



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD DURANGO**

**EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA
PARA VIDA ACUÁTICA, EN EL SALTITO, NOMBRE DE DIOS,
DGO.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
EN GESTIÓN AMBIENTAL**

PRESENTA

Gloria García Rodríguez

DIRECTOR:

Dra. María Elena Pérez López



DURANGO, DGO., DICIEMBRE DEL 2011



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 18:00 horas del día 1 del mes de Diciembre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR-IPN DGO para examinar la tesis titulada:

Evaluación de los cambios de la calidad del agua para vida acuática en El Saltillo, Nombre de Dios, Dgo

Presentada por el alumno:

GARCÍA

RODRÍGUEZ

GLORIA

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre(s)

Con registro:

B	0	9	1	1	9	7
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dra. María Elena Pérez López

Dra. Martha Rosales Castro

M. en C. Margarita Araceli Ortega Chávez

Dra. Celia López González

M. en C. María Berenice González Maldonado

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. José Antonio Ávila Reyes



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.D.I.R.
UNIDAD DURANGO
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTORES DE TESIS

México, D.F. a 17 de Diciembre del 2010

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR –IPN Durango en su sesión Ordinaria No. 12 celebrada el día 7 del mes de Diciembre conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

GARCÍA	RODRÍGUEZ	GLORIA
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre (s)
		Con registro: B 0 9 1 1 9 7

Aspirante de: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:
"Evaluación de los cambios de la calidad del agua para vida acuática en El Saltillo, Nombre de Dios, Dgo."

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

2.- Se designan como Directores de Tesis a los Profesores:
Dra. María Elena Pérez López y Dra. Martha Rosales Castro

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:
CIIDIR-IPN Unidad Durango
que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Directores de Tesis

Dra. María Elena Pérez López

Aspirante

Gloria García Rodríguez

Dra. Martha Rosales Castro

Presidente del Colegio

Dr. José Bernardo Proel Nájera





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de **DURANGO, DGO.**, el día **02** del mes **DICIEMBRE** del año **2011**, el (la) que suscribe **GARCÍA RODRÍGUEZ GLORIA** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL** con número de registro **B091197**, adscrito a **CIIDIR- IPN UNIDAD DURANGO**, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la **DRA. MARÍA ELENA PÉREZ LÓPEZ** y la **DRA. MARTHA ROSALES CASTRO** y cede los derechos del trabajo intitulado **“EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA VIDA ACUÁTICA EN EL SALTITO, NOMBRE DE DIOS, DGO”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **gloria_gr86@hotmail.com**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Gloria García R.

GLORIA GARCÍA RODRÍGUEZ

Nombre y firma

La presente investigación se realizó en el paraje El Saltito, en el Municipio de Nombre de Dios, Dgo., y las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Ciencias Ambientales del CIIDIR- IPN Unidad Durango del Instituto Politécnico Nacional, bajo la dirección de la Dra. María Elena Pérez López.

DEDICATORIA

A mis padres, con todo mi cariño:

Eloy García Escobedo

Y

Hortensia Rodríguez Andrade.

A mi esposo:

Diego A. Contreras T.

A mis hermanos:

Sara, Chely, Lolo y Eloy.

A MIS AMIGOS, COMPAÑEROS Y MAESTROS

MIL GRACIAS

QUE DIOS LOS BENDIGA

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por la oportunidad de vivir esta experiencia y por la fuerza para continuar en los momentos difíciles.

A mis padres, mi familia y mi esposo, por todo su apoyo, por haber creído en mí, por su confianza y amor, que dios los bendiga.

A mi director y codirector de tesis: Dra. María Elena Pérez López y Dra. Martha Rosales Castro, por su apoyo y conocimientos compartidos, así como su colaboración en los muestreos realizados.

A mis asesores de tesis: Dra. Celia López González y M. en C. Margarita Ortega Chávez, por su disposición, colaboración y apoyo en la realización del presente trabajo.

A la M. en C. Berenice González, y al M. en C. Raúl Muñiz, por sus acertados comentarios que contribuyeron a enriquecer el presente trabajo de investigación.

Al Instituto Politécnico Nacional y al CONACyT, por el apoyo económico otorgado durante el trabajo de investigación con lo cual se concluyó satisfactoriamente.

Al CIIDIR-IPN UNIDAD DURANGO, por la oportunidad de crecer profesionalmente y por la realización del presente trabajo.

Al C. Jaime Acevedo Ibarra, por su apoyo en los muestreos realizados, por su entera disposición, sus ganas de trabajar y su empeño en todo lo que hace, una persona muy valiosa dentro de la institución.

A mis amigos y compañeros de generación por todas las experiencias compartidas, por los buenos y malos momentos, fue un placer compartir con todos ustedes una etapa más de mi formación profesional, mis mejores deseos para cada uno de ustedes y adelante!!

Y a todas las personas que de manera directa o indirecta me apoyaron y colaboraron para la realización del presente trabajo, Maestra Lupita Vicencio, Efraín Rodríguez, Hilda Escobedo y Liz Medina, mil gracias que dios los bendiga sin ustedes esto no hubiera sido posible.

ÍNDICE GENERAL

GLOSARIO.....	I
LISTA DE ACRÓNIMOS	II
ÍNDICE DE CUADROS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
RESUMEN	V
I. INTRODUCCIÓN	1
II.ANTECEDENTES	3
2.1 Los ríos y pozas	3
2.2 Vida acuática.....	4
2.2.1 Comunidades del medio acuático.....	4
2.3 Problemática de los ecosistemas acuáticos.....	6
2.4 Índices ambientales	7
2.5 Planteamiento del problema	10
III. JUSTIFICACIÓN	11
IV. OBJETIVOS.....	13
V.MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
5.1 Área de estudio	14
5.1.1 Geología	14
5.1.2 Clima.....	14
5.1.3 Uso de suelo y vegetación.....	14
5.2 Puntos de muestreo	15
5.3 Muestreo	15
5.4 Métodos analíticos	16
5.5 Análisis de la información	16
5.6 cálculo del índice de calidad del agua (ICA)	17
VI.RESULTADOS.....	19
6.1 Calidad del agua	19
6.2 Variación en tiempo y espacio	20
6.2.1 Oxígeno disuelto.....	20
6.2.2 potencial hidrógeno.....	21
6.2.3 Amoníaco.....	23
6.2.4 Temperatura del agua.....	24

6.2.5 Cantidad de agua	26
6.3 Índice de calidad del agua para sostener vida acuática.....	28
VII. DISCUSIÓN.....	29
VIII. CONCLUSIONES	36
IX. BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS	41

GLOSARIO

Poza.- Charca o concavidad en que hay agua estancada, zona de un río donde hay más profundidad.

Ecosistema.- Comunidad integrada por un conjunto de seres vivos interrelacionados y por el medio que habitan.

Paraje.- Lugar al aire libre, generalmente aislado o alejado de la civilización.

Estiaje.- Nivel más bajo que, en ciertas épocas del año, tienen las aguas de un río, laguna, etc., por causa de la sequía.

Caudal.- Cantidad de agua de una corriente

Cuenca.- Territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo río, lago o mar.

Afluente.- Río secundario que desemboca en otro principal, corriente de agua que no llega hasta el mar sino que desemboca en otra corriente de agua.

Tolerancia.- Condición que permite que un organismo conviva con parásitos sin sufrir daños graves, máxima diferencia que se tolera entre el valor nominal y el valor real o efectivo en las características físicas y químicas de un material, una pieza o un producto.

Sensibilidad.- Capacidad propia de los seres vivos de percibir sensaciones y de responder a muy pequeñas excitaciones, estímulos o causas.

Tóxico.- Sustancia venenosa o que produce efectos nocivos sobre el organismo:

Presa.- Lugar donde las aguas están detenidas o almacenadas.

Eutrofización.- Excesiva proliferación de algas y macrofitas en las aguas por un exceso de materia orgánica.

Contaminación.- Presencia en la atmósfera, en el agua o en la tierra, de sustancias resultantes de las actividades humanas o procedentes de procesos naturales que ocasionan efectos negativos en el hombre y en el medio ambiente.

Exótico.- Que procede de un país o cultura lejano o muy distinto del que se toma como referencia.

