patricia González Aráoz

Agradecimientos:

A Dios:

Mi tesis se la dedico a Dios principalmente, porque me ayudó a guiar mi camino, a superar los obstáculos que se presentaron durante todo el proceso y a darme todas las herramientas para poder seguir adelante.

Gracias Te amo

A mi esposo Antonio:

Te la dedico con todo mi amor y cariño por tu sacrificio y esfuerzo por ayudarme a continuar con mi desarrollo profesional, por creer en mí capacidad y por estar siempre apoyándome y comprendiéndome. Te amo.

A mis hijas Jeanette y Ana Paulina:

Por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme y alcanzar mis metas. Gracias por todo su tiempo, paciencia y comprensión. Las Amo

A mi Padre:

Gracias por siempre apoyarme para llegar a ser quien soy, por tus palabras de aliento, las cuales no dejaron que me rindiera nunca, y por compartirme toda su sabiduría para siempre tomar el camino correcto. Te Amo Papi.

A mi Madre:

A ti te debo también todo lo que soy, gracias por la ayuda que siempre me diste cuando la necesité, por tu comprensión, por ayudarme a no rendirme y seguir luchando por lo que quiero. Te amo mami.

A mis Hermanas y Hermano: Héctor, Rocío y Elizabeth

Gracias por la ayuda que me brindaron siempre, por apoyarme a lo largo de mi vida y por ser parte de esta. Los Amo

# Índice

CAPÍTULO I .....	1
<b>Introducción</b> .....	1
<b>Antecedentes</b> .....	2
CAPÍTULO II .....	3
<b>Eutrofización.</b> .....	3
<b>Mecanismos del proceso de eutrofización.</b> .....	4
<b>Formas iónicas de compuestos.</b> .....	7
<b>Niveles de Eutrofización</b> .....	8
<b>Algas como indicadores de calidad de un cuerpo de agua</b> .....	9
<b>Lirio acuático</b> .....	9
<b>Causas que contribuyen a la Eutrofización.</b> .....	9
<b>Factores que afectan el grado de Eutrofización:</b> .....	10
<b>Presencia de otros compuestos o elementos</b> .....	10
<b>Necesidad de preservar la calidad del agua.</b> .....	12
CAPITULO III .....	14
<b>Problemática</b> .....	14
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	15
<b>HIPÓTESIS</b> .....	15
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	16
<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b> .....	16
CAPITULO IV .....	17
<b>METODOLOGÍA</b> .....	17
CAPITULO V .....	26
<b>Resultados y Discusión</b> .....	26
<b>Análisis de los resultados</b> .....	34
CAPITULO VI .....	48
<b>Conclusión</b> .....	48
<b>Recomendaciones</b> .....	50
<b>ANEXO</b> .....	52
<b>Criterios de cálculo</b> .....	55
Bibliografía: .....	58

## ANEXOS

### Índice de tablas y gráficas

Tabla 1	Coeficientes de ponderación por parámetros (CONAGUA).....	21
Tabla 2	Peso relativo asignado a cada parámetro (CONAGUA).....	22
Tabla 3	Rango de clasificación del ICA de acuerdo al criterio general (CONAGUA) .....	23
Tabla 4	Escala de clasificación del Índice de Calidad del Agua (CONAGUA) .....	24
Tabla 5	Datos del Primer Muestreo Mayo 2015.....	27
Tabla 6	Punto de muestro 2 Diciembre 2015.....	28
Tabla 7 y 8	Datos de Pruebas realizadas en el Laboratorio de los dos muestreos.....	29
Tabla 9	Muestreo Mayo 2015.....	30
Tabla 10	Primer Muestreo Mayo-2015 .....	31
Tabla 11	Muestreo Diciembre 2015 .....	31
Tabla 12	Muestreo Diciembre 2015 .....	32
Tabla 13	Estado general de la Presa El .....	32
Tabla 14	Comparativa de Parámetros del Estudio .....	34
Tabla 15	Parámetros medidos con el aparato Multiparámetros .....	34
Tabla 16	Parámetros medidos con el Aparato Multiparamétrico .....	35
Tabla 17	Segundo muestreo Diciembre 2015 .....	36
Tabla 18	Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015 .....	36
Tabla 19	Primer muestreo Mayo 2015 - Segundo muestreo Diciembre 2015.....	37
Tabla 20	Primer muestreo Mayo 2015 -Segundo muestreo Diciembre 2015.....	37
Tabla 21	Primer muestreo mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 20 .....	38
Tabla 22	Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015 .....	38
Tabla 23	Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015 .....	39
Tabla 24	Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015 .....	39
Tabla 265	Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015 .....	40
Tabla 26	Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015 .....	40
Tabla 27	Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015 .....	41

<b>Tabla 28 Primer muestreo mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 29 Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015 .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 30 Primer muestreo Mayo 2015 -Segundo muestreo Diciembre 2015.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 31 y 32 Estación Mayo 2015-Estación Diciembre.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 33 Estación Mayo-Diciembre ICA general.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 34 Resultado de los Índices de calidad del agua .....</b>	<b>44</b>
<b>Gráfica 1 Índices de Calidad del agua .....</b>	<b>45</b>
<b>Gráfica 2.....</b>	<b>46</b>
<b>Gráfica 3.....</b>	<b>46</b>
<b>Gráfica 4.....</b>	<b>47</b>
<b>Gráfica 5.....</b>	<b>47</b>

# CAPÍTULO I

## Introducción

El agua puede ser considerada como un recurso renovable cuando se controla cuidadosamente su uso, tratamiento, liberación y circulación, de lo contrario se vuelve un problema ambiental irreversible para el planeta.

Este recurso forma parte esencial de la mayoría de los organismos debido a que el 80% de ellos está constituido de agua, y se considera primordial en los procesos metabólicos que se realizan en los seres vivos y en las plantas como es la fotosíntesis. Sin este recurso la vida no sería posible por lo que, se tiene la obligación de cuidarla y protegerla ya que dicho recurso se está agotando.

Regularmente se encuentran asentamientos humanos a la orilla de los ríos, lagos o presas, pero también se ubican industrias, las cuales tiran sus residuos industriales sin tratar, provenientes de procesos internos los cuales contaminan al cuerpo de agua.

El poder tener acceso al agua se considera como la punta de la salud pública y el desarrollo sin embargo cada vez hay menos agua potable en el planeta. La crisis del agua afecta a millones de personas en el mundo, con mayor efecto en países pobres.

En el planeta solo el 2.5 % es agua dulce (pocas sales disueltas), la mayoría de los cuerpos de agua dulce se encuentran en glaciares, capas de hielo y una porción mayor se encuentra en depósitos subterráneos profundos; y por lo tanto solo se cuenta con el 0.3 % en ríos y lagos para ser utilizada por los seres vivos.

Cuando se habla del término “*eutrofización*” está formado por el prefijo (*eu*): bien, bueno; añadido a (*trofe, es*): alimentación, nutrición, que quiere decir “buena alimentación”.

La Clorofila como indicador se utiliza mucho hoy en día, existen estudios en donde definen una relación estrecha entre el incremento de nutrientes y la clorofila (Kaas et al., 2005).

Hay quien establece que el nivel de eutrofia en relación a la biomasa no necesariamente predomina en forma autótrofa en un ecosistema acuático , principalmente en zonas con altos niveles de concentración de contaminantes por aguas residuales, puede haber aumentos de niveles de biomasa bacteriana y en otros casos como en zooplancton herbívoro puede generar una biomasa baja y demostrar que no hay relación con el contenido de nutrientes del ecosistema acuático (Painting et al., 2005),

Se ha estudiado que la eutrofización y la producción son cosas distintas y que un sistema puede ser muy productivo (con niveles altos de la comunidad trófica ) y esto no puede tener un reciclado rápido de los nutrientes y teniendo una productividad alta con biomasa baja.

Para valorar si existe un problema de eutrofización, se debe establecer un elemento de diagnóstico para determinarlo por medio de un indicador y ver que valores de variables físico químicas de la condición del ecosistema acuático se tienen, tomando en cuenta geología, clima y geografía entre otras.

## **Antecedentes**

La eutrofización y la calidad del agua son dos aspectos ecológicos a nivel mundial difíciles de tratar, ya que en medios acuáticos se consideran como uno de los deterioros más comunes en aguas superficiales, el excesivo ingreso de nutrientes como el fósforo y nitrógeno que resultan de la degradación de la materia orgánica y múltiples factores antrópicos (vertidos urbanos, agrícolas e industriales, acumulación de sedimentos) son los efectos negativos sobre los ecosistemas acuáticos, sin embargo el crecimiento de la biomasa de plantas acuáticas en medio natural es un factor que degrada la calidad del agua considerablemente.

En México regularmente se encuentran asentamientos humanos a la orilla de los ríos, lagos o presas, pero también se ubican industrias, estas tiran sus residuos industriales sin tratar, creando uno de los problemas más graves que amenazan a la vida ecológica en cuerpos de agua, no hay duda que es necesario hacer un análisis del estado trófico de todos los medios ambientales con este problema para poder prevenir un desastre ambiental.

## CAPÍTULO II

### **Eutrofización.**

La eutrofización puede tener dos orígenes, el antropológico y natural, y se encuentra estrechamente relacionada con la actividad humana. Las principales fuentes antropogénicas de nutrientes son áreas urbanas, las cuales aportan aguas residuales en las que se utilizan jabones, detergentes con alto contenido de fosfatos y zonas con actividad agrícola las cuales contribuyen con fertilizantes. Existe también la eutrofización natural que es el resultado de la descarga normal de nutrientes, sedimentos y otros materiales en los sistemas acuáticos durante millones de años.

Hay varias definiciones de la palabra eutrofización como la relación entre las concentraciones de nutrientes y aumento de la biomasa de fitoplancton.

“La eutrofización es el aumento de la tasa de crecimiento de las algas, siguiendo un ritmo más rápido de los nutrientes en el medio marino”. Steele-(1974).-

“Es el proceso de enriquecimiento de las aguas con nutrientes de las plantas, principalmente de nitrógeno y fósforo que estimula la producción primaria acuática y en sus manifestaciones más graves conduce a floraciones de algas visibles, espumas de algas , un mayor crecimiento de las algas bentónicas de los macrófitos sumergidos y flotantes” Vollenweider (1992).

La eutrofización se produce “cuando se agrega nutrientes al cuerpo de agua, siempre que no sean compuestos tóxicos y siempre que haya suficiente luz para propiciar un crecimiento de organismos autótrofos y heterótrofos.” Gray (1992).

La combinación de enriquecimiento y crecimiento de algas con alteraciones en el ecosistema “La Eutrofización es el aumento de nutrientes en el agua provocando un crecimiento acelerado de algas y especies vegetales superiores, para producir trastornos negativos en el equilibrio de los organismos presentes en el agua y la calidad del agua en cuestión”. Ospar (2003)

Se define Eutrofización como un incremento en la tasa de aporte de materia orgánica de un ecosistema. Nixon (1995)

La Eutrofización se define como el proceso de un cambio nutricional de un cuerpo de agua determinada por algún incremento de alguna fuente de nutrientes, Richardson y Jorgensen (1996).

Se caracteriza a la Eutrofización como una desviación inaceptable en la estructura, función y estabilidad de los organismos presentes en el agua y en la calidad del agua comparada con condiciones de referencia. (Andersen 2006)

Este fenómeno hoy en día se considera como un proceso de deterioro de la calidad del recurso, condicionando la utilización del mismo y ejerciendo grandes impactos ecológicos, sanitarios y económicos a gran escala. Además, trae como consecuencia una proliferación y acumulación de lirio acuático que se cataloga como un proceso de origen antrópico que va deteriorando el cuerpo de agua, añadiendo mayores cantidades de nutrientes, los cuales son elementos esenciales para el crecimiento de organismos, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y materia orgánica (MO). Dicho proceso se produce naturalmente en todo cuerpo de agua y cuya afluencia de elementos nutritivos es superior al consumo de los mismos da comienzo a la eutrofización. (Fortubel 2005).

### **Mecanismos del proceso de eutrofización.**

Cuando se presenta alta productividad se dice que es la contribución de varios tipos de productores primarios que dan comienzo a la producción primaria.

La producción primaria es un proceso bioquímico que se lleva a cabo en la fotosíntesis, en el cual la energía solar es bioquímicamente fijada y se lleva a cabo por medio de los productores primarios que son organismos que hacen entrar a la energía en un ecosistema.

La fotosíntesis es un proceso por el cual se capta energía luminosa que proviene del sol y se convierte en energía química, y por otra parte el CO<sub>2</sub>, el agua y los nitratos que las plantas

absorben reaccionan sintetizando las moléculas de carbohidratos (glucosa, almidón, celulosa, etc.) proteínas y ácido nucleico (ADN y ARN) que forman las estructuras de la planta.

Cuando se presentan altas concentraciones de nutrientes comienza una alteración de la biota y hay crecimiento excesivo de plantas acuáticas (fitoplancton), ocupando grandes extensiones que impiden que la luz penetre en el agua hasta las zonas más profundas. Por lo que de esta manera no existe el crecimiento de plantas en las profundidades de este ecosistema y se reduce la biodiversidad.

Por medio de la transparencia del cuerpo de agua se puede determinar el potencial de la producción primaria y dar una rápida respuesta del estado trófico del sistema.

Existe una relación muy fuerte entre los nutrientes, fósforo y nitrógeno total, ya que son los principales nutrientes responsables directos de la eutrofización, la variación de la concentración de algunos de ellos influye directamente en la proliferación del fitoplancton

El fósforo es el principal nutriente que limita la productividad primaria principalmente de las algas y a su vez controla la Eutrofización pero también estos procesos son controlados por el Nitrógeno.

El nitrógeno aumenta en el cuerpo de agua con la muerte del fitoplancton y se transforma en amonio el cual por medio del proceso de nitrificación se convierte en nitrato.

Cuando se habla de plantas acuáticas (fitoplancton) se sabe que hay una disminución del potencial hidrógeno, temperatura superficial y niveles de oxígeno disuelto, por lo que este último reduce los compuestos químicos más oxidados y disminuye a su vez los niveles de nitratos y sulfatos pero también incrementa los niveles de amoníaco.

Se puede decir que la fotosíntesis es un proceso mediante el cual los productores primarios forman su propia materia a partir de la luz, CO<sub>2</sub> y nutrientes, el cual da como resultado liberación de cantidades proporcionales de oxígeno al ecosistema.



El dióxido de carbono que utilizan los productores es tomado del medio ambiente considerando que de cada 3 moléculas de  $\text{CO}_2$ , dos son utilizada en la fotosíntesis y una precipita como  $\text{CaCO}_3$  (Cole, 1998). Sin luz solar no se podría llevar a cabo la fotosíntesis y los nutrientes son los principales agentes de la productividad primaria esta última se puede medir mediante la cuantificación de la cantidad de oxígeno producido por el fitoplancton en un tiempo determinado.

La pérdida de oxígeno se da por el fitoplancton el cual está compuesto por organismos fotosintéticos que producen oxígeno como cualquier planta acuática y como este crece rápidamente, cubre la superficie y esta se satura del gas y el oxígeno se libera cuando queda atrapado en las algas filamentosas y la fotosíntesis del fitoplancton no abastece de oxígeno a las aguas más profundas excepto en primavera y otoño.

En condiciones buenas el fitoplancton puede reproducirse y duplicarse en 24 horas y alcanzar su máxima densidad poblacional y el crecimiento es muy rápido por lo que su decaimiento también es rápido, ya muerto se asienta y se va al fondo, ahí produce depósitos de detritos, estos generan un gran número de descomponedores la mayoría bacterianos los cuales crecen rápidamente y demandan nuevo oxígeno disuelto que se consume con el proceso de respiración el cual lleva a un inmediato agotamiento del recurso y los peces mueren como consecuencia. Por otra parte las bacterias aeróbicas estrictas aumentan y se tiene mayor demanda de oxígeno por lo que crean un ambiente sin oxígeno y en el fondo se genera un ambiente anaerobio en el cual las bacterias anaerobias producen gases como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), anhídrido sulfuroso ( $\text{H}_2\text{S}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y  $\text{CO}_2$ , también existe oxidación de materia orgánica y de otros compuestos, los cuales también demandan oxígeno. Un parámetro biológico que indica la calidad del agua es el Fitoplancton, su biomasa tiene una estrecha relación positiva con el incremento de nutrientes, por lo que si aumentan los nutrientes hay un incremento de dicha planta, pero si hay una disminución de nutrientes el Fitoplancton no prolifera.

Se puede decir que la eutrofización es un proceso dinámico que mantiene una estrecha relación con la llegada de nutrientes al ecosistema (fósforo y nitrógeno) y como anteriormente se mencionó causan un grave problema cuando este abunda más del que se necesita y por consecuencia un efecto negativo a la calidad del agua.

## Formas iónicas de compuestos.

Las formas iónicas (reactivas) de nitrógeno inorgánico que se presentan en un ecosistema por lo regular son: amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Ambos iones son consecuencia del ciclo del nitrógeno sin embargo la actividad humana han alterado a estos.

El fósforo se presenta en el agua como fosfatos se considera como el principal nutriente limitante para el crecimiento de algas pero también el nitrógeno puede actuar como nutriente limitante por lo tanto cuando se produce una entrada excesiva de nitrógeno el valor del cociente N:P suele aumentar considerablemente. Otros elementos como el Si y Fe también pueden influenciar en el crecimiento y proliferación de algas pero en menor relevancia.

Cuando hay concentraciones elevadas de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  pueden contribuir al desarrollo, abundancia y mantenimiento de los productores primarios, por otro lado afectan el crecimiento, la sobrevivencia y reproducción de los animales acuáticos resultando toxicidad directa de estos compuestos nitrogenados (Anderson *et al* 2002).

El amonio ionizado ( $\text{NH}_4^+$ ) y el amoniaco no ionizado ( $\text{NH}_3$ ), dependen básicamente del pH y de la temperatura del agua (Russo, 1985). El amoniaco no ionizado es muy tóxico para los animales acuáticos especialmente los peces ya que destruye el epitelio branquial, inhibe la producción de ATP y reduce sus niveles, hay alteración de la actividad osmorreguladora entre otras, pero cuando hay niveles elevados de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en el medio acuático pueden reducir la susceptibilidad de los animales a la toxicidad del amoniaco (Camargo -Alonso, 2001-2006).

El nitrato es también tóxico para los peces debido a la conversión de los pigmentos respiratorios ya que son incapaces de transportar y liberar el oxígeno, pero antes de esto el nitrato debe de convertirse en nitrito y este presenta menos toxicidad dentro del animal acuático, sin embargo los animales marinos son más tolerantes a la toxicidad del nitrato que los animales de agua dulce.

La eutrofización es una de las problemáticas ambientales más importantes de lagos y embalses, se considera como el deterioro más común de las aguas superficiales. Es causada por el excesivo ingreso de fósforo y nitrógeno proveniente de la degradación de la materia

orgánica presentes en los desechos vertidos en ellas y/o de las escorrentías de zonas agropecuarias; esto tiene distintos efectos negativos sobre los ecosistemas acuáticos, una de las consecuencias más visible es la proliferación de algas y macrófitas (plantas acuáticas) cuya presencia degrada la calidad del agua e interfiere con el uso de la misma para pesca, recreación, industria, agricultura y para consumo .

El proceso de deterioro de la calidad del recurso, condiciona la utilización del mismo y ejerce grandes impactos ecológicos, sanitarios y económicos a escala regional. Además, trae como consecuencia una proliferación y acumulación de lirio acuático se cataloga como un proceso de origen antrópico que va deteriorando el cuerpo de agua, añadiendo mayores cantidades de nutrientes, los cuales son elementos esenciales para el crecimiento de organismos, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y materia orgánica (MO). Dicho proceso se produce naturalmente en todo lago cuya afluencia de elementos nutritivos sea superior al consumo de los mismos. (Fortubel 2005).

## **Niveles de Eutrofización**

Cuando el cuerpo de agua posee las siguientes características: pocos nutrientes, niveles bajos de algas, macrófitas, buena transparencia, oxígeno abundante y bajos niveles de materia orgánica, se dice que está en estado oligotrófico. Los cuerpos de agua mesotróficos presentan características intermedias, muchas veces con abundancia de peces debido a los niveles elevados de producción de materia orgánica y oxígeno disuelto, sin embargo, cuando se enriquece de nutrientes, altos niveles de algas, macrófitas y materia orgánica, surgen cambios considerables, se favorece el crecimiento y proliferación de plancton, lo que tiene como consecuencia aumento de turbidez del agua, a esto se le llama estado eutrófico. Este estado hace que no entre luz a ciertos niveles causando la muerte de la vegetación acuática, ya que sin luz no se puede llevar a cabo el proceso de fotosíntesis. Todo lo anterior conlleva a la pérdida de alimentos, hábitats y oxígeno disuelto (OD).

Cuando encontramos un cuerpo de agua en estado oligotrófico y se enriquece de nutrientes , se tienen varios cambios en este ecosistema, existe una estrecha relación nutrientes-fitoplancton por lo que hay un crecimiento y multiplicación del lirio acuático, comienza a

existir turbiedad del agua y con ello poca penetración de luz solar y hay desaparición de vegetación acuática sumergida y como consecuencia pérdida de alimento para los organismos que existen en este hábitat y oxígeno disuelto que proviene de la fotosíntesis.

### **Algas como indicadores de calidad de un cuerpo de agua**

La pérdida de oxígeno disuelto es un problema severo que se agrava por la siguiente razón: el fitoplancton está compuesto de organismos fotosintéticos que se consideran como los primeros de la cadena alimenticia de los ecosistemas acuáticos y dentro de los grupos más abundantes del fitoplancton, se encuentran a las cianobacterias (algas verdes-azules) formando grandes colonias, por lo regular están presentes en cuerpos de aguas con altos niveles tróficos, y además forman parte de la captura del carbono al fijar el CO<sub>2</sub> atmosférico.

### **Lirio acuático**

El lirio acuático es una planta libre flotadora que pertenece a las Pontederiaceae, su gran rapidez de crecimiento, su poder de propagación y su capacidad de adaptación, le permite cubrir en corto tiempo la superficie de un cuerpo de agua, modificando la calidad del agua, en el estudio comparativo de algunas variables en Xochimilco, llegan a la conclusión que cuando hay presencia de lirio acuático en un cuerpo de agua, ocurre que la temperatura sub-superficial, el potencial de hidrógeno y los niveles de oxígeno, propician que los compuestos químicos más oxidados muestren una tendencia a disminuir como sería el caso de los nitratos y los sulfatos y que por otra parte tiendan a elevarse los niveles de amonio. (Agustín, Quiroz-Flores, María Guadalupe Miranda –Arce y Antonio Lot-Helgueras -2008)

### **Causas que contribuyen a la Eutrofización.**

Se puede decir que hay muchas causas que contribuyen a la eutrofización entre ellas:

- Descarga de aguas residuales o industriales, las cuales son las causantes del cambio trófico en el cuerpo de agua receptor.

- Uso excesivo de fertilizantes en cultivos. El excedente es lavado lo que hace un aporte excesivo de nitrógeno (sales de nitrato y amonio) y fósforo (fosfato) generando una fuerte contaminación.
- Deforestación que aumenta la erosión en suelos agrícolas y disminuye el reciclaje de nutrientes en la cuenca, aumentando su ingreso al cuerpo de agua.
- Presencia de fitoplancton o lirio acuático disminuye temperatura, potencial de hidrogeno y los niveles de oxígeno creando un ambiente adecuado para un estado eutrófico del ecosistema.

### **Factores que afectan el grado de Eutrofización:**

- Los climas cálidos favorecen el proceso.
- Los cuerpos de agua pocos profundos y/o de bajo caudal son más propicios para que se de este proceso.
- En lugares donde predominan rocas sedimentarias, favorecen el proceso.
- En áreas de drenajes existe un mayor aporte de fósforo por arrastre de corrientes de agua.

### **Presencia de otros compuestos o elementos**

La presencia de gases ambientales tales como óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), en la interface agua-atmósfera favorecen la formación de iones nitrato (NO<sub>3</sub>), y sulfato (SO<sub>4</sub>), cuando se ponen en contacto con los suelos se llegan a formar sales solubles al secuestrar los iones del mismo, lo que favorece el comienzo a un proceso de eutrofización. La conjunción de turbidez, DBO<sub>5</sub>, nitrógeno y fósforo se manifiesta como un buen indicador del grado de avance del proceso de eutrofización, mientras que la evaluación de macrófitas y fitoplancton proporcionan datos valiosos sobre la pérdida de biodiversidad.

Otro de los parámetros que se deben medir en la eutrofización es la proliferación de cianobacterias ya que desempeñan un papel importante dentro del problema de muertes de peces en verano. Estos florecimientos contribuyen a un amplio rango de problemas, y

también producen compuestos solubles tóxicos. Estos compuestos pueden matar al ganado y constituir un serio peligro para la salud humana (Carpenter, *et al.*, 1998).

El desarrollo de estos organismos provoca opacidad, lo que impide que la luz penetre hasta regiones profundas de la columna de agua, impidiendo que se lleve a cabo la fotosíntesis en lugares menos profundos por lo tanto genera una disminución en la producción de oxígeno libre en estas zonas; simultáneamente aumenta la actividad metabólica consumidora de oxígeno de los organismos descomponedores, que empiezan a recibir excedentes de materia orgánica que fueron generados en la superficie. El fósforo principalmente se considera como nutriente limitante para el florecimiento de algas en los ecosistemas acuáticos, pero hoy en día existe evidencia en la cual se demostró que el nitrógeno puede actuar también como un nutriente limitante sobre todo en aquellos casos en los cuales hay un enriquecimiento mayor de fósforo, disminuyendo el valor del cociente N:P y hay ocasiones que sucede lo contrario se han encontrado ecosistemas acuáticos en los que el nitrógeno es el nutriente limitante principal, pero cuando se produce entradas abundantes de nitrógeno el valor del cociente N:P aumenta considerablemente, también se ha detectado que la presencia de otros elementos químicos como el Si y Fe también ayudan al crecimiento de algas pero en menor proporción.

El fósforo (P) puede estar presente en forma de orto-fosfatos  $(\text{PO}_4)^{3-}$  y fósforo orgánico. Los fosfatos son usados por plantas acuáticas, principalmente por el fitoplancton que lo obtiene cuando los sistemas celulares de incorporación del nutriente se activan y el  $(\text{PO}_4)^{3-}$  disponible es rápidamente utilizado por los organismos. Como resultado, la concentración de  $(\text{PO}_4)^{3-}$  ambiental decrece hasta un nivel estacionario, llamado valor umbral. La incorporación y el crecimiento posterior es posible solo si la concentración ambiental de  $(\text{PO}_4)^{3-}$  excede este valor umbral. (Camargo 2007)( Xiao-e YANG",Xiang WU,Hu-lin HAO,Zhen-li He. Jan 28, 2008).

La eutrofización se ve afectado por procesos hidrológicos, la dinámica del sistema ecológico, los flujos (entradas y salidas), el viento, y va relacionado con el aumento o disminución de nutrientes por lo tanto resulta ser necesario el control de estos.

## **Necesidad de preservar la calidad del agua.**

La calidad del agua se ha convertido en un asunto mundial, la contaminación del agua debilita o destruye los ecosistemas naturales que sustentan la salud humana, la producción de alimentos y la biodiversidad.

Prevenir la contaminación de los recursos hídricos por medio de la reducción o la eliminación de contaminantes que vierten en los ríos es casi siempre la manera más barata, fácil y eficaz de conservar la calidad del agua.

La calidad del agua se considera como una característica no absoluta, se basa principalmente en el tipo de uso que se le dará a este recurso, cada uso requiere diferente estándar de calidad.

Desafortunadamente los países en desarrollo solo tratan el 10% de su agua residual, en México la Comisión Nacional del Agua realiza las mediciones sistemáticas de la calidad del agua. Con el fin de evaluar la calidad o grado de contaminación del este líquido se han desarrollado varios índices de calidad del agua denominados ICA, el cual agrupa 18 parámetros fisicoquímicos entre ellos están demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, coliformes fecales, fosfatos, pH y sólidos suspendidos el índice valora en una escala de 0 a 100 donde a mayor valor, mejor calidad.