LISTA DE ACRÓNIMOS

ANOVA	Análisis de Varianza
APHA	American Public Health Association
CAED	Comisión de Aguas del Estado de Durango
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
DESVEST	Desviación estándar
ICA	Índice de Calidad del Agua
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
NOM	Norma Oficial Mexicana
OD	Oxígeno Disuelto
pH	potencial Hidrogeno
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SEMARNAT	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
UTM	Universal Transversal de Mercator
WWF	World Wildlife Fund

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Comparación de los valores obtenidos en los meses de muestreo para cada sitio con respecto a la Normatividad.....	19
Cuadro 2. Valores promedio de Oxígeno Disuelto (\pm DESVEST) y significancia para los sitios y fechas de muestreo. Letras iguales no diferencias estadísticamente significativas.....	21
Cuadro 3. Resultados promedio de pH (\pm DESVEST) y significancia para los sitios y fechas de muestreo. Letras iguales no diferencias estadísticamente significativas.....	22
Cuadro 4. Valores promedio de Amoníaco (\pm DESVEST) y significancia para los sitios y fechas de muestreo. Letras iguales no diferencias estadísticamente significativas.....	24
Cuadro 5. Valores promedio de temperatura del agua (\pm DESVEST y significancia para los sitios y fechas de muestreo. Letras iguales no diferencias estadísticamente significativas.....	25
Cuadro 6. Resultados del índice de calidad del agua.....	28
Cuadro 7. CALIFICACIÓN PARA LOS VALORES DE AMONÍACO	41
Cuadro 8. CALIFICACIÓN PARA LOS VALORES DE pH	41
Cuadro 9. CALIFICACIÓN PARA LOS VALORES DE OXÍGENO DISUELTO	42
Cuadro 10. CALIFICACIÓN PARA LOS VALORES DE TEMPERATURA.....	42
Cuadro 11. Pesos específicos asignados a cada parámetro (W_i), y ponderados entre 0 y 1.	42
Cuadro 12. ANOVA GENERAL.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Comunidades en el medio acuático (Montaner, 1978).	5
Fig. 2. Fuentes del agua residual y distribución	11
Fig. 3. Ubicación del área de muestreo.....	15
Fig. 4. Valores para el oxígeno disuelto en los 3 puntos y 8 meses de muestreo.	20
Fig. 5. Valores de pH en cada sitio y en los meses de muestreo y nivel óptimo.	22
Fig. 6. Cantidad de amoníaco presente en los puntos de muestreo y nivel optimo...	23
Fig. 7. Valores de temperatura del agua por sitio en los meses de muestreo	25
Fig. 8. Flujos de agua por mes	26

RESUMEN

El paraje natural denominado El Saltito localizado en el estado de Durango recibe una fuerte presión antropogénica, ya que la gestión del agua en el Valle del Guadiana ha hecho que se modifique la cantidad y calidad del agua que recibe, por lo que se desconocen las consecuencias que esto presenta para la vida acuática. Considerando esto se evaluó la cantidad y calidad del agua del paraje y para describir esta última se generó un índice específico, el cual definió la calidad a partir de parámetros simples y comparables en tiempo y espacio. Se seleccionaron tres sitios en un tramo de 4 km dentro del paraje, donde se realizaron muestreos mensuales iniciando en noviembre del 2010 y siguiendo de enero a junio del 2011, las variables evaluadas fueron pH, oxígeno disuelto, temperatura del agua, amoníaco y cantidad de agua. Los resultados de las variables fueron comparados con los estándares establecidos en la normatividad y utilizando una modificación al índice de León Vizcaíno (1991) se definieron categorías de calidad del agua. Las diferencias entre variables para sitios y fechas fueron evaluadas con un ANOVA factorial de 3x8 y una prueba Student-Newman-Keuls con una significancia de 0.05. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre sitios, fechas y su interacción. En época de estiaje el caudal llega a ser cero y solo por la presencia de pozas en el río se mantienen las especies acuáticas, la calidad de agua que se recibe del Valle del Guadiana es más crítica en los meses secos. El punto 1, por su cercanía a la mancha urbana muestra características poco favorables. Los puntos 2 y 3 muestran mejorías, ocasionadas por la autodepuración del río, el pH mostró valores desde 7.5 a cercanos a 9, el oxígeno disuelto presentó valores extremos desde menores a 1 mg/L a mayores de 10 mg/L. El contenido de amoníaco estuvo por arriba de lo establecido por la normatividad para todo el periodo de muestreo y la temperatura del agua no varió considerablemente. Respecto a la cantidad de agua, solo 2 de los siete meses de trabajo cumplen con lo establecido para el caudal ecológico y se registró un mes con caudal cero. Por lo anterior la calidad y cantidad de agua no es la adecuada para los organismos acuáticos en El Saltito y se requiere una correcta planeación en la distribución del recurso.

Palabras clave: vida acuática, calidad del agua, índices, pozas.

ABSTRACT

The natural site named El Saltito, located in the state of Durango gets a strong anthropogenic pressure due to the water management in the Valle del Guadiana region, which has changed the quantity and quality of the water El Saltito receives, the consequences of this actions on aquatic life are still unknown. Considering this, quantity and quality of the site water was evaluated, and in order to describe quality, an specific index was generated, which defined the quality using simple parameters easily comparable in time and space. Three sites were selected in a 4 km section within El Saltito, where samples were taken monthly starting on November 2010 and again from January to June 2011, the studied variables were pH, dissolved oxygen, water temperature, ammonia content and water quantity. The results of the variables were compared with the standards established in the normativity and, using the León Vizcaino index (1991), water quality categories were defined. The differences between variables for sites and dates were evaluated using a factorial ANOVA test 3x8 and Student-Newman-Keuls test with a significance of 0.05. They found statistically significant differences between sites, dates and his interaction. In dry season the flow can be zero and aquatic species are sustained only by the existence of pond in the river, the quality of the water received from the Valle del Guadiana region is more critical in the dry months. The site 1, due to its proximity to the urban zone, shows unfavorable conditions. Sites 2 and 3 show improvement, caused by the river self depuration, pH values were from 7.5 to close to 9, dissolved oxygen presented extreme values from under 1 mg/L to over 10 mg/L. Ammonia content was higher than allowed by the normativity for the entire sampling period and the water temperature did not change considerably. Regarding the water quantity, only 2 out of the 7 months reached the established as ecologic flow and one month presented zero flow Therefore the quality and quantity of water is not suitable for the aquatic organisms in El Saltito and a correct planning is needed in the distribution of the resource.

Key words: aquatic life, water quality, index, ponds

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de los ecosistemas acuáticos existe una interacción compleja entre los ciclos físicos y químicos, las actividades humanas perjudican a muchas especies de la fauna acuática que dependen de las condiciones bióticas y abióticas. Los criterios de calidad del agua para la protección de los organismos consideran los parámetros que tienden a definir una calidad que protege y mantiene la vida acuática en todas sus formas y etapas de vida.

Cuando por efecto de la actividad humana se aumenta el ingreso de la materia orgánica al sistema, se provocan cambios en el equilibrio original que desembocan en un aumento en las poblaciones o en alteraciones de la biota original, lo que a su vez genera gran consumo de oxígeno y mas producción de dióxido de carbono, incrementando el volumen total de biomasa. Los ecosistemas acuáticos, aunque pueden mostrar una cierta tendencia de estabilidad aparente son entidades cambiantes cuya trayectoria ecológica resulta determinada por los efectos de perturbaciones que de manera periódica o circunstancial, se presentan en ellos.

Una manera de evaluar y comunicar el estado de salud de un cuerpo de agua es mediante índices ambientales, que se utilizan para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo de manera sencilla y fácil de interpretar.

El Río Tunal, ubicado en el estado de Durango ha recibido una fuerte presión, al verterse en su cauce el agua proveniente de las actividades del 28 % de la población estatal. Por su ubicación, justo a la salida de una zona urbana y agrícola muy densa, El Saltito localizado en el municipio de Nombre de Dios, Dgo., a 10 km de la salida del Valle del Guadiana está expuesto a un grave deterioro.

Las descargas de aguas residuales en el Valle del Guadiana corresponden generalmente a las provenientes del uso urbano e industrial, con 3.85 Mm³/año para el sector industrial y 49.46 Mm³/año para el municipal o doméstico. En el municipio se encuentran 25 plantas de tratamiento de aguas residuales en operación y del volumen total que se trata el 14% se destinan al sector agrícola y el 86% a los cuerpos de agua (INEGI, 2009).

La cantidad y calidad del agua que recibe El Saltito se han modificado por las descargas de agua provenientes del Valle del Guadiana, además de que el agua es retenida para otras actividades mediante las presas, por lo que el caudal ha llegado a ser nulo en los meses secos. La única fuente de agua para las especies acuáticas son las pozas presentes en el curso del río, sin embargo la se desconoce la calidad del agua de estos reservorios y los efectos para los organismos presentes, por lo que el objetivo de nuestro trabajo es evaluar la calidad del agua, los cambios a través del tiempo y generar un índice que permita estimar la calidad del agua para la vida acuática a partir de parámetros simples y comparables en tiempo y espacio.

II. ANTECEDENTES

2.1 Los ríos y pozas

Un río es una corriente continua de agua que posee un caudal determinado, rara vez constante a lo largo del año, se forman por la acumulación del agua de lluvia y del deshielo de las montañas o por la emergencia de aguas subterráneas a la superficie terrestre. Los ríos se denominan principales cuando desembocan en un lago o en el mar, en cambio, los ríos que desembocan en otro río se nombran afluentes (Granado, 2000).

A partir del nacimiento del río se crea una corriente de agua que forma el curso del mismo, cuyo recorrido se extiende desde su cabecera hasta su desembocadura, dicho recorrido se divide en tres tramos:

- ✚ El curso alto, que incluye la cabecera y primeros kilómetros de recorrido del río, y donde predominan las grandes pendientes y las cascadas o cataratas.
- ✚ El curso medio, en el que se encuentran las pendientes más suaves con valles más abiertos y planos.
- ✚ El curso bajo, donde el río es más caudaloso y destaca la presencia de formas concretas propias de la zona de la desembocadura, como los deltas.

Un río consta de lecho, que es el fondo o superficie sobre la que fluye la corriente de agua, y cauce, que es el espacio delimitado por el máximo nivel del agua, aunque por lo general un río casi nunca ocupa todo su cauce. Finalmente un río se inscribe dentro de una cuenca hidrográfica, que es el área o región de la cual proceden sus aguas, es decir, el territorio que drena al río principal y todos sus afluentes (Montaner, 1978).

La cantidad de agua que lleva un río se denomina caudal y varía según la estación del año, el caudal es mayor en las épocas de lluvia y menor en las estaciones o meses más secos. Si un río pasa por zonas con lluvia abundante durante todo el año, será caudaloso y regular, sin embargo, si pasa por zonas con precipitaciones irregulares, sufrirá fuertes crecidas en las épocas de lluvia y quedará casi seco el resto del año, a esto se le llama estiaje (Granado, 2000).