La demanda bioquímica de oxígeno a cinco días ( $DBO_5$ ) es parámetro que se utiliza para estimar materia orgánica que es degradada por procesos biológicos. Un aumento en la  $DBO_5$  provoca una disminución en la cantidad de oxígeno disuelto en agua, que es indispensable para que se mantenga la vida en los ecosistemas acuáticos.

Para evaluar la calidad del agua se consideran tres indicadores principalmente como son: La demanda bioquímica de oxígeno ya mencionada, demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST) un aumento en este último parámetro puede ocasionar turbiedad en el agua, también disminuye el paso de la luz solar a través del agua inhibiendo el proceso de la fotosíntesis de organismos acuáticos, para la producción de oxígeno disuelto. (CONAGUA)

La DQO se utiliza para medir la cantidad de materia orgánica que es degradada por medios químicos y los SST miden todo aquellos sólidos que no se disuelven en el agua y quedan suspendidos en ella. (CONAGUA 2014,)

El aumento de la biomasa, clorofila o densidad celular siempre están presentes como los primeros pasos de un procesos de eutrofización, sin embargo cuando se habla del proceso biológico decimos que hay un enriquecimiento de nutrientes en el ecosistema y por lo tanto un crecimiento de fitoplancton, por lo consiguiente esto da como resultado cambios sensibles al ambiente y a la proliferación de la biomasa fitoplanctonica, la composición y la abundancia de los mismos por lo que se consideran como indicadores de calidad del agua .

El parámetro de oxígeno disuelto se utiliza para describir cualitativamente la calidad del agua en ambientes naturales, la sobresaturación de este se debe a la alta actividad fotosintética.

Las concentraciones bajas de oxígeno disuelto pueden ser un indicador de la contaminación por materia orgánica y una buena calidad del agua implica que el porcentaje de oxígeno disuelto debe de estar entre 89% y 90 % esto significa que no ha síntomas de eutrofización (María Elena Perez y Margarita Teutli 2013)

## CAPITULO III

### Problemática

En la ciudad de Puebla la presa de Valsequillo comenzó a construirse en 1941 por la entonces comisión nacional de irrigación y se terminó en 1946. Se construyó con el fin de beneficiar con riego a más de 33 mil hectáreas del Distrito de riego 30 llamados “Valsequillo”, de ahí surge su nombre popular; sin embargo su nombre oficial es Embalse Manuel Ávila Camacho. Dicha presa es el cuerpo de agua más grande del estado de Puebla. El embalse se ubica entre 18°53’ y 18°57’ de latitud Norte, y entre 98°06’ y 98°15’ de longitud Oeste, a una altitud de 2,100 msnm. (CNA, 1996). Por lo cual se encuentra localizada al Sur del Municipio de Puebla y limita al norte con Cuautinchán y Tepeaca, al Sur con Tzicatlacoyan y al Oriente con Mixtla y Santa Isabel Tlaltenpatla.

En un inicio esta presa se diseñó con una capacidad de 410 millones de m<sup>3</sup> y con un espejo de 200 hectáreas, para el año 1972 se calculó que tenía 300 millones de m<sup>3</sup>, en el año 1992 tenía 200 millones de m<sup>3</sup>, hasta el momento se ha determinado que su capacidad es de 53 millones de m<sup>3</sup>, se habla que cuando un embalse o una presa pierde el 90% de su capacidad de almacenamiento está llegando al final de su vida útil.

En el área del este embalse concluyen los ríos Zahuapan, San Francisco, Atoyac y Álse seca, estos dos últimos depositan diariamente 107 toneladas de contaminantes, además de una serie de drenajes provenientes de diferentes barrancas al sur del Estado de Puebla). Las aguas que escurren hacia el embalse por la parte norte son del río Atoyac con un flujo continuo y del río Alse seca con un flujo intermitente, estas aportan una carga contaminante importante. Hoy en día el riego proveniente de esta presa se encuentra restringido debido al alto grado de contaminación del agua, esto es consecuencia del continuo vertido de agentes tóxicos a este sistema acuático, los cuales han hecho que la presa se transforme en un depósito de agua de bajo contenido de oxígeno (CONAGUA, 2013, Mangas 2000).



Fig. 1 Ríos que desembocan en la presa de Val sequillo (Mangas-año)

## JUSTIFICACIÓN

El alto nivel de contaminación y el deterioro de la calidad del agua de la presa de Valsequillo causan efectos negativos en la biodiversidad del ecosistema y en los cultivos que se riegan con esa agua (Distrito 33), afectando la salud humana y destruyendo el medio ambiente.

## HIPÓTESIS

El nivel trófico de la presa de Valsequillo es provocado por el exceso de nutrientes procedentes de diferentes fuentes de contaminación y la falta de calidad del agua está destruyendo la biodiversidad acuática.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar e identificar el grado trófico y calidad del agua en la presa de Valsequillo, para establecer un diagnóstico y proponer una solución.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar los parámetros físicos, químico.
- Recolección las muestras de agua.
- Análisis de resultados.
- Calcular el IE (Índice de Eutrofización) y el ICA (Índice de calidad del agua).

## CAPITULO IV

### METODOLOGÍA

#### Índice de Eutrofización y calidad del agua

El área de estudio comprende la presa de Valsequillo, en dicha presa llegan dos los cuales llegan con una descarga de contaminantes de 107 toneladas por día, la presa tiene una cortina de tipo gravedad y tiene 15 Km de distancia de largo por 7 Km máximo de ancho

El índice de eutrofización por nutriente (IE), de Karydis et al., (1983), fue ideado con los siguientes criterios:

- a) Especificidad para cada nutriente
- b) Considera el aporte del nutriente en áreas distintas
- c) Adimensional y se aplica en varios tipos de agua

Altamente sensible a los efectos de eutrofización y sencillo al manipular datos y realizar su cálculo (Karydis *et al.*, (1983)

La expresión matemática del IE está dada por la ecuación:

$$IE = \frac{c}{c+xi} + \text{Log A} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

IE: Es el índice de eutrofización por nutriente de cada punto de muestreo durante el periodo de estudio, compuesto por M muestreos

A: Número de puntos de muestreo durante el periodo de estudio

$C_i$ : Es el logaritmo de la concentración total del nutriente durante el periodo del estudio es decir la suma de las concentraciones  $X_{ij}$  del nutrimento obtenidos en cada una de las  $A_i$ , estaciones durante los  $M_j$  muestreos.

$$C = \log \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M X_{ij}$$

$X_i$ : Es la concentración total del nutriente obtenido en la estación  $A_i$  durante los  $M$  muestreos.

$$X_i = \sum_{j=1}^M X_{ij}$$

Su significado para los valores de  $IE < 3$  el estado trófico es oligotrófico, para  $3 \leq IE \leq 5$  es mesotrófico y para  $IE > 5$  Eutrófico

### Calidad del agua:

Su expresión matemática es:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$C_i$ : Valor normalizado del parámetro

$P_i$ : Peso relativo asignado a cada parámetro

## Calidad del agua

Los parámetros a medir para estimar la calidad del agua son:

1.-**Temperatura.**-en aguas residuales, el método de prueba normado establece el procedimiento o para realizar la medición en el sitio donde se encuentra el agua, y el resultado se expresa en grados centígrados (°C), (NMX-AA-007-SCFI-2000).

2.-**Color.**- Es una característica física del agua producida por sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran en solución o en forma de partículas coloides.(NMX-AA-045-SCFI-2001)

3.- **pH.**- se fundamenta en la existencia de una diferencia de potencial entre las dos caras de una membrana de vidrio, expuestas a disoluciones acuosas que difieren en su valor de pH. En primera aproximación, a temperatura constante, la magnitud de esta diferencia de potencial es directamente proporcional a la diferencia de pH entre dichas disoluciones (NMX-AA-008-SCFI-2011).

4.-**Oxígeno disuelto (OD)** en aguas residuales, el método iodo métrico es el método de referencia para la medición del oxígeno disuelto en agua (NMX-AA-012-SCFI-2001).Sin embargo se cuenta con el equipo (Hach Met. ) que permite medirlo en el sitio

5.-**Nitrógeno.**- es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos fotosintéticos en cuerpos de agua puede estimular el crecimiento de algas y otras plantas acuáticas (NMX-AA-026-SCFI-2010).

6.-**Fósforo.**-es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos, por lo que la descarga de fosfatos en cuerpos de aguas puede estimular el crecimiento de macro y microorganismos fotosintéticos en cantidades nocivas. (NMX-AA-029-SCFI-2001).

7.-**Alcalinidad.**- es una medida de la capacidad que tiene el agua para absorber iones hidrógeno sin tener un cambio significativo en su pH (capacidad para neutralizar ácidos). Las sustancias que le imparten alcalinidad al agua son fundamentalmente, los iones carbonato,

bicarbonato e hidróxido. Algunas otras materias también le imparten alcalinidad al agua, como son los silicatos, boratos y fosfatos.(NMX-AA-036-SCFI-2001)

8.-**Cloruros**.- La concentración de cloruros es una medida específica de la salinidad de las descargas de las industrias. El incremento de cloruros en el agua ocasiona el aumento de la corrosividad del agua. El alto contenido de cloruros impide que el agua sea utilizada para el consumo humano o el ganado.(NMX-AA-073- SCFI-1981)

9.-**Conductividad**.- Es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica.(NMX-AA-093-SCFI-2000)

10.-**Dureza**.- Es causada principalmente por la presencia de iones de calcio y magnesio. Algunos otros cationes divalentes también contribuyen a la dureza como son, estroncio, hierro y manganeso pero en menor cantidad. La dureza la adquiere el agua a su paso a través de las formaciones de roca que contienen los elementos que la producen.(NMX-AA-072-SCFI-1980).

11.- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**.- Dado que la materia orgánica no solo son carbohidratos, una manera más práctica de analizar el consumo de oxígeno en la degradación de la materia orgánica en general, es medir los parámetros de DBO<sub>5</sub>.(NMX-AA-028- SCFI-1981).

12.-**Sólidos totales disueltos (STD)** Se define como toda materia que queda como residuo de evaporación a 103-105° C. Los sólidos totales pueden clasificarse como sólidos suspendidos, la fracción de sólidos suspendidos incluyen los sólidos sedimentables que se depositarán en el fondo del ecosistema (NMX-AA-034-SCFI-1981)

13.-**Sólidos suspendidos totales (SST)**.- Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de lodos y de condiciones anaerobias cuando se vierten aguas residuales sin tratar a un cuerpo de agua (NMX-AA-034- SCFI-1981).

14.-**Turbidez**.- es producida por materia en suspensión, como arcillas, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados. La turbidez se utiliza para indicar la calidad del agua y la eficiencia de la filtración para

determinar si hay presencia de organismos que provocan enfermedades (NMX-AA-W-038-SCFI-2001)

15.-**Demanda química de oxígeno (DQO).**-Es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica en agua expresada en mg/L y se emplea un oxidante (NMX-AA-030-SCFI-1981)

17.-**Sulfatos** Están presentes en forma natural en numerosos minerales y se utilizan comercialmente, sobre todo en las industrias químicas, Se descargan a través de los desechos industriales y de los depósitos atmosféricos y la mayor parte se forma al moverse el agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales (NMX-AA-128-SCFI-2006)

El ICA tiene como objetivo estimar el grado de calidad del agua con el propósito de conocer problemas de contaminación.

**Para el cálculo del ICA se deben seguir los siguientes pasos:**

- a) Se debe asignar a cada parámetro descrito anteriormente un coeficiente de ponderación descritos abajo

**Tabla 1 Coeficientes de ponderación por parámetros (CONAGUA)**

Parámetro	Clasificación	Parámetro	Clasificación
pH	Material iónico	Nitrógeno de nitratos	Nutrientes
Color	Material suspendido	Nitrógeno amoniacal	Nutrientes
Turbiedad	Material suspendido	Fosfatos totales	Nutrientes
Demanda Química de Oxígeno	Materia Orgánica	Cloruros	Material iónico
Sólidos Suspendidos	Material suspendido	Oxígeno Disuelto	Materia orgánica
Sólidos Disueltos	Material iónico	DBO	Materia orgánica
Conductividad Eléctrica	Material iónico	Alcalinidad	Material iónico
Dureza Total	Material iónico		

- b) Se le asigna después un peso relativo a cada parámetro descrito anteriormente Tabla 2.

**Tabla 2 Peso relativo asignado a cada parámetro (CONAGUA)**

Parámetro	Importancia	Parámetro	Importancia
pH	1.0	Nitrógeno de Nitratos	2.0
Color	1.0	Nitrógeno Amoniacal	2.0
Turbiedad	0.5	Fosfatos Totales	2.0
Alcalinidad	1.0	Cloruros	0.5
Sólidos Suspendidos	1.0	Oxígeno Disuelto	5.0
Sólidos Disueltos	0.5	DBO	5.0
Conductividad Eléctrica	2.0		
Dureza Total	1.0		

- c) Se procede a calcular las ecuaciones (Ver Anexo)  
d) Valoración de criterios de Cálculos( Ver Anexo)

En cada punto se llevará a cabo lo siguiente:

- 1.-Realizar visitas al sitio (Presa de Valsequillo) para coleccionar muestras de agua que permitan medir concentraciones de los parámetros mencionados arriba para establecer su estado trófico y calidad del agua
- 2.- A partir de los resultados obtenidos de las concentraciones de nutrientes en cada muestreo, realizar un análisis estadístico y el cálculo del Índice Eutrófico.

Los métodos utilizados para realizar los análisis físicos y químicos, en muestras de agua, se basaran en las Normas Oficiales existentes para la determinación de los cinco parámetros a

analizar: temperatura, pH, Oxígeno disuelto, Fosforo especies de nitrógeno en forma de nitrato y amoniaco.

## Evaluación del ICA

Como se ha mencionado el ICA indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y esta expresado como un porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento y para el agua en excelentes condiciones cercanas a 100. La tabla 3 muestra el rango de clasificación del ICA de acuerdo al criterio general y los colores asignados en cada caso. La tabla 4 presenta la escala de clasificación del índice de calidad del agua considerando un criterio general y los distintos usos que se les da al agua.

**Tabla 3 Rango de clasificación del ICA de acuerdo al criterio general (CONAGUA)**

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

**Tabla 4 Escala de clasificación del Índice de Calidad del Agua (CONAGUA)**

ICA	Criterio General	Abastecimiento Público	Recreación	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola
100		No requiere			No requiere
90	No contaminado	Purificación Ligera	Aceptable para cualquier deporte	Aceptable para todos los Organismos	Purificación para algunos procesos
80	Aceptable	Mayor	Aceptable no	Aceptable excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para industria normal
70	Poco contaminado	Necesidad de Tratamiento	Recomendable	Dudoso para especies sensibles	Tratamiento en la mayor parte de la industria
60	Contaminado	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo organismos muy resistentes	Uso muy restringido
50			Sin contacto con el agua		
40	Altamente contaminado	No	Señal de contaminación	No	
30	Contaminado	Aceptable	No	Aceptable	No
20			Aceptable		Aceptable
10					

Con el cálculo del índice de eutrofización por nutriente se concluye el estado trófico de la presa Manuel Ávila Camacho de cada uno de los sitios de estudio.

Las muestras no deben tomarse demasiado cerca de la orilla, sino más cerca de la corriente principal, para evitar que las condiciones especiales de temperatura y de concentración de oxígeno disuelto, en el que influyen tanto la vegetación de la orilla como las algas, afecten a la muestra.

Para conocer que influencia tienen estos ríos y la afectación sobre la presa de Valsequillo, se tomó muestras aguas arriba, en donde llegan y aguas abajo del mismo, donde la mezcla se detectó homogénea. Existen métodos normalizados de los requerimientos específicos para la toma de muestras de aguas y su manipulación.

También existe una normativa específica referente al recipiente a utilizar (vidrio, plástico, etc.) y a la cantidad mínima de agua que debe tomarse para realizar un análisis específico.

Para llevar a cabo el estudio se establecieron 10 puntos de la presa de Valsequillo en cada punto se tomará el muestreo en dos diferentes profundidades la primera a 1 metro 50

centímetros y la segunda a 2 metros de profundidad con el equipo multiparamétrico modelo HI 9829, se pretende establecer en cada punto índice de calidad y nivel de eutrofización.

## **CAPITULO V**

### **Resultados y Discusión**

Se analizaron las muestras de agua recogidas en la presa, unos parámetros se determinaron en el lugar y otros se analizaron en laboratorio con sus respectivos cuidados de traslado. Las tomas se efectuaron en el centro de la corriente y a una profundidad de 1.50 m y 2 m.

Se realizaron dos muestreos en un año en diferentes estaciones, el primero en el mes de Mayo del 2015 y el segundo en el mes de Diciembre 2015 se evaluó así porque se tenían que hacer en temporada de lluvia y en temporada de sequía para hacer comparación. En cada sitio se tomaron 2 muestras simples de agua y se determinaron con el aparato medidor multiparamétrico portátil HI 9829 algunos parámetros como son: potencial de oxidación, % de oxígeno disuelto, oxígeno disuelto en ppm, conductividad, resistividad, sólidos disueltos totales, salinidad, turbiedad, temperatura, presión, estas medidas se tomaron a dos profundidades 1.50m y 2 m y N-amoniaco, N-nitratos, fosfatos, DBO, alcalinidad, sulfatos, color, cloruros, dureza, DQO, sólidos suspendidos se hicieron en el laboratorio.

#### **Primer Muestreo - Mayo 2015**

Se muestrearon 10 sitios con las ubicaciones citadas en la tabla 5 se tomaron 2 muestras simples en cada punto a dos profundidades 1.50 m (A) y 2 m (B) se almacenaron de acuerdo a la norma mexicana de muestreo 014 (NMX-AA-014-1980 muestreo) y se determinaron diferentes parámetros en el mismo sitio con el equipo.

**Tabla 5 Datos del Primer Muestreo Mayo 2015**

Datos del muestreo	Tipo de muestra	Temperatura °C	Profundidad m	Ubicación	
1A y 1B	simple	21.5 y 21.48	1.50m y 2m	N 18°54' 7.9812'' L 98° 10' 0.2208''	
2A y 2B	simple	20.88 y 20.66	1.50m y 2m	N18° 54' 56.538'' L98° 6' 33.7932''	
3A y 3B	simple	20.66 y 20.64	1.50m y 2m	N18°53'18.1568'' L98°10'27.2012''	
4A y 4 B	simple	20.67 y 20.66	1.50m y 2m	N18°53''46.0036'' LW98°10'15.1248''	
5A y 5B	simple	20.79 y 20.72	1.50m y 2m	N18°53'20.52'' LW98°10'5.1672''	
6A y 6B	simple	20.75 y 20.74	1.50m y 2m	N18°53'38.2812'' LW98°11'6.4572''	
7A y 7B	simple	20.91 y 20.76	1.50m y 2m	N18°53'32.8992'' LW98°10'38.5212''	
8A y 8B	simple	20.67 y 20.61	1.50m y 2m	N18°54'38.0952'' LW98°10'34.9212''	
9A y 9B	simple	20.79 y 20.75	1.50m y 2m	N18°55''52.3632'' L98°10'27.3936''	
10A y 10B	simple	21.52 y 21.48	1.50m y 2m	N18°54'34.542'' L98°9'42.7248''	

**Tabla 6 Punto de muestro 2 Diciembre 2015**

Datos del muestreo	Tipo de muestra	Temperatura °C	Profundidad m	Ubicación	
1C y 1D	simple	17.51 y 17.52	1.50m y 2m	N 18°54' 7.9812'' L 98° 10' 0.2208''	
2C y 2D	simple	17.53 y 17.49	1.50m y 2m	N18° 54' 56.538'' L98° 6' 33.7932''	
3C y 3D	simple	17.27 y 17.26	1.50m y 2m	N18°53'18.1568'' L98°10'27.2012''	
4C y 4 D	simple	17.38 y 17.36	1.50m y 2m	N18°53''46.0036'' LW98°10'15.1248''	
5C y 5D	simple	17.40 y 17.32	1.50m y 2m	N18°53'20.52'' LW98°10'5.1672''	
6C y 6D	simple	17.61 y 17.60	1.50m y 2m	N18°53'38.2812'' LW98°11'6.4572''	
7C y 7D	simple	17.51 y 17.47	1.50m y 2m	N18°53'32.8992'' LW98°10'38.5212''	
8C y 8D	simple	17.42 y 17.40	1.50m y 2m	N18°54'38.0952'' LW98°10'34.9212''	
9C y 9D	simple	17.40 y 17.40	1.50m y 2m	N18°55''52.3632'' L98°10'27.3936''	
10C y 10D	simple	17.49 y 17.48	1.50m y 2m	N18°54'34.542'' L98°9'42.7248''	

**Tabla 7 y 8 Datos de Pruebas realizadas en el Laboratorio de los dos muestreos**

Muestra	Cloruros - May (ppm)	Cloruros-Dic (ppm)	Alcalinidad-May (mg/l)	Alcalinidad-Dic (mg/l)	Color-May (PtCo)	Color-Dic (PtCo)	Turbiedad-May (FTU)	Turbiedad-Dic (FTU)	Dureza-May (mg/l)	Dureza-Dic (mg/l)	Sólidos Susp-May (mg/l)	Sólidos Susp-Dic (mg/l)	Sulfatos-May (mg/l)	Sulfatos-Dic (mg/l)
1	99.01849688	221.801433	310	410	26	32	6.4	8.7	0.9	2	60	20	18	17
2	120.1424429	195.3965005	305	395	31	29	4.5	7.7	1	1.3	0	10	17	18
3	117.5019496	174.2725545	315	400	34	30	6.5	6.9	1	2	0	10	18	19
4	117.5019496	211.23946	320	440	30	30	6.7	8.3	1	2.2	0	0	18	18
5	125.4234294	245.5658723	315	440	33	29	7.4	9.6	0.9	1.8	0	0	18	19
6	112.2209631	237.6443925	315	400	42	27	7.6	9.3	1.2	2.3	0	0	18	17
7	118.8221963	200.677487	315	445	31	40	9	7.9	1.2	3.4	10	0	19	17
8	109.5804699	190.115514	315	435	31	35	7.5	7.5	1	2	0	0	19	18
9	110.9007165	264.049325	320	405	38	47	11.1	10.3	1.5	2.5	0	0	17	19
10	114.8614564	219.1609398	315	450	30	38	7.1	8.6	0.8	1.6	0	0	19	19

Muestra	Fosfatos-May (mg/l)	Fosfatos-Dic (mg/l)	N-Amonio-May (mg/l)	N-Amonio-Dic (mg/l)	N-Nitratos-May (mg/l)	N-Nitratos-Dic (mg/l)	DBO <sub>inicial</sub> -May (mg/l)	DBO <sub>inicial</sub> -Dic (mg/l)	DBO <sub>5</sub> -May (mg/l)	DBO <sub>5</sub> -Dic (mg/l)	OD-May (ppm)	OD-Dic (ppm)
1	1.71	3.17	0.2	1.9	9.2	8.1	3	3	2.9	2.9	21.24504543	3.799
2	1.57	3.53	0.3	2.5	9.9	8.8	3.1	3	2.8	2.9	21.24504543	3.799
3	1.01	3.01	0.5	2.6	9.7	8.6	3	3	2.8	2.9	21.24504543	3.799
4	1.45	3.26	0.5	3	11.4	8.7	3.1	3.1	2.9	2.9	13.32491591	3.799
5	1.56	3.48	0.4	3.5	12	8.3	3.1	3	2.7	2.9	14.33681149	3.799
6	1.59	3.27	0.4	2.2	10.6	8.6	3.1	3	2.8	2.9	21.24504543	3.799
7	1.46	3.38	0.3	5.2	11	10	3.1	3	2.7	2.9	21.24504543	3.799
8	1.31	3.39	0.5	3	11.5	9	3	3	2.8	2.9	21.24504543	3.799
9	0.94	3.29	0.7	3.2	14.4	9.1	3	3	2.7	2.9	21.24504543	3.799
10	1.6	3.26	0.4	3.1	9.4	9.4	3	3	2.6	2.9	21.24504543	3.799

## Clasificación del estado trófico por cada punto de la Presa de Valsequillo (Manuel Ávila Camacho)

### Valoración del IE

Para llevar a cabo la evaluación del IE se utilizó la ecuación 1. Como se indicó se establecieron 10 estaciones de muestreo se realizó en dos estaciones del año temporada de sequía y de lluvia, (Mayo 2015- Diciembre 2015)

La valoración del Índice de grado eutrofización (IE) de acuerdo a los rangos establecidos anteriormente se clasificó de la siguiente manera:

### Puntos diagnosticados primer muestreo Mayo 2015

Con ubicación descrita en la tabla 5 anteriormente citada, se calculó su estado trófico por medio de la expresión matemática del IE (ecuación 1) los resultados siguientes, de cada punto.

**Tabla 9 Muestreo Mayo 2015**

Estación	Fosfatos( $\text{PO}_4^{3-}$ )	Amoniaco ( $\text{NH}_4^+$ )	Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )	IE
1	1.71	9.2	0.2	2.98
2	1.57	9.9	0.3	3.03
3	1.01	9.7	0.5	2.98
4	1.45	11.4	0.5	3.14
5	1.56	12	0.4	3.18
6	1.59	10.6	0.4	3.1
7	1.46	11	0.3	3.1
8	1.31	11.5	0.5	3.14
9	0.94	14.4	0.7	3.33
10	1.6	9.4	0.4	3

Tomando en cuenta sus significados para los valores de IE es: Su significado para los valores de  $\text{IE} < 3$  el estado trófico es oligotrófico, para  $3 \leq \text{IE} \leq 5$  es mesotrófico y para  $\text{IE} > 5$  Eutrófico

Se clasifico de la siguiente manera :

**Tabla 10 Primer Muestreo Mayo-2015**

Estación	El <sub>muestreo 1</sub>
1	OLIGOTRÓFICO
2	MESOTRÓFICO
3	OLIGOTRÓFICO
4	MESOTRÓFICO
5	MESOTRÓFICO
6	MESOTRÓFICO
7	MESOTRÓFICO
8	MESOTRÓFICO
9	MESOTRÓFICO
10	OLIGOTRÓFICO

Teniendo tres puntos que serian A1, A3, A10 en estado oligotrófico y 7 puntos en estado mesotrófico y tomando en cuenta un estado general de la presa se encuentra en estado mesotrófico

**Puntos diagnosticados segundo muestreo Diciembre 2015**

Con ubicación descrita en la tabla 5 anteriormente citada, se calculó por medio de la expresión matemática del IE (ecuación 1) los resultados siguientes, de cada punto.

**Tabla 11 Muestreo Diciembre 2015**

Estación	Fosfatos( $PO_4^{3-}$ )	Amoniac ( $NH_4^+$ )	Nitratos ( $NO_3^-$ )	IE
1	3.17	8.1	1.9	3.05
2	3.53	8.8	2.5	3.16
3	3.01	8.6	2.6	3.12
4	3.26	8.7	3	3.16
5	3.48	8.3	3.5	3.18
6	3.27	8.6	2.2	3.11
7	3.38	10	5.2	3.39
8	3.39	9	3	3.19
9	3.29	9.1	3.2	3.2
10	3.26	9.4	3.1	3.21

Tomando en cuenta sus significados para los valores de IE es: Su significado para los valores de  $IE < 3$  el estado trófico es oligotrófico, para  $3 \leq IE \leq 5$  es mesotrófico y para  $IE > 5$  Eutrófico Se clasifico de la siguiente manera:

**Tabla 12 Muestreo Diciembre 2015**

Estación	$EI_{\text{muestreo 2}}$
1	MESOTRÓFICO
2	MESOTRÓFICO
3	MESOTRÓFICO
4	MESOTRÓFICO
5	MESOTRÓFICO
6	MESOTRÓFICO
7	MESOTRÓFICO
8	MESOTRÓFICO
9	MESOTRÓFICO
10	MESOTRÓFICO

Teniendo todos los puntos en este segundo muestreo Mesotróficos y clasificando en general a la presa en este mismo estado. (MESOTRÓFICO).