En numerosas áreas los rasgos topográficos favorecen la formación de vasos naturales en distintos tramos del curso de un río. Al ingresar a tales vasos o pozas, dependiendo de la profundidad y la forma que éstos tengan, las aguas cambian de velocidad. Con ello, la dinámica térmica y de intercambio gaseoso del agua se modifican, en parte porque aunque existe cierto flujo, el volumen contenido en la poza puede ser grande y entonces la mayor parte de éste no logra tener movimiento (Sánchez *et al*; 2007).

De ahí que las características del agua en las pozas pueden ser radicalmente diferentes a las del resto del curso del río, y de igual forma la composición y distribución de especies de flora y fauna acuáticas tendrá que ser también distinta (Zambrano, 2003).

2.2 Vida acuática

Las pozas que nos ocupan se comportan como sistemas lóticos, es decir, aguas que no presentan corriente continua por lo menos en su mayor parte. La composición de la biota de un ambiente acuático como este está determinada por las condiciones ambientales, la producción primaria y la degradación de la materia orgánica resultado de la actividad de microorganismos, principalmente algas y bacterias (Zambrano, 2003).

Las redes tróficas en estos sistemas llegan en algunos casos a ser bastante complejas, pero en general, los organismos mineralizan las sustancias orgánicas presentes en el agua transformándolas en nutrientes, que son liberados al medio y soportan la productividad primaria del sistema, representada por organismos con clorofila (algas y plantas acuáticas), que a su vez proveen la materia orgánica y parte del oxígeno para el resto de la red, compuesta por distintos micro y macro invertebrados, anfibios, réptiles, peces, e incluso aves y mamíferos (Prosperi, 2006).

2.2.1 Comunidades del medio acuático

Las condiciones físicas y químicas predominantes en los ecosistemas acuáticos determinan el tipo de organismos que pueden vivir en ellos. Se describe a continuación la clasificación ecológica de los organismos acuáticos dependiendo del lugar en el que habitan:

Plancton. Son organismos que viven suspendidos en las aguas y que, por carecer de medios de locomoción o ser estos muy débiles, se mueven o se trasladan a merced de los movimientos de las corrientes, generalmente son organismos pequeños. El fitoplancton representa el primer eslabón de la cadena alimenticia, junto con las plantas superiores que habitan las aguas dulces (Álvarez, 2006).

Necton. Organismos que nadan libremente en el agua por poseer un sistema de locomoción eficiente que les permite trasladarse de un lugar a otro. Pueden recorrer largas distancias, en algunos casos, en contra de los movimientos del agua o de las corrientes. En aguas dulces, los peces son los principales representantes de esta clase, aunque también encontramos algunas especies de anfibios y otros grupos (insectos, rotíferos y crustáceos) (Montaner, 1978).

Bentos. Comprende los organismos que viven en el fondo o fijos a él y por tanto dependen de éste para su existencia. La mayoría de los organismos que forman el bentos son invertebrados.

Neuston. Organismos que se encuentran o se trasladan por la película superficial de las aguas dulces, principalmente en aguas lénticas o estancadas, entre los cuales se encuentran los escarabajos (coleópteros), arácnidos y algunos hemípteros.

Perifiton. Organismos vegetales y animales que se adhieren a los tallos y hojas de plantas con raíces fijas en el fondo (Álvarez, 2006).

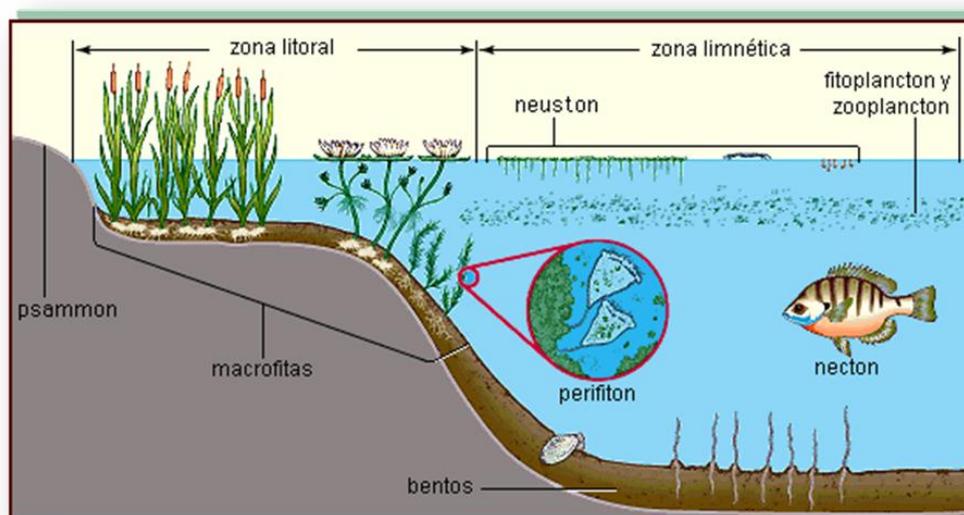


Fig. 1. Comunidades en el medio acuático (Montaner, 1978).

2.3 Problemática de los ecosistemas acuáticos

Los ecosistemas acuáticos tienen propiedades de resistencia al cambio y un cierto grado de resiliencia que tiende a volverlos al estado original luego de experimentar cambios moderados. Sin embargo, una vez alterados más allá del límite que puede ser manejado por esas dos propiedades, los entornos acuáticos no necesariamente regresarán a su estado inicial, especialmente porque su estabilidad temporal depende de un balance específico entre muchos factores.

Dada la fragilidad de éstos, factores como la extracción excesiva de agua, el vertimiento de desechos o la introducción de especies exóticas representan un alto riesgo. Por ejemplo, los límites volumétricos de un cuerpo de agua le permiten solamente una cierta capacidad de dilución y degradación de contaminantes, excedido el límite, todo ecosistema acuático empezará a deteriorarse, y no siempre con una tasa predecible ni de manera reversible (Prosperi, 2006).

El aporte de nutrientes de manera excesiva a los cuerpos de agua ocasiona un incremento de algas y macrófitas, provocando un deterioro de la calidad. Este proceso se denomina **eutrofización**, y se define como el cambio de un estado trófico a otro de nivel superior por adición de nutrientes (Zambrano, 2003). La eutrofización tiene como consecuencias: el incremento de la biomasa, reducción de la transparencia y la disponibilidad de luz, aumento de la materia orgánica sedimentable, disminución de la concentración de oxígeno disuelto en las aguas del fondo y obstrucción de los canales de riego por las malas hierbas acuáticas.

Las especies exóticas representan un problema porque las especies locales no han estado expuestas al contacto con esas especies ajenas y pueden resultar depredadas o desplazadas por competencia ecológica o incluso, contagiadas con enfermedades que no existían originalmente en el sitio (Romero, 2010).

2.4 Índices ambientales

Una forma de representar la calidad ambiental es mediante el uso de índices, que implica clasificar datos que describen el agua, aire o suelo de un área particular para obtener un número que permita simplificar la información (Álvarez, 2006).

Los objetivos de los índices ambientales son:

1. Resumir los datos ambientales existentes,
2. Comunicar información sobre la calidad del medio afectado
3. Evaluar la vulnerabilidad o susceptibilidad a la contaminación de una determinada categoría ambiental
4. Centrarse selectivamente en factores ambientales claves, que permitan una visualización rápida y objetiva de la situación del entorno.

Los índices ambientales son instrumentos útiles para descripción del medio, facilitan la búsqueda y la síntesis de datos, colaboran en la comunicación de la información sobre la calidad ambiental previa y proporcionan una base estructurada para la predicción y evaluación de impactos (Canter, 1998).

2.4.1 Índice de calidad del agua (ICA)

Para que un índice sea práctico se debe reducir la cantidad de parámetros a una forma simple, ya que el monitoreo conduce a obtener una inmensa cantidad de datos, lo que hace difícil detectar patrones (Canter, 1998; Chapman, 1992). Para este estudio se utiliza el modelo propuesto por León Vizcaíno (1991), quien manejó 16 parámetros para evaluar la calidad del agua para diversos usos.

En El Saltito se pretende conocer la calidad del agua para sostener vida acuática, por lo que se modificó el modelo utilizado por León Vizcaíno (1991) para reducir la cantidad de parámetros a sólo aquellos que potencialmente tienen importancia para ésta. La Secretaría de Pesca (1988) propone 4 parámetros (oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua y amoníaco) de calidad para sostener peces y marca los rangos de tolerancia para cada uno de estos.

La vida acuática involucra gran variedad de organismos que viven bajo determinadas condiciones y que dependen unos de otros para vivir, así que las condiciones que afectan a determinados organismos en menor o mayor medida también afectan a todos los componentes del sistema. Se emplearon los

parámetros establecidos por la Secretaría de Pesca asumiendo que midiéndolos se tiene una visión general de lo que ocurre en los ecosistemas acuáticos. Dichos parámetros se definen a continuación:

Oxígeno Disuelto (OD): El oxígeno proviene del intercambio con la atmósfera y como producto de la fotosíntesis, llevada a cabo por las plantas acuáticas y algas. El oxígeno es utilizado durante la respiración de productores, consumidores y descomponedores. Es común observar variaciones diarias y estacionales en los valores de oxígeno en el agua. El oxígeno se mide en partes por millón (ppm) o su equivalente en miligramos por litro (mg/L) (Chapman, 1992; APHA, 1995).