**Tabla 13 Estado general de la Presa EI**

Estación	$EI_{\text{muestreo 1}}$	$EI_{\text{muestreo 2}}$
1	OLIGOTRÓFICO	MESOTRÓFICO
2	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO
3	OLIGOTRÓFICO	MESOTRÓFICO
4	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO
5	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO
6	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO
7	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO
8	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO
9	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO
10	OLIGOTRÓFICO	MESOTRÓFICO

Los resultados de los análisis del agua y el IE se diagnosticaron los estados tróficos de cada punto de muestreo estudiado.

Como se menciona anteriormente las concentraciones de  $NH_4$  dependen básicamente de la temperatura y el pH por lo que si observamos los parámetros de los puntos de muestreo el

rango en el primer muestreo (mayo) : amonio de 9.4 mg/l a 14.4 mg/l, la temperatura de 20 °C a 21.68 °C (tabla 6), el pH tiene rangos desde 7.22 a 9.34 y en el segundo muestreo los rangos están de  $\text{NH}_4^*$  son de 8.1 mg/l a 10 mg/l con temperaturas de 17.27 °C a 17.51°C y del pH de 7.19 a 7.31, por lo tanto si las concentraciones de  $\text{NH}_4^*$  y  $\text{NH}_3$  aumentan, la temperatura y el pH también aumentan y viceversa.

El lirio acuático disminuye los niveles de oxígeno disuelto, nitrato, sulfato (tabla 9) y aumenta los niveles de amoníaco (tabla 8) en los muestreos realizados en Diciembre la mayor parte de la Presa de Valsequillo se encontraba casi cubierta de planta acuática (lirio) y el agua presentaba mayor turbidez (tabla 7) en la mayoría de los puntos muestreados y olor más fuerte en comparación de Mayo.

A través de los análisis físicos y químicos realizados a las muestras de aguas fue posible determinar que de acuerdo a la norma NOM-001-ECO-1996 se cumple con todos los límites máximos permisibles señalados en el rublo de embalse artificial, uso en riego agrícola con valores promedios diarios y los parámetros que no contempla esta norma se tomó como referencia los límites que marca la NOM-127-SSA1-1994 considerando que los parámetros como cloruros, dureza , pH, sulfatos, sólidos disueltos no rebasan los límites permisibles , sin embargo, nitratos, nitrógeno amoniacal, turbidez y color rebasan los límites permisibles. La cantidad permitida de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) es de  $< 0.5$  a  $\leq 1.5$  mg/l por lo tanto (tabla 8) en los 10 puntos de muestreo se rebasan los límites permisibles considerablemente en temporada de sequía (Diciembre) y de lluvia (Mayo). La cantidad permitida de amonio ( $\text{N-NH}_4^+$ ), es de  $\leq 0.02$  a  $\leq 0.06$  valores permitidos por los criterios ecológicos de calidad del agua (1989), en los 10 puntos valorados rebasa la cantidad quedando muy por arriba de lo permitido. La cantidad permitida de fosfatos ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) es de concentraciones de 0.05 mg/l de fosfatos totales según los criterios ecológicos de calidad del agua (CE-CCA-001/89), para evitar la eutrofización y durante los 10 puntos se alcanzó un rango de (Tabla 8) 1.01 mg/l a 3.53 mg/l en los 2 muestreos rebasando los límites considerablemente.

**Tabla 14 Comparativa de Parámetros del Estudio**

Muestra	N-Nitratos-May (mg/l)	N-Nitratos-Dic (mg/l)	Sulfatos-May (mg/l)	Sulfatos-Dic (mg/l)
1	9.2	8.1	18	17
2	9.9	8.8	17	18
3	9.7	8.6	18	19
4	11.4	8.7	18	18
5	12	8.3	18	19
6	10.06	8.6	18	17
7	11	10	19	17
8	11.5	9	19	18
9	14.4	9.1	17	19
10	9.4	9.4	19	19

### Análisis de los resultados

En las tablas 15 y 16

El pH (potencial de hidrógeno), mV ORP (Potencial de oxidación), %OD (% de oxígeno disuelto), OD (Oxígeno disuelto en ppm),  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (Conductividad),  $\mu\text{s}/\text{cm}^{\text{a}}$  (Conductividad absoluta),  $\text{M}\Omega.\text{cm}$  (Resistividad), TDS (Sólidos disueltos totales), PSU (Salinidad),  $^{\circ}\text{C}$  (Temperatura), mm Hg (Presión).

**Tabla 15 Parámetros medidos con el aparato Multiparámetros**

1.50 m de profundidad

Muestra	mVpH	pH	mV ORP	DO	DO (PPM)	CE $\mu\text{s}/\text{cm}$	$\mu\text{s}/\text{cm}^{\text{A}}$	$\widehat{\text{M}}\Omega^{\text{*}}\text{cm}$	TdS Mg/L	PSU	T $^{\circ}\text{C}$	Presión mmHg
1	-20.4	7.54	209.1	33.6	2.30	883	824	0.0011	441	0.43	21.5	589.7
2	-25.1	7.62	67.6	47	3.10	883	825	0.0011	442	0.44	21.52	588.0
3	-10.2	7.36	-181.9	30.5	2.05	914	841	0.0011	457	0.45	20.80	589.8
4	-5.9	7.27	-258.0	29.7	2.03	921	845	0.0011	461	0.46	20.66	591.4
5	-7.7	7.33	-263.1	29.5	2.02	915	840	0.0011	458	0.65	20.67	591.3
6	-11.9	7.40	-179.5	32.4	2.20	909	837	0.0011	455	0.45	20.79	591.5
7	-9.2	9.34	-195.5	34	2.30	911	832	0.0011	456	0.45	20.75	589.5
8	-10.5	7.37	-188.3	32.5	2.17	911	841	0.0011	456	0.45	20.91	588.9
9	-3.0	7.28	-226.4	33.3	2.22	925	849	0.0011	463	0.46	20.67	589.8
10	-1.3	7.22	-263.4	29.3	2.00	928	854	0.0011	464	0.46	20.79	589.3

**Tabla 16 Parámetros medidos con el Aparato Multiparamétrico**

**2 m de Profundidad**

Muestra	mVpH	pH	ORP	DO	DO (PPM)	CONDUCTIVIDAD - μs/cm	μs/cm <sup>Λ</sup>	MΩ*cm	TdS Mg/L	PSU	T °C	Presión mmHg
1	-19.8	7.5	179.4	28.9	1.96	885	826	0.0011	443	0.44	21.48	590.6
2	-22.4	7.58	53.4	35.4	2.40	886	827	0.0011	443	0.44	21.48	588.1
3	-4.4	7.27	-279.3	27.3	1.90	922	845	0.0011	461	0.45	20.66	550
4	-4.7	7.28	-302.3	27.5	1.89	922	846	0.0011	461	0.46	20.64	591.3
5	-5.4	7.29	-300.7	27.1	1.87	920	844	0.0011	460	0.45	20.66	591.5
6	-10.9	7.38	-239.7	27.4	1.89	909	835	0.0011	455	0.45	20.72	591.3
7	-6.4	7.31	-256.6	27.7	1.90	913	839	0.0011	456	0.45	20.74	589.5
8	-5.6	7.29	-267.9	27.6	1.89	919	844	0.0011	459	0.45	20.76	589
9	-0.8	7.21	-282.6	27.7	1.92	931	853	0.0011	465	0.46	20.61	589.7
10	-0.9	7.21	-254.3	27.2	1.87	930	854	0.0011	465	0.46	20.75	589.4

Teniendo en cuenta que la calidad del agua es otro de los puntos a medir se realizará el primer paso citado arriba:

Calculando con la expresión matemática Ecuación 2 con los parámetros nombrados para calcularla, se le dio un coeficiente de ponderación por cada parámetro, también un peso relativo y se aplicó las ecuaciones descritas dependiendo los valores obtenidos en el muestreo (Anexo)

- Para el potencial de hidrógeno en el primer muestro se aplicaron las ecuaciones 4 y 5

**Tabla 17 Segundo muestreo Diciembre 2015 (1.50 m y 2 m)  
(Ecuación 4 y 5)**

Estación	pH <sub>muestreo 2</sub> (1.50 m)	Ecuación	pH <sub>muestreo 2</sub> (2 m)	Ecuación	I <sub>pH General</sub>
1	7.28	Ecuación 5	7.28	Ecuación 4	100
2	7.24	Ecuación 5	7.23	Ecuación 4	100
3	7.24	Ecuación 4	7.23	Ecuación 4	100
4	7.5	Ecuación 5	7.26	Ecuación 4	100
5	7.23	Ecuación 5	7.23	Ecuación 4	100
6	7.31	Ecuación 5	7.27	Ecuación 4	108.66105
7	7.19	Ecuación 5	7.19	Ecuación 4	100
8	7.22	Ecuación 4	7.22	Ecuación 4	100
9	7.24	Ecuación 4	7.25	Ecuación 4	100
10	7.24	Ecuación 5	7.23	Ecuación 4	100

- En Sólidos suspendidos Iss fue aplicado valores de criterios mencionados anteriormente para concentraciones menores de 14 .144 mg/l se le asignó el valor de ICA de 100 a la mayoría de los puntos excepto el primero ya que se obtuvo por arriba del criterio y se aplicó la Ecuación 6

**Tabla 18 Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015**

Estación	Ecuación <sub>Mayo</sub>	I <sub>ss-Mayo</sub>	Ecuación <sub>Dic</sub>	I <sub>ss-Dic</sub>
1	Ecuación 6	58.58	Ecuación 6	87.96
2	Criterio	100	Criterio	100
3	Criterio	100	Criterio	100
4	Criterio	100	Criterio	100
5	Criterio	100	Criterio	100
6	Criterio	100	Criterio	100
7	Criterio	100	Criterio	100
8	Criterio	100	Criterio	100
9	Criterio	100	Criterio	100
10	Criterio	100	Criterio	100

- Se Aplicó la ecuación 7 para Color de la siguiente manera sin aplicar criterio:

**Tabla 19 Primer muestreo Mayo 2015 - Segundo muestreo Diciembre 2015**

Estación	Ecuación <sub>Mayo</sub>	I <sub>color-Mayo</sub>	Ecuación <sub>Dic</sub>	I <sub>color-Dic</sub>
1	Ecuación 7	47.0422379	Ecuación 7	47.0422379
2	Ecuación 7	44.6635677	Ecuación 7	44.6635677
3	Ecuación 7	43.462913	Ecuación 7	43.462913
4	Ecuación 7	45.0976946	Ecuación 7	45.0976946
5	Ecuación 7	43.847365	Ecuación 7	43.847365
6	Ecuación 7	40.8363174	Ecuación 7	40.8363174
7	Ecuación 7	44.6635677	Ecuación 7	44.6635677
8	Ecuación 7	44.6635677	Ecuación 7	44.6635677
9	Ecuación 7	42.0599692	Ecuación 7	42.0599692
10	Ecuación 7	45.0976946	Ecuación 7	45.0976946

- Turbiedad.- se aplicó el criterio para concentraciones menores a 1.54 UTJ ( se realizó conversión )

**Tabla 20 Primer muestreo Mayo 2015 -Segundo muestreo Diciembre 2015**

Estación	Ecuación <sub>Mayo</sub>	I <sub>Turbiedad-Mayo</sub>	Ecuación <sub>Dic</sub>	I <sub>turbiedad-Dic</sub>
1	Criterio	100	Criterio	100
2	Criterio	100	Criterio	100
3	Criterio	100	Criterio	100
4	Criterio	100	Criterio	100
5	Criterio	100	Criterio	100
6	Criterio	100	Criterio	100
7	Criterio	100	Criterio	100
8	Criterio	100	Criterio	100
9	Criterio	100	Criterio	100
10	Criterio	100	Criterio	100

- Dureza total se aplicó la ecuación 12 sin criterios teniendo como resultado:

**Tabla 21 Primer muestreo mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 20**

Estación	Ecuación <sub>Mayo</sub>	I <sub>Dureza-Mayo</sub>	Ecuación <sub>Dic</sub>	I <sub>Dureza-Dic</sub>
1	Ecuación 12	94.1576397	Ecuación 12	94.0497597
2	Ecuación 12	94.1541597	Ecuación 12	94.0984797
3	Ecuación 12	94.1541597	Ecuación 12	94.0497597
4	Ecuación 12	94.1541597	Ecuación 12	94.1123997
5	Ecuación 12	94.1576397	Ecuación 12	94.0762077
6	Ecuación 12	94.1471997	Ecuación 12	94.0608957
7	Ecuación 12	94.1471997	Ecuación 12	94.0233117
8	Ecuación 12	94.1541597	Ecuación 12	94.0636797
9	Ecuación 12	94.1367597	Ecuación 12	94.0671597
10	Ecuación 12	94.1611197	Ecuación 12	94.0998717

- Sólidos Disueltos se aplicó el criterio de concentraciones menores a 520 mg/l y se le asignó un valor de ICA de 100 ya que en los dos muestreos se obtuvo los valores en el rango de 300 a 470 mg/l

**Tabla 22 Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015**

Estación	Ecuación <sub>Mayo</sub>	I <sub>SD-Mayo</sub>	Ecuación <sub>Dic</sub>	I <sub>SD-Dic</sub>
1	Criterio	100	Criterio	100
2	Criterio	100	Criterio	100
3	Criterio	100	Criterio	100
4	Criterio	100	Criterio	100
5	Criterio	100	Criterio	100
6	Criterio	100	Criterio	100
7	Criterio	100	Criterio	100
8	Criterio	100	Criterio	100
9	Criterio	100	Criterio	100
10	Criterio	100	Criterio	100

- Alcalinidad .Se aplicó la Ecuación 11, sin criterio.

**Tabla 23 Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015**

Estación	Ecuación <sub>Mayo</sub>	I <sub>Alcalinidad-Mayo</sub>	Ecuación <sub>Dic</sub>	I <sub>Alcalinidad-Dic</sub>
1	Ecuación 11	36.1240158	Ecuación 11	34.5320403
2	Ecuación 11	36.2334368	Ecuación 11	34.5320403
3	Ecuación 11	36.0166683	Ecuación 11	34.4513417
4	Ecuación 11	35.9113228	Ecuación 11	33.8459806
5	Ecuación 11	36.0166683	Ecuación 11	33.8459806
6	Ecuación 11	36.0166683	Ecuación 11	34.4513417
7	Ecuación 11	36.0166683	Ecuación 11	33.7749206
8	Ecuación 11	36.0166683	Ecuación 11	33.9180048
9	Ecuación 11	35.9113228	Ecuación 11	34.3718308
10	Ecuación 11	36.0166683	Ecuación 11	33.7048013

- Conductividad Eléctrica. Se aplicó la Ecuación 10 y no se necesitó ningún criterio

**Tabla 24 Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015**

Estación	Ecuación <sub>Mayo</sub>	I <sub>CE-Mayo</sub>	Ecuación <sub>Dic</sub>	I <sub>CE-Dic</sub>
1	Ecuación 10	63.0181	Ecuación 10	66.4677
2	Ecuación 10	61.0673	Ecuación 10	66.1272
3	Ecuación 10	60.9496	Ecuación 10	66.1835
4	Ecuación 10	61.0671	Ecuación 10	66.2287
5	Ecuación 10	61.2617	Ecuación 10	66.0823
6	Ecuación 10	61.1938	Ecuación 10	66.5366
7	Ecuación 10	61.1432	Ecuación 10	65.6391
8	Ecuación 10	60.8083	Ecuación 10	65.7600
9	Ecuación 10	60.7668	Ecuación 10	66.1049
10	Ecuación 10	61.9127	Ecuación 10	66.0935

- Nitrógeno de nitratos.- Se aplicó Criterio y la ecuación 13

**Tabla 25 Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015**

Estación	Ecuación <sub>Mayo</sub>	I <sub>CE-Mayo</sub>	Ecuación <sub>Dic</sub>	I <sub>CE-Dic</sub>
1	Criterio	100	Criterio	100
2	Criterio	100	Criterio	100
3	Criterio	100	Criterio	100
4	Criterio	100	Criterio	100
5	Criterio	100	Criterio	100
6	Criterio	100	Criterio	100
7	Criterio	100	Ecuación 13	92.14
8	Criterio	100	Criterio	100
9	Criterio	100	Criterio	100
10	Criterio	100	Criterio	100

- Nitrógeno Amoniacal.- se aplicó en la mayoría de los puntos el criterio sin embargo en el segundo muestreo en el punto 7 se aplicó la ecuación 14

**Tabla 26 Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015**

Estación	Ecuación <sub>Mayo</sub>	I <sub>N-NH3-Mayo</sub>	Ecuación <sub>Dic</sub>	I <sub>N-NH3-Dic</sub>
1	Ecuación 14	45.8	Ecuación 14	12.336405
2	Ecuación 14	36.10872797	Ecuación 14	13.3845723
3	Ecuación 14	31.42048523	Ecuación 14	14.0385243
4	Ecuación 14	28.46812742	Ecuación 14	14.5217975
5	Ecuación 14	26.37052442	Ecuación 14	14.9080809
6	Ecuación 14	24.77191603	Ecuación 14	15.2313127
7	Ecuación 14	23.4961578	Ecuación 14	15.5100629
8	Ecuación 14	22.44427661	Ecuación 14	15.7556474
9	Ecuación 14	21.555609	Ecuación 14	15.975494
10	Ecuación 14	20.79052604	Ecuación 14	16.1747516

- Fosfatos totales, se aplicó la ecuación 15

**Tabla 27 Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015**

Estación	Ecuación <sub>Mayo</sub>	I <sub>Fosfatos-Mayo</sub>	Ecuación <sub>Dic</sub>	I <sub>Fosfatos -Dic</sub>
1	Ecuación 15	26.7324236	Ecuación 15	20.1246939
2	Ecuación 15	27.8037071	Ecuación 15	19.1531487
3	Ecuación 15	34.0587506	Ecuación 15	20.6099034
4	Ecuación 15	28.8394692	Ecuación 15	19.8671901
5	Ecuación 15	27.8855509	Ecuación 15	19.2792481
6	Ecuación 15	27.6422803	Ecuación 15	19.8392193
7	Ecuación 15	28.7484365	Ecuación 15	19.5395637
8	Ecuación 15	30.2184197	Ecuación 15	19.5130287
9	Ecuación 15	35.2028424	Ecuación 15	19.7836505
10	Ecuación 15	27.5626742	Ecuación 15	19.8671901

- Cloruros.- Se aplicó la ecuación 16

**Tabla 28 Primer muestreo mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015**

Estación	Ecuación <sub>Mayo</sub>	I <sub>cloruros-Mayo</sub>	Ecuación <sub>Dic</sub>	I <sub>cloruros-Dic</sub>
1	Ecuación 16	43.42508017	Ecuación 16	36.2773304
2	Ecuación 16	41.5923118	Ecuación 16	37.3173614
3	Ecuación 16	41.79894488	Ecuación 16	38.2817078
4	Ecuación 16	41.79894488	Ecuación 16	36.6741903
5	Ecuación 16	41.1952295	Ecuación 16	35.4631986
6	Ecuación 16	42.22978498	Ecuación 16	35.7234605
7	Ecuación 16	41.69492635	Ecuación 16	37.0960929
8	Ecuación 16	42.45461199	Ecuación 16	37.5460674
9	Ecuación 16	42.34138012	Ecuación 16	34.8939072
10	Ecuación 16	42.01133644	Ecuación 16	36.3743454

- Oxígeno Disuelto.- Se aplicó la ecuación 17

**Tabla 29 Primer muestreo Mayo 2015-Segundo muestreo Diciembre 2015**

Estación	Ecuación <sub>Mayo</sub>	I <sub>OD-Mayo</sub>	Ecuación <sub>Dic</sub>	I <sub>OD-Dic</sub>
1	Ecuación 17	35.88888889	Ecuación 17	31.9021739
2	Ecuación 17	34.7826087	Ecuación 17	31.8478261
3	Ecuación 17	36.14130435	Ecuación 17	31.9565217
4	Ecuación 17	32.93478261	Ecuación 17	31.9565217
5	Ecuación 17	35.86956522	Ecuación 17	32.0108696
6	Ecuación 17	37.5	Ecuación 17	31.4130435
7	Ecuación 17	35.38043478	Ecuación 17	31.4130435
8	Ecuación 17	36.19565217	Ecuación 17	31.3586957
9	Ecuación 17	32.60869565	Ecuación 17	32.0652174
10	Ecuación 17	53.09178744	Ecuación 17	31.6304348

- Demanda Bioquímica de Oxígeno.- Se aplicó la ecuación 16

**Tabla 30 Primer muestreo Mayo 2015 -Segundo muestreo Diciembre 2015**

Estación	Ecuación <sub>Mayo</sub>	I <sub>DBO5-Mayo</sub>	Ecuación <sub>Dic</sub>	I <sub>DBO5-Dic</sub>
1	Ecuación 16	21.2450454	Ecuación 16	21.2450454
2	Ecuación 16	10.1427346	Ecuación 16	21.2450454
3	Ecuación 16	13.3249159	Ecuación 16	21.2450454
4	Ecuación 16	13.3249159	Ecuación 16	13.3249159
5	Ecuación 16	8.35740195	Ecuación 16	14.3368115
6	Ecuación 16	10.1427346	Ecuación 16	21.2450454
7	Ecuación 16	8.35740195	Ecuación 16	21.2450454
8	Ecuación 16	13.3249159	Ecuación 16	21.2450454
9	Ecuación 16	10.1427346	Ecuación 16	21.2450454
10	Ecuación 16	8.35740195	Ecuación 16	21.2450454

Calidad del agua

Se sumas todos los índices de cada punto y se dividen con la suma de los valores de ponderaciones que se le dio.

Tabla 31 y 32 Estación Mayo 2015-Estación Diciembre

Estación-Mayo	pH	Color	Turbidez	SS	SD	IA	Nitratos	Amoniacal	PO4	cloruros Totales	IOD	ICE	DBO	dureza	I general
1	104.01322	47.042238	100	58.584301	100	36.124016	100	22.348847	26.732424	43.42508	35.888889	63.0181	21.245045	94.15764	35.529275
2	7.7053476	44.663568	100	100	100	36.233437	100	21.722406	27.803707	41.592312	34.782609	61.0673	10.142735	94.15416	32.628579
3	100	43.462913	100	100	100	36.016668	100	21.894373	34.058751	41.798945	36.141304	60.9496	13.324916	94.15416	36.639604
4	109.05815	45.097695	100	100	100	35.911323	100	21.807726	28.839469	41.798945	32.934783	61.0671	13.324916	94.15416	36.517257
5	113.43305	43.847365	100	100	100	36.016668	100	22.16265	27.885551	41.195229	35.869565	61.2617	8.3574019	94.15764	36.517257
6	118.52153	40.836317	100	100	100	36.016668	100	21.894373	27.64228	42.229785	37.5	61.1938	10.142735	94.1472	36.878536
7	107.4857	44.663568	100	100	100	36.016668	100	20.790526	28.748437	41.694926	35.380435	61.1432	8.3574019	94.1472	36.427403
8	100	44.663568	100	100	100	36.016668	100	21.555609	30.21842	42.454612	36.195652	60.8083	13.324916	94.15416	36.392911
9	100	42.059969	100	100	100	35.911323	100	21.474066	35.202842	42.34138	32.608696	60.7688	10.142735	94.13676	36.005625
10	98.45535	45.097695	100	100	100	36.016668	100	21.236484	27.562674	42.011336	53.091787	61.9127	8.3574019	94.16112	36.936292

Tabla 32 y 33 ICA GENERAL

Estación-Dic	pH PROMEDIO	Color	Turbidez	SS	Sólidos Disueltos	IA	Nitratos	Amoniacal	PO4	cloruros Total	IOD*Total	ICE	DBO	dureza	I general
1	100	44.247208	100	87.966257	100	34.293476	100	21.393717	20.124694	36.27733	31.902174	66.4677	21.245045	94.04976	33.645779
2	100	45.550978	100	100	100	34.53204	100	20.86232	19.153149	37.317361	31.847826	66.1272	21.245045	94.09848	34.146448
3	100	45.097695	100	100	100	34.451342	100	21.008874	20.609903	38.281708	31.956522	66.1835	21.245045	94.04976	34.23076
4	100	45.097695	100	100	100	33.845981	100	19.87683	19.86719	36.67419	31.956522	66.2287	13.324916	94.1124	33.764095
5	100	45.550978	100	100	100	33.845981	100	19.530183	19.279248	35.463199	32.01087	66.0823	14.336811	94.076208	33.732384
6	108.66105	46.521403	100	100	100	34.451342	100	20.379127	19.839219	35.72346	31.413043	66.5366	21.245045	94.060896	34.463966
7	100	41.428329	100	100	100	33.774921	92.142863	20.121844	19.539564	37.096093	31.413043	65.6391	21.245045	94.023312	33.585261
8	100	43.092832	100	100	100	33.918005	100	19.817375	19.513029	37.546067	31.358696	65.7600	21.245045	94.06368	33.973126
9	100	39.503561	100	100	100	34.371831	100	18.346243	19.783651	34.893907	32.065217	66.1049	21.245045	94.06716	33.645779
10	100	42.059969	100	100	100	33.704801	100	21.236484	19.86719	36.374945	31.630435	66.0935	21.245045	94.099872	33.973006

El resultado de todos los puntos se encuentran en el rango de clasificación del ICA de 30-49, que se refiere al punto de **CONTAMINADO**, dando un **ICA TOTAL (35)** también en el mismo rango. (**CONTAMINADO**).

**Tabla 33 Estación Mayo-Diciembre ICA general**

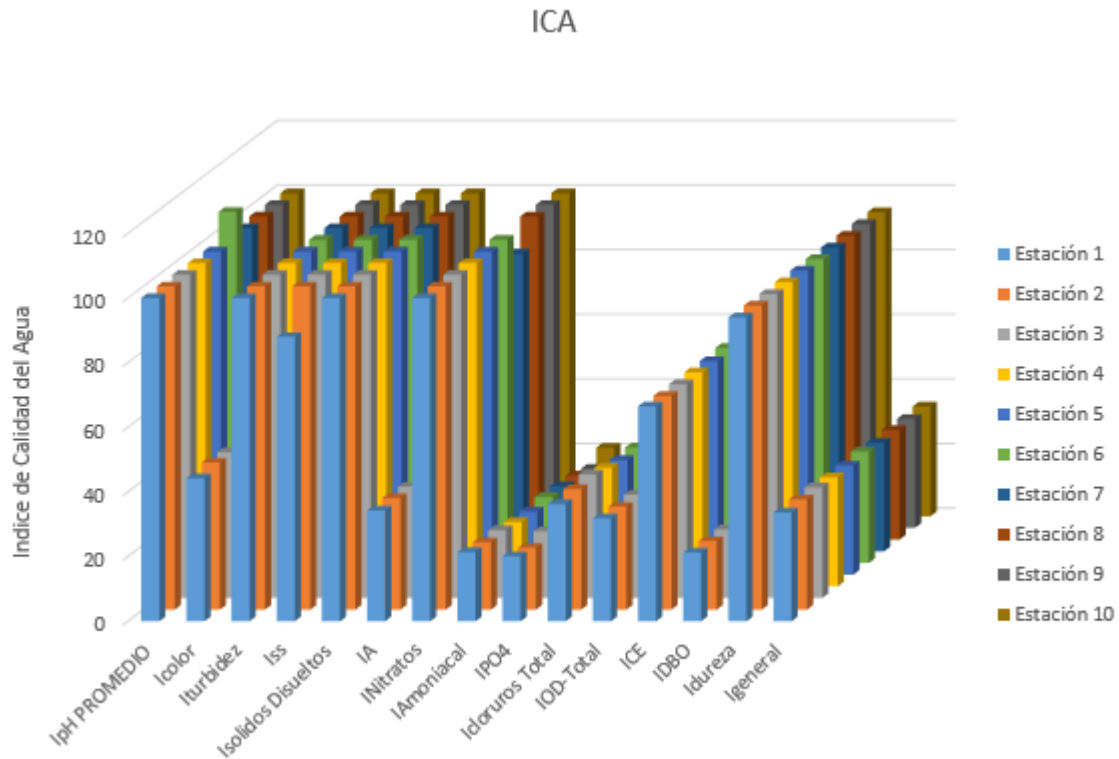
Estación-Mayo	ICA	Estación-Dic	ICA	ICA General
1	33.645779	1	35.529275	34.587527
2	34.146448	2	32.628579	33.387514
3	34.23076	3	36.639604	35.435182
4	33.764095	4	36.571768	35.167931
5	33.732384	5	36.517257	35.12482
6	34.463966	6	36.878536	35.671251
7	33.585261	7	36.427403	35.006332
8	33.973126	8	36.392911	35.183018
9	33.645779	9	36.005625	34.825702
10	33.973006	10	36.936292	35.454649