El crecimiento descontrolado de algas y plantas acuáticas aunado a una alta concentración de materia orgánica pueden afectar negativamente los niveles de oxígeno disuelto en el agua. Cuando estos niveles caen por debajo de 5.0 mg/L, la vida acuática corre riesgo. Al llegar a niveles menores a 2 mg/L, los peces y muchos de los invertebrados sufrirán mortalidad, al punto en que un cuerpo de agua puede llegar a condiciones de anoxia (Chapman, 1992; APHA, 1995).

Temperatura: La temperatura es un factor importante en la distribución, periodicidad y reproducción de los organismos. La temperatura afecta directamente los procesos biológicos y fisicoquímicos, incluyendo los nutrientes que se encuentran en el agua, particularmente afecta la solubilidad de muchos elementos y principalmente el oxígeno disuelto, en condiciones normales a medida que aumenta la temperatura, la solubilidad del oxígeno es menor (Chapman, 1992; APHA, 1995).

Los organismos tienen un límite superior e inferior de tolerancia térmica y temperaturas óptimas para su crecimiento, incubación de huevecillos, índice de conversión de alimentos y resistencia a determinadas enfermedades. Los valores óptimos de temperatura llegan a ser diferentes y pueden cambiar según otros factores como la presión, oxígeno y el pH del agua. La toxicidad de algunas sustancias, tales como los metales pesados aumenta con la elevación de la temperatura (Secretaría de Pesca, 1988).

Contenido de amoníaco/amoníaco: El amoníaco no ionizado (NH_3) es tóxico para los peces, pero el amoníaco ionizado (NH_4), no lo es. Se ha establecido que los niveles tóxicos de NH_3 , es de 0.007 mg/L para la mayoría de las especies,

durante cortos periodos de tiempo. Altas concentraciones de amoníaco producen incremento en el consumo de oxígeno por los tejidos, daña las branquias y reduce la capacidad de transporte de oxígeno por la sangre (Secretaría de Pesca, 1988).

El pH: Un intervalo de pH de 6.0 a 9.0 brinda protección a la vida de los peces de agua dulce y a invertebrados que habitan en el fondo. El impacto medio ambiental más significativo del pH comprende efectos sinérgicos. La sinergia comprende la combinación de dos o más sustancias que producen efectos mayores a su simple adición, este proceso es importante en aguas superficiales (Chapman y Kimtsach, 1992).

2.5 Planteamiento del problema

El Río Tunal, uno de los más cortos en el estado de Durango ha recibido una fuerte presión, porque en su cauce se vierte el agua residual industrial, doméstica y agrícola del 28 % de la población estatal. Una de las áreas afectadas por esta problemática es el paraje natural conocido como El Saltito, ubicado en el municipio de Nombre de Dios, a 10 km de la salida del Valle del Guadiana, lugar que fuera conocido por su belleza natural y diversidad de especies.

Sus condiciones se han modificado por la calidad y cantidad de agua que recibe, resultado de la construcción de presas río arriba ya que es retenido para riego, por lo que el caudal ha llegado a ser nulo en temporada de estiaje.

Aun cuando el río no presenta corriente en temporada de estiaje, la presencia de pozas en el curso del río representa la única opción de supervivencia para las especies acuáticas que se concentran en ellas. Sin embargo la calidad del agua de estos reservorios es dudosa y se desconoce las consecuencias que puedan tener para la vida acuática, por lo que el objetivo de nuestro trabajo es evaluar la calidad del agua de las pozas, sus cambios a través del tiempo, y generar un índice que permita estimar la calidad del agua para la vida acuática a partir de parámetros simples y comparables en tiempo y espacio.

III. JUSTIFICACIÓN

Más del 90% de la población del municipio de Durango se concentra en el Valle del Guadiana, a donde confluyen tres cauces principales: La Sauceda, Santiago Bayacora y El Tunal. Al caudal del río La Sauceda se agrega el de la Acequia Grande, una corriente artificial a través de la cual se transportan las captaciones pluviales de la ciudad de Durango, el efluente de la PTAR y descargas de algunas rancherías (Ordenamiento territorial del Municipio de Durango, 2010). Los dos primeros cauces se unen con el tercero en uno solo para ingresar al municipio de Nombre de Dios en una sola corriente llamada Río Durango.

En el estado de Durango se identifican 428 puntos de descarga residual, 102 dentro del municipio de Durango, donde CONAGUA señala que el sector industrial contribuye con 3.85 Mm³/año, el de servicios con 0.50 Mm³/año, el municipal o doméstico con 49.46 Mm³/año, lo cual da un total de 53.877 Mm³/año (CONAGUA, 2010). Por lo que se estima que la mayor parte de las aguas residuales generadas en el valle provienen del uso urbano. En cuanto a las descargas industriales la mayor parte se descargan al Río Durango y una mínima fracción corresponde a desechos agropecuarios (0.172 Mm³/año) (CAED, 2010).

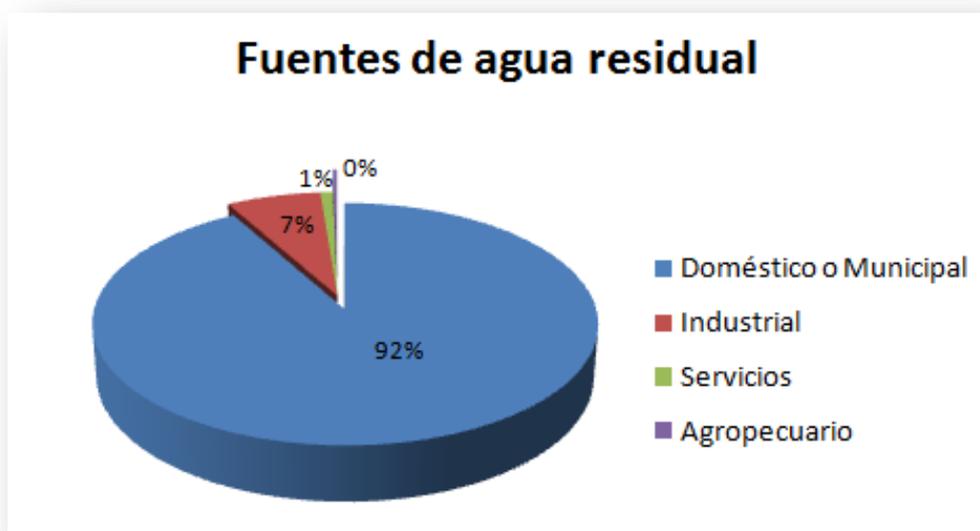


Fig. 2. Fuentes de agua residual y distribución.

Las aguas residuales del municipio de Durango son manejadas por 25 plantas de tratamiento, donde el 14% del volumen generado es destinando al sector agrícola y el 86% a los cuerpos de agua (INEGI, 2009).

A pesar de los sistemas de tratamiento para aguas residuales, las corrientes de agua superficiales del Municipio de Durango presentan espacios considerados como sépticos y eutrofizados de acuerdo a resultados obtenidos en investigaciones realizadas al respecto, donde se indica que el agua residual tratada en la PTAR es vertida en canales y acequias afluentes del río El Tunal sin cumplir con las características fisicoquímicas y microbiológicas requeridas por la NOM-001-SEMARNAT-1996 (Pérez *et al*; 2000).

Lo anterior ocasiona un desequilibrio en la productividad del ecosistema, debido al aporte de nutrientes. La presencia de flora indeseable entorpece el aprovechamiento de los ríos para la pesca, la recreación, la industria y el consumo humano. Además este deterioro contribuye a que especies exóticas tanto vegetales como animales se establezcan, y por ser resistentes y territoriales desplacen a las especies nativas.

Dado que existe deterioro en El Saltito pero no se ha medido la gravedad ni sus potenciales consecuencias, es importante conocer la calidad del agua que recibe y saber si presenta las características adecuadas para los organismos que ahí se desarrollan, mediante un índice que sea una herramienta sencilla, fácil de interpretar y de utilidad al personal que toma las decisiones sobre el agua y al público en general. Con la información que se genere se creará una clasificación descriptiva que permita a dependencias y encargados de la administración del agua realizar una gestión adecuada del recurso.

IV. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar los cambios de la calidad del agua en el paraje El Saltito Nombre de Dios, Dgo, con la finalidad de establecer su factibilidad para mantener vida acuática.

Objetivos específicos

- ✚ Evaluar la calidad del agua en tres sitios del paraje El Saltito con muestreos mensuales.
- ✚ Determinar diferencias en calidad del agua por parámetro para los sitios con respecto a la fecha de muestreo.
- ✚ Establecer un índice de calidad del agua sencillo y fácil de usar para sostener vida acuática que describa los cambios encontrados en tiempo y espacio.

V.MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDIO

El paraje El Saltito se localiza al sureste del Estado de Durango, en el Municipio de Nombre de Dios, su principal atractivo son las tres cascadas formadas por las aguas del río Tunal y su poza. Las cascadas caen desde una altura de 11 metros a una gran poza de la cual mana alrededor de 800 L/minuto que en tiempo de estiaje es la única fuente de agua que recibe el ecosistema de ribera de aguas abajo. Tradicionalmente el lugar era visitado por cientos de familias de Durango y otros estados, incluso se llegó a ubicar un restaurante para atender a los turistas, sin embargo los problemas de contaminación deterioraron las condiciones naturales del sitio.

5.1.1 Geología

El tipo de rocas predominante en el área es ígnea extrusiva o roca volcánica, se forma al hacer erupción el magma, emerger hacia la superficie terrestre y enfriarse. El tipo de suelo es castañozem, suelos de color castaño o pardo de climas semisecos, con una capa superficial oscura, gruesa, rica en materia orgánica y nutrientes, puede haber cal o yeso en algunos lugares del suelo (INEGI, 2009).

5.1.2 Clima

El clima está determinado por el relieve y la altura del terreno. En el municipio son solo dos los climas presentes: seco semicálido y semiseco templado, siendo el segundo el clima dominante en el área. La precipitación varía de 500 a 600 mm anuales (INEGI, 2007).

5.1.3 Uso de suelo y vegetación

El área de El Saltito se caracteriza por la presencia de matorral crasicale, vegetación con predominancia de cactáceas (INEGI, 2009).

5.2 Puntos de muestreo

El presente estudio se llevó a cabo en un tramo de 4 Km del río Durango, antes El Tunal, en el municipio de Nombre de Dios, Dgo, en tres sitios de muestreo localizados en el paraje denominado El Saltillo.

- ✓ Punto 1 con una elevación de 1838 msnm y coordenadas UTM 0568675 E-13R-2651271 N.
- ✓ Punto 2 con una elevación de 1828 msnm y coordenadas 0569095 E-13R-2650008 N.
- ✓ Punto 3 con una elevación de 1813 msnm y coordenadas 0569677 E-13R-2648294 N.

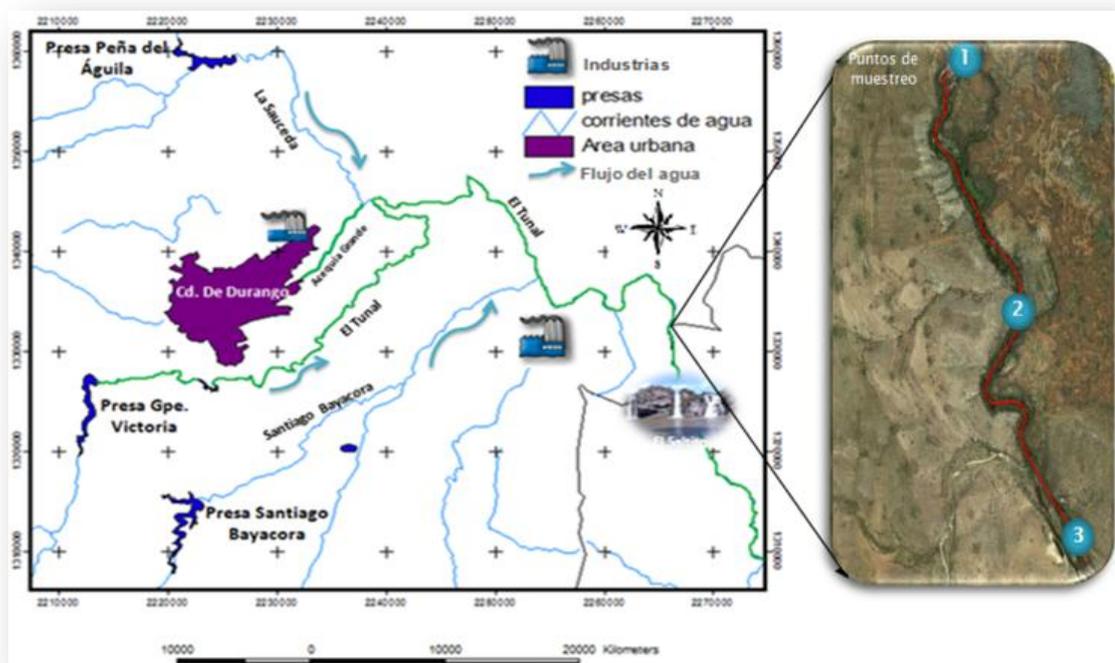


Fig.3 Ubicación del área de muestreo

5.3 Muestreo

Para determinar la calidad de agua se realizó un muestreo mensual en noviembre del 2010 y de enero a junio del 2011.

En cada punto se tomaron muestras por duplicado en frascos de 1 L y de 250 mL, estas fueron tomadas en el centro del cauce con una diferencia de tiempo de 15 minutos. La muestra de 250 mL se acidificó con ácido sulfúrico concentrado para fijar el amoníaco y poder realizar posteriormente los análisis de laboratorio.

Las variables evaluadas fueron: pH, temperatura del agua, oxígeno disuelto y amoníaco.

Otro aspecto fundamental para el equilibrio de los ecosistemas acuáticos es la cantidad de agua que recibe (flujo) durante el año, mismos que se modifican por la presencia de reservorios de agua. Éste fue medido en el lugar de aforo establecido por la CNA (Estación Hidrométrica El Saltito), con las medidas de largo, profundidad y velocidad de la corriente se calculó un flujo aproximado en L/s.

5.4 Métodos analíticos

El oxígeno disuelto (OD), la temperatura del agua y el pH se midieron a 30 cm de profundidad en el centro del cauce usando un medidor de OD (HACH HQ 40d), el pH se rectificó en laboratorio con un potenciómetro marca Orión modelo 230A, calibrado con soluciones buffer marca J. T. Baker de pH 4y 10.

El amoníaco se determinó colorimétricamente usando un kit AMMONIA, de Aquarium Pharmaceuticals, Inc., que reacciona dependiendo de la cantidad de amoníaco que contenga la muestra, la absorbancia registrada fue a una longitud de onda de 570 nm detectada en un espectrofotómetro marca HACH 5000.

5.5 Análisis de la información

Los datos promedio por sitio y fecha fueron incluidos en tablas y gráficos y se compararon de manera visual con los estándares de calidad del agua para sostener vida acuática bajo el Criterio Ecológico de Calidad de Agua CE-CCA-001/89, DUE, 1989 y el del Building Block Methodology (2000).

Para validar las diferencias de la calidad del agua entre sitios y fechas se utilizó un ANOVA de arreglo factorial 3x8, donde tres representa a los sitios y 8 el número de veces (fechas) que se visitaron los sitios de muestreo, habiendo dos repeticiones por celda. También se examinaron las posibles interacciones entre los dos factores. Para conocer las diferencias específicas entre sitios y fechas se utilizó la prueba Student-Newman-Keuls. Todos los análisis se realizaron en el programa Statistica ver. 7.0 (Stat. Soft. Inc., 1984-2004) con valor de significancia de 0.05.

5.6 Cálculo del índice de calidad del agua (ICA)

El cálculo se realizó utilizando los 4 parámetros considerados como determinantes para sostener vida acuática recomendados por la Secretaría de Pesca (1988). El ICA utilizado es el descrito por León Vizcaíno (1991), el cual tiene una fórmula multiplicativa.

Se realizó la ponderación de las variables seleccionadas (cuadro 11) asignando valores (W_i) dependiendo de la importancia de los parámetros en relación al riesgo que implique el aumento o disminución de éstos para la vida acuática. Para este estudio en particular al amoníaco se le asignó el valor de ponderación más alto (0.29) ya que es tóxico y aumentos pequeños en su concentración producen efectos negativos sobre la vida acuática, al oxígeno disuelto se le dio un valor de 0.26 dado que es otro parámetro en el cual pequeños cambios en concentración tienen efectos considerables.

En el extremo, niveles menores de 2 mg/L causan mortandad. El valor de ponderación del pH es de 0.25 por la relación que guarda con la presencia del amoníaco, ya que se forma a pH alcalinos. Por último la temperatura del agua tiene un valor de ponderación de 0.20 ya que los organismos acuáticos presentan un intervalo de tolerancia mayor y cambios ligeros no los afectan significativamente.

Para la calificación de los parámetros en función de su concentración (Q_i) se utilizaron los valores que establece la Secretaría de Pesca (Lineamientos Normativos para Sanidad y Nutrición Acuícola en México, 1988) como los óptimos y a partir de éstos se asignó una calificación en porcentaje mediante una escala de conveniencia de 0 a 100 donde los valores óptimos se califican como 100 y valores hacia abajo o arriba de los óptimos van disminuyendo su calificación de 25 en 25, con un valor mínimo de 10 (tablas 7,8,9 y 10).

Para calcular el valor del ICA, se utilizó la siguiente ecuación:

$$ICA = \prod_{i=1}^n [Q_i^{W_i}] \dots\dots\dots Ecuación 1$$

Dónde:

W_i = son los pesos específicos asignados a cada parámetro (i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Q_i = es la calidad del parámetro (i), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100.

\prod = representa la operación multiplicativa de las variables Q elevadas a la W.

Finalmente se obtiene un número entre 0 y 100 que califica la calidad de acuerdo al valor en:

70-100 Excelente (E) - Vida acuática abundante.

60-70 Aceptable (A) - Límite para peces muy sensitivos.

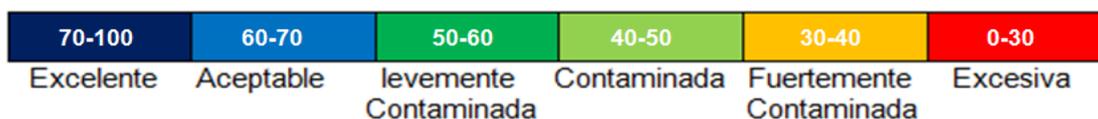
50-60 Levemente Contaminada (LC) - Dudosa la pesca sin riesgos de salud.

40-50 Contaminada (C) - Vida acuática limitada a especies muy resistentes.

30-40 Fuertemente Contaminada (FC) - Inaceptable para actividad pesquera.

0-30 Excesivamente Contaminada (EC) - Inaceptable para vida acuática.