**Tabla 34 Resultado de los Índices de calidad del agua**

ICA	1 M-May-2015	2 M-DIC-2015	ICA	CRITERIO GENERAL
I pH			85 -100	No Contaminado
I Color				
I Turbiedad			70 - 84	Aceptable
I Ss				
I Dureza			50 - 69	Poco Contaminado
I SD				
I CE			30 - 49	Contaminado
I Nitratos				
I A			0 - 29	Altamente Contaminado
I N-Amoniacal				
I Fósforo				
I OD				
I Cloruros				
I DBO				
ICA general				

## GRÁFICAS

Gráfica 1 Índices de Calidad del agua



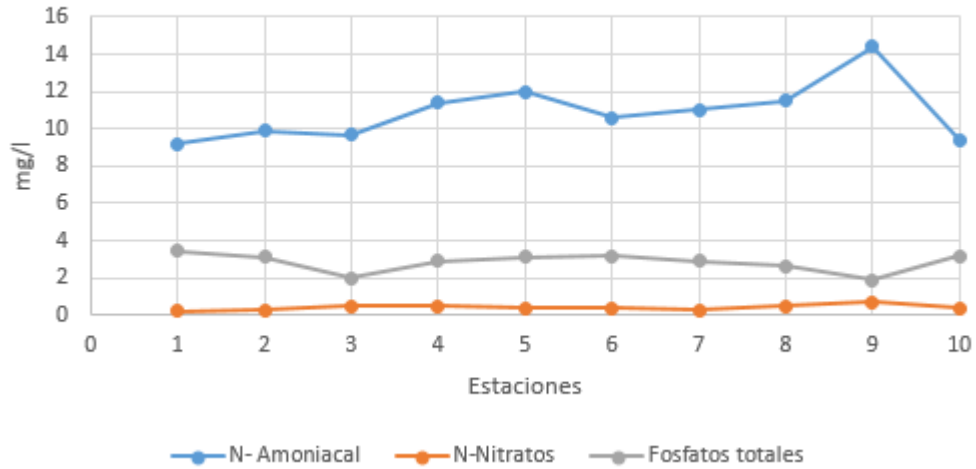
Al concluir la escala de clasificación del agua según la tabla 4 ,se puede observar lo siguiente:

- Para abastecimiento Público es **no aceptable**,
- Para recreación es **sin contacto con el agua**,
- Para pesca y vida acuática se encuentra en **sólo organismos muy resistentes**,
- Para industrial y agrícola es **tratamiento en la mayor parte de la industria**.

El índice de calidad del agua en general de la presa de Valsequillo tomando en cuenta los valores de la tabla 16 se establece que para el criterio general de los valores del ICA de 30-49 se encuentra **CONTAMINADA**.

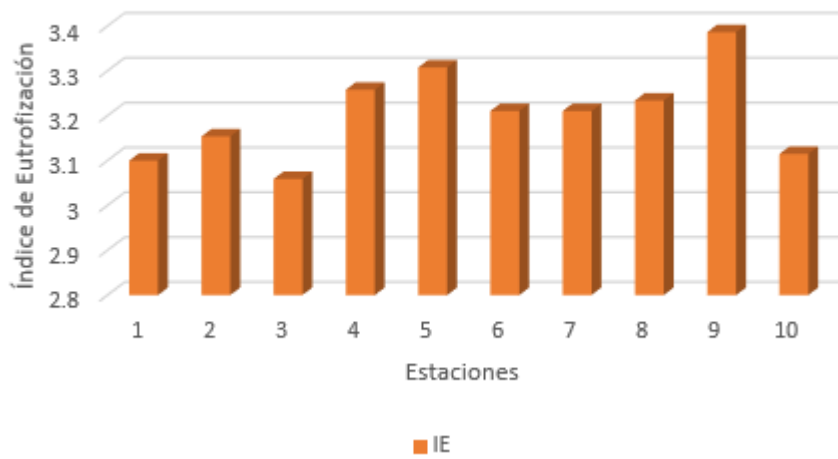
**Gráfica 2**

**Parámetros para el Índice de Eutrofización-Mayo**



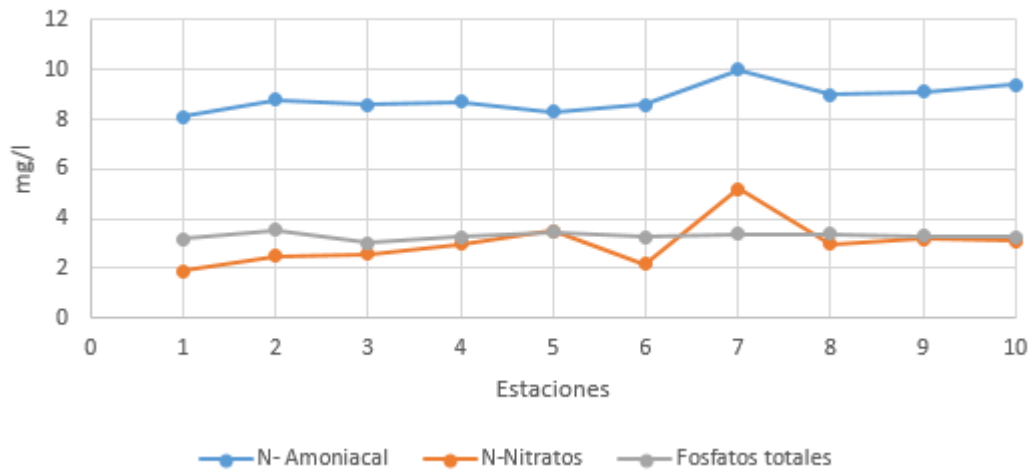
**Gráfica 3**

**IE-Mayo**



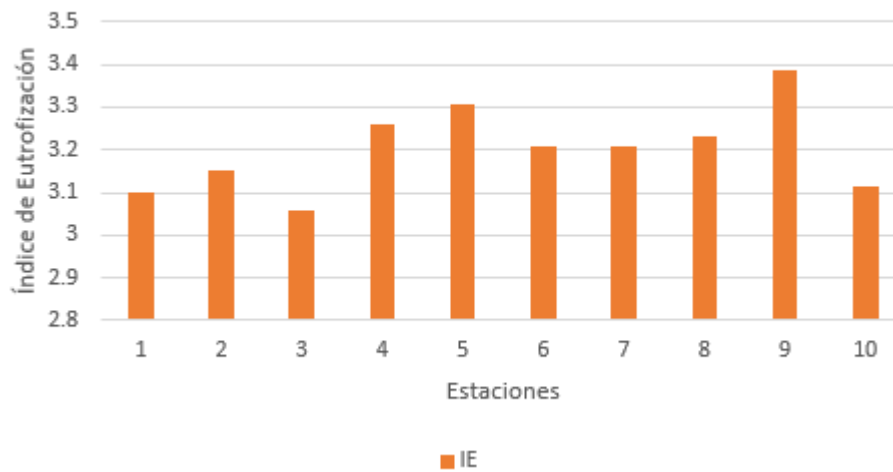
**Gráfica 4**

**Parámetros para el Índice de Eutrofización-Dic**



**Gráfica 5**

**IE-Dic**



En ambos muestreos el IE dio como resultado en estado Mesotrófico.

## CAPITULO VI

### Conclusión

El crecimiento demográfico y el desarrollo económico que se ha observado en los últimos años en Puebla, son los responsables de diversos problemas ambientales que la presa de Valsequillo presenta. En base a los resultados que se presentaron a lo largo de esta investigación, se ha llegado a las conclusiones que se presentan a continuación.

Se realizó un análisis con las muestras de agua recogidas en la presa, de las cuales algunos parámetros se determinaron en el lugar y otros en laboratorio, tomando los cuidados de traslado respectivos. Las tomas se efectuaron en el centro de la corriente y a una profundidad de 1.50 m y 2 m.

En el primer muestreo que se realizó, en la superficie de la presa se observaba poca vegetación, además de color y olor moderados. En el segundo muestreo se encontró lirio en la mayoría de la superficie, el agua presentaba mayor turbidez y el olor que se percibía era penetrante en la casi todos los puntos muestreados; por lo que se deduce que estas condiciones hacen imposible la penetración de la luz hasta regiones profundas y se puede decir que no existe un proceso completo de fotosíntesis. En base a dichos resultados se concluye que existe una disminución en la producción de oxígeno.

A través de los análisis físicos y químicos realizados a las muestras de agua, fue posible determinar que de acuerdo a la norma NOM-001-ECO-1996, se cumplen todos los límites máximos permisibles señalados en el rubro de embalse artificial, dentro del apartado de uso en riego agrícola enfocándolo en valores promedios diarios. Los parámetros que no contempla la norma anterior, se localizaron en la NOM-127-SSA1-1994, dentro de la cual se verificaron los parámetros siguientes: cloruros, dureza, pH, sulfatos y sólidos disueltos, los cuales, según dicha norma, no rebasan los límites permisibles. Por otro lado, los parámetros que sí rebasan los límites permisibles son: nitratos, nitrógeno amoniacal, turbidez y color.

También se comprobó que en ambos muestreos, si las concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NH}_3$  aumentan, la temperatura y el pH también aumentan y viceversa. Esto afecta el crecimiento, la sobrevivencia y la reproducción de los animales acuáticos, como ya se había mencionado, por lo que se considera un aspecto negativo, el cual debe ser controlado con el fin de que no siga aumentando.

En los resultados obtenidos, la concentración de amonio que se presenta está entre 8 y 10 mg/l, por lo que se considera muy alta, debido a que en aguas saludables el rango de la misma debe ir de 0.007 a 0.02 mg/l. Por otro lado, las concentraciones de nitratos que se obtuvieron estaban entre 0.2 y 0.7 mg/l, y tomando en cuenta que el agua sin eutroficación deben tener una concentración inferior a 1ml, se puede decir que entra dentro de los límites correctos.

De acuerdo a los a la sitios estudiados en el primer muestreo, solo dos puntos resultaron oligotróficos y los ocho puntos restantes mesotróficos. En los sitios estudiados del segundo muestreo, los 10 puntos que se examinaron son mesotróficos, ya que el contenido de nitrógeno en ambas estaciones fue muy alto. Después de estudiar todos los puntos anteriores, se llega a la conclusión de que la presa de Valsequillo, para el índice de eutrofización, es **mesotrófico**.

En consecuencia a esto, la Presa de Valsequillo podría llegar a eutrofizar en muy poco tiempo. En este estudio se demuestra que hay una entrada excesiva de nutrientes, debido a las fuentes naturales y antropogénicas, principalmente los vertidos de aguas residuales domésticas e industriales con alto contenido de nitrógeno y fósforo que desembocan constantemente en la presa. Por lo tanto se insiste en un delicado y frágil equilibrio que existe y que pueden terminar en un problema mayor ambiental y de salud.

Por otro lado, cuando se habla de calidad de agua se dice que implica que el porcentaje de OD debe estar entre 80% y 90%; de acuerdo a los resultados recabados en este estudio, la presa se encuentra en estado de contaminación ya que los rangos obtenidos son de 25 % a 50%, en el primer muestreo, y en el segundo de 26%. No obstante, en la mayoría de los puntos muestreados se sabe que hay una estrecha relación de la calidad del agua y la

eutrofización. Además, por los resultados obtenidos anteriormente respecto al IE se puede decir, que existe un impacto negativo en la presa por su constante y complejo cambio.

Por otro lado, se concluye en base al modelo matemático de calidad del agua planteada en esta tesis, que el resultado total del diagnóstico de la presa de Valsequillo para el ICA según la tabla expuesta anteriormente, está dentro del rango de **contaminación**. A continuación se detallan las causas por las cuales se determina el criterio total para la presa, exponiendo las restricciones en su uso de acuerdo a la tabla de ICA:

- a) Para abastecimiento Público el rango es de **no aceptable**,
- b) En el rango de recreación **sin contacto con el agua**.
- c) Para pesca y vida acuática se encuentra en **sólo organismos muy resistentes**
- d) Para industrial y agrícola **tratamiento en la mayor parte de la industria**.

Tomando en cuenta dichas restricciones, se concluye que el diagnóstico de la presa de Valsequillo para el índice general de calidad del agua es **CONTAMINADA**. Esta conclusión representa un problema grave para toda la población del Estado de Puebla, ya que la presa es un recurso importante para la agricultura de la región.

## **Recomendaciones**

Puebla de los Ángeles tiene que comenzar a trabajar en sus aguas residuales ya que se ha convertido en un mal que asecha a la comunidad, la ciudad ha dejado de producir aguas clásicas residuales, tanto municipales como industriales. En la actualidad tenemos mezclas complejas con altos contaminantes de residuos biológicos, químicos (Xenobióticos), etc. tanto industriales como residuales municipales dentro de ellos los que hoy se conocen como contaminantes emergentes. Es necesario que se realice una revisión de la declaratoria de como se ha clasificado a la Presa Manuel Ávila Camacho por medio de CONAGUA ya que hoy en día no se cuenta con elementos legales y de tipo administrativo más estrictas para las descargas de aguas residuales a dicho cuerpo de agua (límites de descarga más estrictos), que se apliquen correctamente. También se debe modificar la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, en la cual se encuentran los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o

municipal. Además se debe tener una constante inspección a las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de tener una mejora continua y así asegurar la calidad del agua.