ESCALA DE CALIDAD DE AGUA (tomada de León-Vizcaíno, 1991)



VI.RESULTADOS

6.1 Calidad del agua

Al comparar los valores de pH, temperatura del agua oxígeno disuelto y amoníaco con la normatividad establecida se tiene que el agua cumple con lo establecido para oxígeno disuelto y pH en los meses de noviembre, enero y febrero. La cantidad de amoníaco detectado en todos los meses sobrepasa los límites marcados para sostener vida acuática. Respecto a la temperatura los valores que estuvieron fuera de los límites que marca la Secretaria de Pesca son los meses de noviembre, enero y febrero que son los meses de invierno, ver **Cuadro 1**.

Cuadro 1. Comparación de los valores obtenidos en los meses de muestreo para cada sitio con respecto a la Normatividad.

PARÁMETROS		Unidades de pH	Temp. del agua (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	N-(NH ₄ ⁺ /NH ₃) Amonio/ amoníaco (mg/L)
Normatividad para vida acuática		7- 8	15 – 28	5	0.007
MESES DE MUESTREO	NOVIEMBRE	7.47	13	4.97	0.03
		7.87	13	6.2	0.11
		7.54	16	6.66	0.08
	ENERO	7.82	10.3	4.63	0.23
		8.09	11.7	6.25	0.21
		7.96	13.6	6.66	0.27
	FEBRERO	7.64	8	4.7	0.08
		8.09	8.5	6.32	0.08
		8.1	10.3	7.49	0.06
	MARZO	8.14	19	6.22	0.04
		8.72	17	11.58	0.06
		8.95	16.4	10.28	0.12
	ABRIL	8.04	18	1.82	0.21
		8.79	17.5	8.75	0.11
		8.73	20.2	7.86	0.02
	MAYO	8.21	17.8	1.26	0.025
		8.84	18.8	6.90	0.055
		8.60	19.1	5.14	0.080
	MAYO 2	8.54	22.9	5.23	0.043
		8.46	20.5	1.83	0.02
		8.45	23.5	6.32	0.02
JUNIO	8.64	23.3	5.99	0.041	
	8.81	21	4.69	0.078	
	8.74	24.2	4.80	0.053	

En azul se muestra los valores que sobrepasan los límites establecidos según el **Criterio Ecológico de Calidad de Agua CE-CCA-001/89, DUE, 1989, el del Building Block Methodology (2000) y la Secretaria de Pesca (1988)**, cada mes presenta 3 valores que representan los puntos 1, 2 y 3.

En general son pocos los meses que están dentro de los límites establecidos por la normatividad para los parámetros evaluados, siendo el amoníaco el parámetro fuera de norma para todo el periodo de muestreo.

6.2 Variación en tiempo y espacio

En la siguiente sección se describe lo encontrado para cada parámetro en los meses de muestreo, el resultado del ANOVA (ver Anexo), la comparación de los valores con la normatividad y la clasificación del ICA.

6.2.1 Oxígeno disuelto

Para oxígeno disuelto (OD) se encontraron diferencias significativas en el ANOVA entre sitios ($F = 457$, $P = 0$), meses ($F = 242$, $P = 0$) y su interacción ($F = 119$, $P = 0$). Con respecto a los sitios el 1 varió de 1 a 6 mg/L, éste presentó los valores más bajos, para el mes de mayo. El punto 2 presentó mayor variación con valores que oscilaron de 1.85 a 11 mg/L y el punto 3 reportó las mejores condiciones con valores de 4 a 9 mg/L.

Respecto a los meses, el mes de mayo muestra un descenso en el OD para los puntos 1 y 3 y el mes de marzo mostró incremento para los tres puntos. En la mayoría de los meses de muestreo los valores registrados para el punto 1 estuvieron abajo del valor óptimo y los puntos 1 y 3 arriba del óptimo (Fig.4).

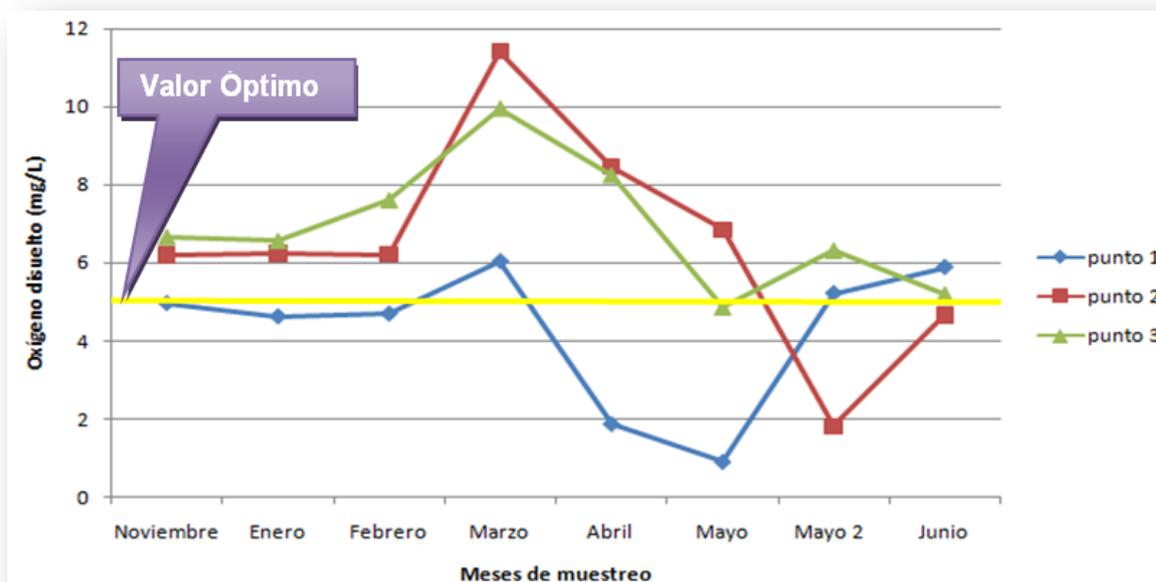


Fig.4. Valores para el oxígeno disuelto en los 3 puntos y 8 meses de muestreo.

Cuadro2. Valores promedio de Oxígeno Disuelto (\pm DESVEST) y significancia para los sitios y fechas de muestreo. Letras iguales no diferencias estadísticamente significativas.

MESES	Valores en mg/L					
	1	SITIOS 2	3	Media	Desviación estándar (\pm)	significancia
Noviembre	5	6.2	6.7	5.9	0.9	c
Enero	4.6	6.3	6.7	5.8	1.1	c
Febrero	4.7	6.3	7.5	6.2	1.1	c
Marzo	6.2	11.6	10.3	9.4	2.3	d
Abril	1.8	8.7	7.9	6.1	3.8	c
Mayo	1.3	6.9	5.1	4.4	2.9	a
Mayo 2	5.2	1.8	6.3	4.5	2.3	a
Junio	6.0	4.7	4.8	5.2	0.7	b
Media	4.4	6.5	6.9			
Desviación estándar (\pm)	1.8	2.8	1.7			
significancia	a	b	c			

6.2.2 Potencial hidrógeno

Para el pH se encontraron diferencias significativas en el ANOVA entre sitios ($F = 35$, $P = 0$), meses ($F = 41$, $P = 0$) y su interacción ($F = 3.6$, $P = 0$). Con respecto a los sitios el número 1 fue diferente con respecto a los otros dos que no presentaron diferencias significativas entre ellos. Respecto a los meses: noviembre, enero y febrero mostraron diferencias significativas (Cuadro 3).

Los valores de pH sobrepasaron el nivel óptimo en todos los meses con excepción de noviembre, el punto 1 tuvo los valores más adecuados. Los tres puntos mostraron una tendencia ascendente en el periodo de muestreo. Para el mes de noviembre todos estuvieron cerca del nivel óptimo pero para el último mes de muestreo el valor subió a cerca de 9 para los tres puntos (Fig. 5).

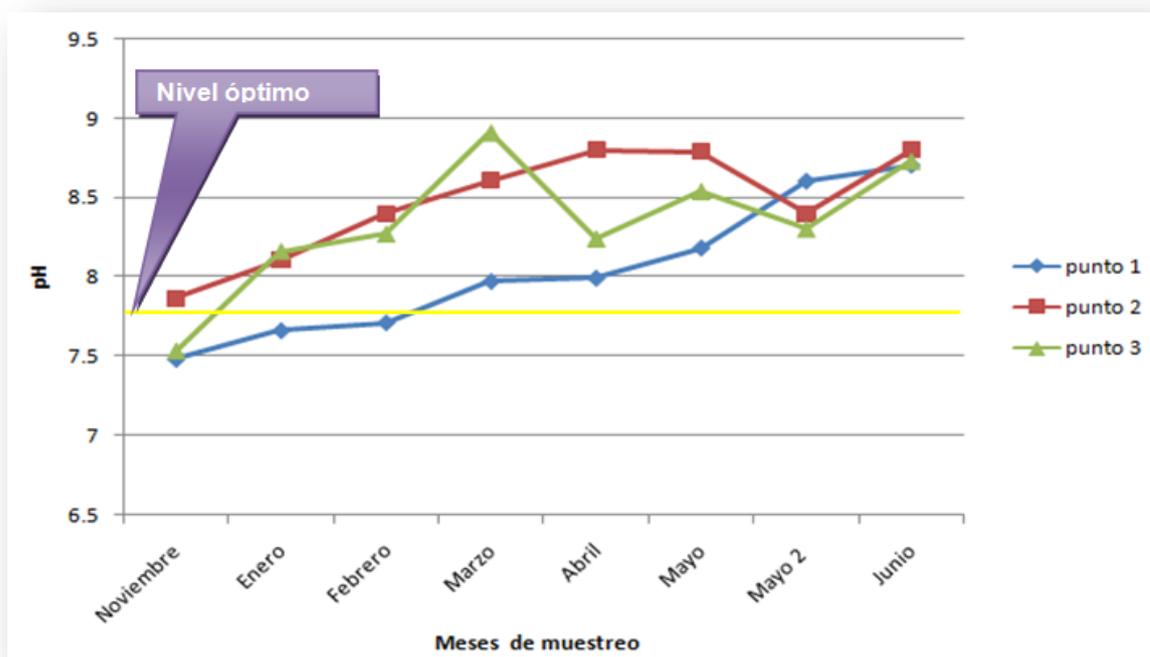


Fig.5. Valores de pH en cada sitio y en los meses de muestreo y nivel óptimo.