Se necesita brindar apoyo a las empresas para que puedan desarrollar tecnologías de acuerdo a las necesidades de cada una, para así disminuir la contaminación que producen mediante las descargas de agua sin tratar a los cuerpos de agua que llegan. Dicho apoyo lo deberán proporcionar gobiernos y universidades que estén comprometidos con el medio ambiente.

Además de los aspectos señalados anteriormente, se recomienda controlar muchas más, como por ejemplo: la recolección de maleza acuática, productos químicos que precipiten el fósforo, control biológico que disminuya el crecimiento de maleza acuática y el mal uso de detergentes fosfatados. Este sigue siendo un grave problema que se debe tratar continuamente.

## ANEXO

### Ecuaciones:

#### ❖ Potencial de Hidrógeno:

$I_{pH} = 10^{0.2335pH + 0.44}$  ..... Si el pH es menor que 6.7..... Ecuación 3

$I_{pH} = 100$ ..... Si el pH está entre 6.7 y 7.3..... Ecuación 4

$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293pH}$  ..... Si el pH es mayor que 7.3..... Ecuación 5

#### ❖ Sólidos Suspendidos:

$I_{ss} = 266.5 (SS)^{-0.37}$  ..... (SS) Sólidos suspendidos en mg/l... Ecuación 6

#### ❖ Color

$I_C = 123 (C)^{-0.295}$  ..... Ecuación 7  
(C) en unidades de color escala de platino-cobalto

#### ❖ Turbiedad

$I_T = 108 (T)^{-0.178}$  ..... Ecuación 8

(T) turbiedad en unidades de UTJ

❖ Sólidos Disueltos

$$I_{SD} = 109.1 - 0.0175 (SD) \dots\dots\dots \text{Ecuación 9}$$

(SD) Sólidos Disueltos en mg/l

❖ Conductividad Eléctrica

$$ICE = 540 (CE) - 0.379 \dots\dots\dots \text{Ecuación 10}$$

(CE) Conductividad Eléctrica en  $\mu\text{mhos/cm}$

❖ Alcalinidad

$$I_A = 105 (A)^{-0.186} \dots\dots\dots \text{Ecuación 11}$$

(A) Alcalinidad en mg/l como  $\text{CaCO}_3$

❖ Dureza Total

$$IDT = 10 1.974 - 0.00174 (DT) \dots\dots\dots \text{Ecuación 12}$$

(DT) Dureza Total en mg/l como  $\text{CaCO}_3$

❖ Nitrógeno de Nitratos

$$I_{N-NO3} = 162.2 (N-NO3) - 0.343 \dots \dots \dots \text{Ecuación 13}$$

(N-NO3) Nitrógeno de Nitratos en mg/l

❖ Nitrógeno Amoniacal

$$I_{NH3} = 45.8 (N-NH3) - 0.343 \dots \dots \dots \text{Ecuación 14}$$

(N-NH3) Nitrógeno amoniacal en mg/l

❖ Fosfatos Totales

$$I_{PO4} = 34.215 (PO4)^{-0.46} \dots \dots \dots \text{Ecuación 15}$$

(PO4) Fosfatos Totales en mg/l

❖ Cloruros

$$I_{Cl^-} = 121 (Cl)^{-0.223} \dots \dots \dots \text{Ecuación 16}$$

(Cl) Cloruros en mg/l

❖ Oxígeno Disuelto

$$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{Sat}} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación 17}$$

(OD) Oxígeno Disuelto en mg/l y a T. de campo (T<sub>c</sub>)

(Oxígeno Disuelto)<sub>sat</sub> mg/l de saturación  $T_{sat} = T_c$

e) **A continuación se aplican los criterios de cálculo**

### **Criterios de cálculo**

La aplicación de las ecuaciones para el cálculo del ICA por parámetro a los datos de calidad del agua puede generar valores del ICA mayores a 100 o negativos, por lo que es necesario tomar en cuenta ciertos criterios de cálculo en la metodología, basados en el comportamiento matemático de las ecuaciones.

En caso de que no exista ningún parámetro para el cálculo del ICA, la estación de monitoreo no se tomará en cuenta para el período de evaluación de donde no haya información.

El cálculo del ICA se realizará con los parámetros con que cuente la estación de monitoreo, en caso de que no existan los 18 parámetros.

1. Potencial de hidrógeno. Para valores de pH menores a 6.7 se usará la ecuación 3; en el caso de que el pH sea mayor o igual a 6.7 y menor que 7.58 se aplicará la ecuación 4. Cuando el pH sea mayor o igual a 7.58 se usará la ecuación 5.
2. Color. Los datos de las concentraciones de color que se utilizarán en el cálculo serán de color verdadero. Para concentraciones menores a 2.018 unidades de Pt-Co se asignará el valor de ICA igual a 100.
3. Turbiedad. Para concentraciones menores a 1.54 UTJ se asignará un valor de ICA de 100.
4. Grasas y aceites. Cuando se tienen datos menores de 0.633 mg/l, se debe asignar un valor de ICA de 100.
5. Sólidos suspendidos. Para concentraciones menores de 14.144 mg/l se asigna un valor de ICA de 100.

6. Sólidos disueltos. Para concentraciones menores a 520 mg/l se asigna un valor de ICA de 100, y para concentraciones mayores a 6234 mg/l se debe asignar un valor de cero.
7. Conductividad eléctrica. Cuando se tienen concentraciones menores a 85.60  $\mu\text{mhos/cm}$ , se debe asignar un ICA de 100 %.
8. Alcalinidad. Para concentraciones menores de 1.3 se asigna un ICA de 100.
9. Dureza total. Para concentraciones mayores a 2500 mg/l se asignará un ICA de cero.
10. Nitrógeno de nitratos. Se asigna un valor de ICA de 100 para concentraciones menores a 4.097 mg/l.
11. Nitrógeno amoniacal. Para concentraciones menores de 0.11 mg/l se asigna un ICA de 100.
12. Fosfatos totales. Se asigna un valor de ICA de 100 para concentraciones menores o iguales a 0.0971 mg/l.
13. Cloruros. Para concentraciones menores a 2.351 se asignará un ICA de 100.
14. Oxígeno disuelto. El oxígeno se disuelve en el agua por el contacto del aire con la superficie del agua, hasta alcanzar el punto de saturación a una temperatura determinada. A la temperatura de 0°C el punto de saturación del oxígeno disuelto es de 14.6 ppm. Esta concentración disminuye al aumentar la temperatura del agua, de manera que a 15°C la concentración de saturación del oxígeno disuelto es de 10 ppm. Es por este motivo que, cuando no se cuente con el dato de la temperatura ambiente, no se podrá realizar el cálculo del oxígeno disuelto y se considerará inexistente. Para calcular la concentración de OD en equilibrio con aire saturado en agua, se usará la ecuación (20) que se muestra a continuación:

$$\ln(OD) = -139.34411 + \left(1.575701 \frac{10^5}{T}\right) - \left(6.642308 \frac{10^7}{T^2}\right) + \left(1.2438 \frac{10^{10}}{T^3}\right) - \left(8.621949 \frac{10^{11}}{T^4}\right)$$

Donde la temperatura  $T$  está en grados Kelvin ( $T = 273.15 + T_{\text{ambiente}}$ ).

Posteriormente con la ecuación (15) se calcula el índice del OD.

15. Demanda bioquímica de oxígeno. Se asigna un ICA de 100 para concentraciones menores o iguales a 1.311 mg/l.

## **Bibliografía:**

1. .-Agnieszka Kolada, Nigel Willby, Bernard Dudley, Peeter Noges, Martin Sondergaard. (Febrero 2014). The applicability of macrophyte compositional metrics for assessing eutrophication in European lakes. *ELSEVIER-Journal*, 45, 407-415.
2. Bellinger R.G. and Sigeo D.C . (2010). *Freshwater algae : Identificación and Uses as Bioindicators*. Estados Unidos de America: Ed Wiley-blackwell.
3. J.A. Camargo, A. Alonso. (03 de diciembre de 2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *ecosistemas revista científicade ecología y medio ambiente*, Vol 16-No 2, 20.
4. Camargo J.A y Alonso . (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution inaquatic ecosystem. *elsevier*, 22, todas.
5. Claudia Ledesma, Matias Bonansea, Claudia Maria Rodriguez. (Julio 2013). Determinación de indicadores de eutroficación en el embalse Río Tercero, Córdoba(Argentina). *Ciencia Agronomica*, 44, 419-425.
6. Robert E. Carlson . (nov 1976). A trophic state index for lakes1 . 4 dic 2014, de Limnological Research Center, University of Minnesota, Minneapolis 55455 Sitio web: [http://aslo.net/lo/toc/vol\\_22/issue\\_2/0361.pdf](http://aslo.net/lo/toc/vol_22/issue_2/0361.pdf)
7. Francisco Fontúrbel Rada1. (2005). Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka ( Bolivia ). *Ecología aplicada*, Vol 4, 1-7.
8. Maria Elena Pérez López ,Maria Guadalupe Sanchez-Martinez, Maria Guadalupe Vicencio de la Rosa , Margarita Teutli Leon . (November 2013). Eutrophiicación Levels through San Pedro Mezquital River Basin . *Journal of Envionmental Protection* , 4, 45-50.

9. Odum ,Eugene P. (2002). Fundamentos de ecología. xviii, 598 p. : ill. (some col.), maps ; 27 cm.: Belmont, CA : Thomson Brooks/Cole, c2005
10. Sinai Guevara /Omar Arellano/Jean Fricke . (2014). Ríos tóxicos: Lerma y Atoyac La historia de negligencia continúa. diciembre 2014, de Greenpeace Sitio web: [www.greenpeace.org.mx](http://www.greenpeace.org.mx)
11. Xiao-e YANG",XiangWU,Hu-lin HAO,Zhen-li He. (Jan 28,2008). Mechanisms and asseement of water eutropication. Journal of Zhejiang University SCIENCE B, 1, 13.
12. Francisco Fontúrbel Rada1. (2005). Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka ( Bolivia ). Ecología aplicada, Vol 4, 1-7.
13. Ernesto Mangas Ramírez 1Mayeli Sánchez Martínez2, Hugo R Molina Arroyo 1.Luz María García-Flores 1 Israel Muñoz-Gutiérrez 1 José Lino Zumaquero Ríos. (2006). Análisis de las políticas de Rehabilitación de presas: El caso de la “Presa de Valsequillo” En el Estado de Puebla. diciembre 2014, de Mangas Sitio web: <http://www.eumed.net/jirr/1/AMECIDER2006/PARTE%208/248%20Ernesto%20Mangas%20Ramirez%20et%20al.pdf>
14. <http://portal.semarnat.gob.mx/tlaxcala/Informe%20Presa%20Texcalac%20Tlaxcala.pdf>. Fecha de consulta3 dic 2014
15. Paloma Carolina Cedeño- Valdés ; Dennise Lilian Tellez-Nuñez3; Fidel Pacheco García Genoveva Rosano-Ortega2,3; Jorge Antonio Ascencio-Gutiérrez. (2005). Química y Fitoremediación de la Presa Manuel Ávila Camacho “Valsequillo” Puebla, Pue, diciembre 2014, de 1 Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). 2 Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Facultad de Química. 3 Universidad Autónoma del Estado de Puebla, A.C. (UPAEP) § Sitio web: [http://www.uaemex.mx/Red\\_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TA/EO/TAO-52.pdf](http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TA/EO/TAO-52.pdf)
16. Ærtebjerg, G., J. H. Andersen y J. W. Hansen. W. 2003. Nutrients and Eutrophication in Danish Marine Waters. A Challenge for Science and Management. National Environmental Research Institute.
17. Vollenweider, R. A., F. Giovanardi, G. Montanari y A. Rinaldi. 1998. Characterization of the Trophic Conditions of Marine Coastal Waters with Special 148 Reference to the NW Adriatic

- Sea: Proposal for a Trophic Scale, Turbidity and Generalized Water Quality Index. *Environmetrics*, 9: 329-357.
18. Stolte, W., T. McCollin, A. Noordeloos y R. Riegman. 1994. Effect of nitrogen source on the size distribution within marine-phytoplankton populations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 184: 83-97.
  19. Thurston, R.V., R.C. Russo, R.J. Luedtke, C.E. Smith, E.L. Meyn, C. Chakoumakos, K.C. Wang, and C.J.D. Brown. 1984. Chronic toxicity of ammonia to rainbow trout. *Trans. Am. Fish. Society* 113:56-73
  20. Smith, W.E., T.H. Roush, and J.T. Fiandt. 1984. Toxicity of Ammonia to Early Life Stages of Bluegill (*Lepomis macrochirus*). EPA-600/x- 84-175. In-house report, U.S. EPA, Duluth, MN.
  - 21.
  22. Nixon, S. W. 1995. Coastal Marine Eutrophication: A definition, Social Causes, and Future Concerns. *Ophelia*, 41: 199-219. 136 Nixon, S. W. 1998. Enriching the sea to death. *Sci. Am.*, 9(3): 48-53.
  23. Carlson, R. E. 1977. A Trophic State Index for Lakes. *Limnol. Oceanog.*, 2(2): 361-369.
  24. Richardson, K. 1997. Harmful or exceptional phytoplankton
  25. OSPAR. 1998. Commission for international cooperation on the protection of the marine environment of the North-East Atlantic. <http://www.ospar.org/n> blooms in the marine ecosystem. *Adv. Mar. Biol.*, 31: 301-385. 141 Riley, 1963. *Anal. Chim. Acta.* 9: 575.
  26. Agustin, Quiroz-Flores, María Guadalupe Miranda –Arce y Antonio Lot-Helgueras 2008 Núm.25,pp 127-133,ISSN 1405-2768; Estudio comparativo de algunas variables fisicoquímicas del agua en canales secundarios de Xochimilco con y sin *Eichhornia Crassipes* (Martius) Solms-Laubach)