Cuadro 3. Resultados promedio de pH (\pm DESVEST) y significancia para los sitios y fechas de muestreo. Letras iguales no diferencias estadísticamente significativas.

MESES	Valores de pH					
	1	sitios 2	3	Media	Desviación estándar (\pm)	Significancia
Noviembre	7.5	7.9	7.5	7.6	0.2	a
Enero	7.8	8.1	8.0	8.0	0.1	b
Febrero	7.6	8.1	8.1	7.9	0.3	b
Marzo	8.1	8.7	8.9	8.6	0.4	cd
Abril	8.0	8.8	8.7	8.5	0.4	cd
Mayo	8.2	8.8	8.6	8.6	0.3	cd
Mayo 2	8.5	8.5	8.4	8.5	0.1	c
Junio	8.6	8.8	8.7	8.7	0.1	d
Media	8.1	8.5	8.4			
Desviación estándar (\pm)	0.4	0.4	0.5			
Significancia	a	b	b			

6.2.3 Amoníaco

Al igual que los otros parámetros los contenidos de amoníaco mostraron diferencias estadísticamente significativas en el ANOVA entre sitios ($F = 26$, $P = 0$), meses ($F = 12055$, $P = 0$) y su interacción ($F = 1854$, $P = 0$).

Para los tres puntos en todos los meses (excepto mayo en el punto 3) la cantidad de amoníaco estuvo por arriba de los límites óptimos, para el mes de enero se encontraron las concentraciones más elevadas para los tres puntos (0.20 a 0.27 mg/L, Fig. 6). También estas cantidades fueron diferentes entre si con respecto a los meses, noviembre, febrero y marzo no difirieron de manera significativa en tanto que el resto de los meses sí (Cuadro 4).

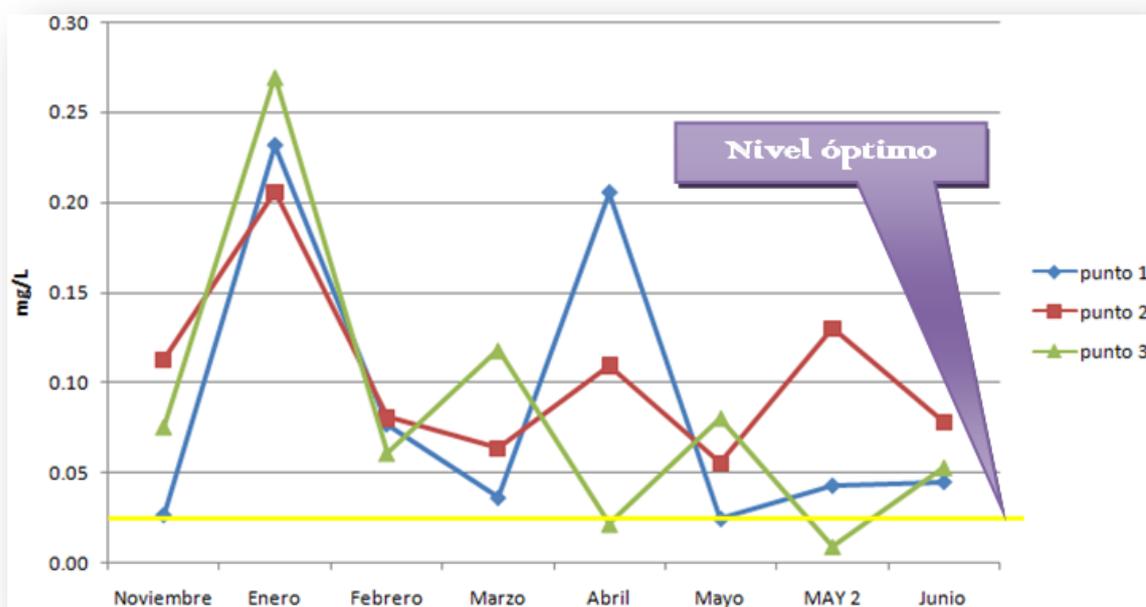


Fig. 6. Cantidad de Amoníaco presente en los puntos de muestreo y nivel optimo.

Cuadro 4. Valores promedio de Amoníaco (\pm DESVEST) y significancia para los sitios y fechas de muestreo. Letras iguales no diferencias estadísticamente significativas.

MESES	Valores en mg/L					
	1	SITIOS 2	3	Media	Desviación estándar (\pm)	significancia
Noviembre	0.03	0.11	0.08	0.07	0.04	d
Enero	0.23	0.21	0.27	0.24	0.03	f
Febrero	0.08	0.08	0.06	0.07	0.01	d
Marzo	0.04	0.06	0.12	0.07	0.04	d
Abril	0.21	0.11	0.02	0.11	0.09	e
Mayo	0.02	0.06	0.08	0.05	0.03	b
Mayo 2	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02	a
Junio	0.04	0.08	0.05	0.06	0.02	c
Media	0.09	0.09	0.09			
Desviación estándar (\pm)	0.08	0.06	0.08			
significancia	a	b	c			

6.2.4 Temperatura del agua

Para la temperatura del agua se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el ANOVA entre sitios ($F = 40$, $P = 0$), meses ($F = 442$, $P = 0$) y su interacción ($F = 8$, $P = 0$). El punto 3 fue significativamente diferente y los puntos 1 y 2 no mostraron diferencias significativas, en cuanto a los meses se encontró que mayo 2 y junio son iguales, de igual manera abril y el primer muestreo de mayo, el resto de los meses mostró diferencias significativas (Cuadro 5).

Los datos de temperatura reflejan las condiciones atmosféricas en el muestreo. Las temperaturas más elevadas se reportaron para el segundo muestreo mayo (27 de mayo del 2011) y el muestreo de junio, en contraste las más bajas que fueron en el mes de febrero con una temperatura de 8 a 10 °C (Fig. 7).

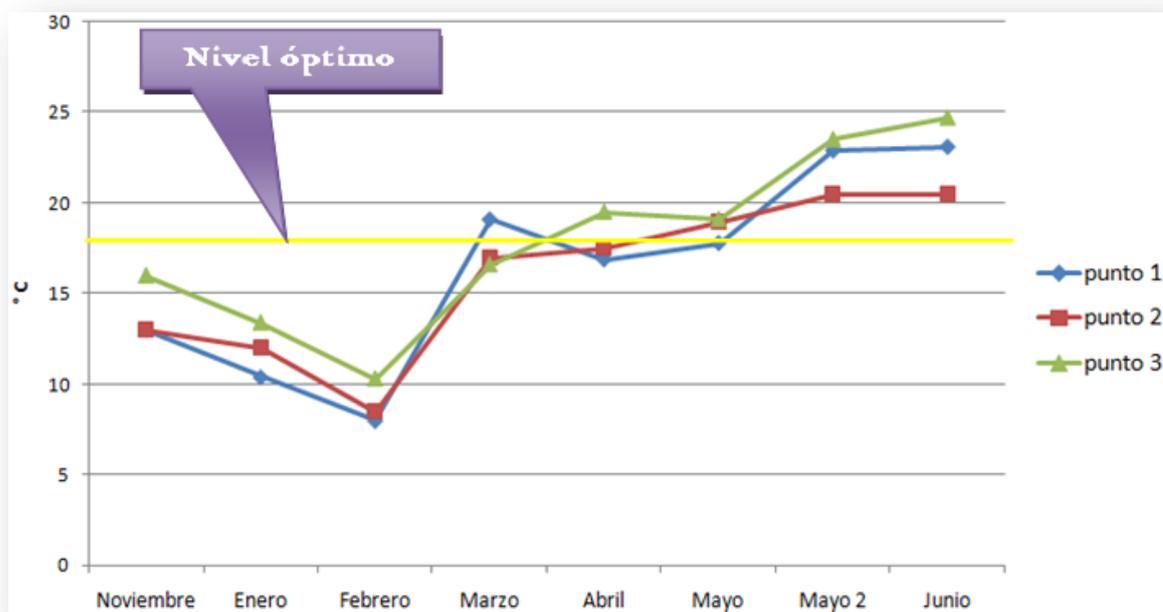


Fig. 7. Valores de temperatura del agua por sitio en los meses de muestreo

Cuadro 5. Valores promedio de temperatura del agua (\pm DESVEST y significancia para los sitios y fechas de muestreo. Letras iguales no diferencias estadísticamente significativas.

MESES	Valores en ° C					
	1	2	3	Media	Desviación estándar (\pm)	Significancia
Noviembre	13	13	16	14	1.7	c
Enero	10.4	12	13.8	12.1	1.7	b
Febrero	8	8.5	10.4	9	1.3	a
Marzo	19.2	17	16.4	17.5	1.5	d
Abril	18.2	17	20.3	18.6	1.5	e
Mayo	17.8	18	19.1	18.6	0.7	e
Mayo 2	23	20	23.4	22.3	1.5	f
Junio	22.7	21	24	22.8	1.1	f
Media	16.5	16.1	17.9			
Desviación estándar (\pm)	5.5	4.6	4.7			
Significancia	a	a	b			

6.2.5 Cantidad de agua

El flujo en el periodo de muestreo varió de 902 a 280 L/s con un máximo en 902 L/s en el mes de enero y un mínimo de 161 L/s para el mes de mayo, cabe mencionar que en el segundo muestreo del mes de mayo el río no presentó caudal, sin embargo para los primeros días del mes de junio el caudal superó la cantidad de agua registrada para mayo y aún no se presentaban lluvias, lo que indica que el agua es retenida para otras actividades al principio del año y después liberada al cauce en cantidades considerables.

En el 2009 la Fundación para la Vida Silvestre (WWF, siglas en inglés) realizó un estudio en varios puntos de la cuenca San Pedro-Mezquitlan para la determinación del caudal ecológico, que se define como la cantidad de agua que se deja correr en el ecosistema fluvial con la finalidad de recuperar o conservar el régimen natural necesario para mantener condiciones adecuadas para las comunidades biológicas presentes. El Saltito fue elegido como uno de los puntos de estudio, el caudal mínimo determinado para los meses de muestreo fue de 400 L/s.

El flujo medido por nosotros en los meses de enero y febrero estuvo por arriba de 400 L/s, cumpliendo con la cantidad de agua establecida para el caudal ecológico; sin embargo, de marzo a junio el flujo estuvo por abajo del valor mínimo requerido (Fig. 8).

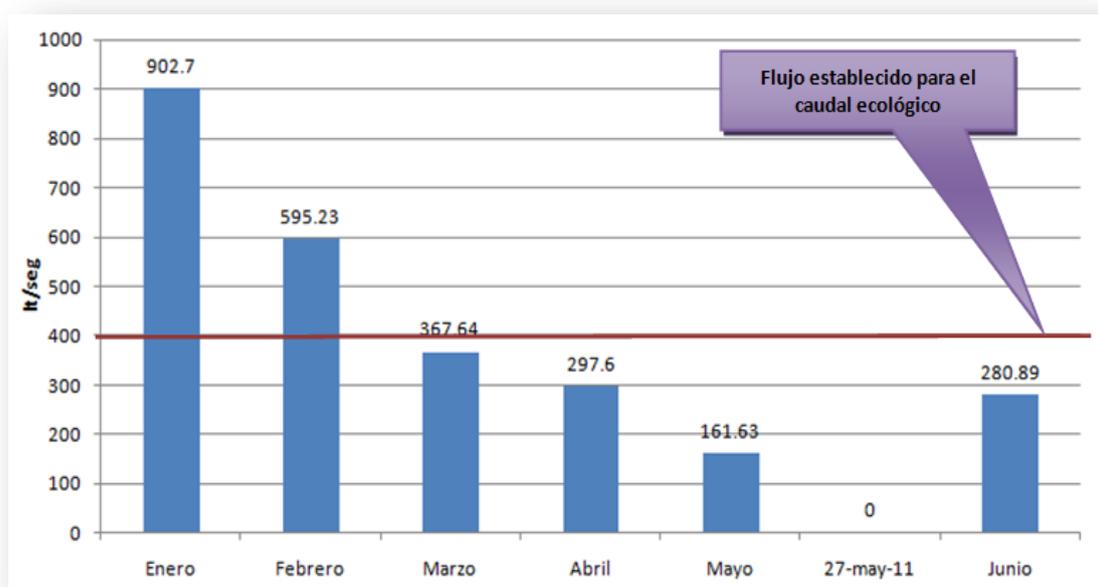


Fig. 8. Flujos de agua por mes

En general, las variables evaluadas presentaron variación respecto a los puntos y meses de muestreo siendo el punto 3 el que presentó las mejores características. El parámetro que mostró mayor variación fue el oxígeno disuelto. Los valores de amoníaco sobrepasaron lo establecido por la normatividad para todo el periodo de muestreo, el pH presentó una tendencia a subir y las temperaturas más bajas se reportaron en el mes de febrero. El caudal varió de 902 a 280 L/s reportándose el mes de mayo con caudal cero.

6.3 Índice de calidad del agua para sostener vida acuática

En general el ICA nos permite de una manera sencilla conocer la calidad del agua en los puntos y meses de muestreo, las calificaciones determinadas se muestran en el cuadro 6. Para el punto 1 las condiciones encontradas en los meses de febrero, abril y mayo fueron poco favorables, la calidad y cantidad de agua no fueron las recomendables para la vida acuática. En el punto 2 los meses con condiciones poco favorables se presentaron en los meses de marzo y abril con una calificación de fuertemente y levemente contaminada respectivamente.

El punto 3 presentó las mejores condiciones a lo largo del año, excepto el mes de marzo y el segundo muestreo de mayo que se clasificaron como contaminada y levemente contaminada respectivamente. El resto de los meses la calidad fue aceptable lo que le confiere al sitio características adecuadas para organismos acuáticos.

En resumen el mejor lugar fue el punto 3 y el menos favorable el punto 1; para el punto 2 los meses de marzo y abril fueron de fuertemente contaminados.

Cuadro6. Resultados del índice de calidad del agua.

Meses	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Noviembre	Aceptable	Aceptable	Excelente
Enero	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Febrero	Levemente Contaminada	Aceptable	Aceptable
Marzo	Aceptable	Fuertemente Contaminada	Contaminada
Abril	Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable
Mayo	Fuertemente Contaminada	Aceptable	Aceptable
Mayo 2	Levemente Contaminada	Fuertemente Contaminada	Levemente Contaminada
Junio	Levemente Contaminada	Aceptable	Aceptable

VII. DISCUSIÓN

Índice de calidad del agua

Los indicadores de la calidad de agua y contaminación se presentan como una buena opción para la interpretación de variables físicas, químicas y biológicas, ya que estas variables pueden combinarse para generar un valor que puede ser interpretado fácilmente. Los índices de calidad pueden darnos rápidamente una imagen general del estado del recurso, además de ser muy útiles para propósitos comparativos.

La clasificación del ICA utilizado indica que la temporada de estiaje representa la principal amenaza para la vida acuática, ya que en los meses de marzo, abril y mayo se presentaron condiciones críticas (con una clasificación de levemente contaminada, contaminada y fuertemente contaminada) en mayor o menor grado en los tres puntos, porque el volumen de vertidos de las zonas urbanas son constantes, por lo tanto cuando hay un menor volumen de agua en el río, hay un efecto menor de dilución cuando recibe los vertidos y con ello una mayor concentración de contaminantes (Cuadro 7).

Por otra parte, cuando se analiza la información variable por variable se observa que para el mes de enero, cuando la normatividad señala 0.007 mg/L como máximo para amoníaco para que no cause problemas a los cuerpos de agua, el valor fue mayor a los 0.25 mg/L para los tres puntos y fue el más alto en todo el muestreo eso significa que sobrepaso 36 veces lo permitido y lo siguió el punto 1 en el mes de abril con 0.20 mg/L

Con respecto al oxígeno disuelto, éste mostró variaciones extremas con valores que van desde menores de 1 mg/L en el mes de mayo para el punto 1, hasta mayores de 10 mg/L en el mes de marzo para el punto 2. Los valores de pH más altos fueron para el mes de junio, sin embargo a partir del mes de marzo se observa un incremento y el punto 3 en el mes de marzo registró el valor más alto cercano a 9. Las variaciones en la temperatura del agua reflejan las condiciones atmosféricas presentes.

Resulta evidente que calificaciones bajas del ICA no coinciden con las concentraciones puntuales fuera de norma encontradas en algunos parámetros, por ejemplo el pico de amoníaco en el mes de enero. Sin embargo, en los meses

que el índice clasifica como críticos, casi todas las variables medidas están fuera de norma en mayor o menor grado. Lo anterior sugiere que el índice no detecta cambios súbitos en un solo parámetro, sino que en base a los valores obtenidos para todos los parámetros en conjunto arroja un valor unificado representativo de las condiciones generales del agua.

En un estudio realizado en el área del Saltito por Pérez *et al.* (En prep.), en los meses de julio, noviembre y diciembre del 2004 y enero y noviembre del 2005, encontraron valores de oxígeno disuelto, pH y amoníaco arriba de norma. Además evaluaron otros parámetros como nitratos y fosfatos para conocer la influencia de los diferentes vertidos sobre el río El Tunal, y los valores que obtuvieron fueron altos respecto a la normatividad por lo que concluyeron que El Saltito muestra problemas de eutrofización por el exceso de nutrientes que se le atribuye al agua residual doméstica de la zona urbana de la ciudad de Durango.

Los resultados obtenidos para los 3 puntos de estudio muestran valores aún más críticos en oxígeno disuelto, pH y amoníaco, que los encontrados por Pérez *et al.* (En prep.), lo cual indica que las condiciones en el área no han mejorado.

El caudal

En El Saltito el caudal varió considerablemente en el periodo de muestreo, en enero y febrero se registraron las cantidades más elevadas, rebasando el mínimo recomendado por WWF (2009) para el caudal ecológico con 902 y 595 L/s respectivamente. Pero de marzo a junio la cantidad registrada no rebasa lo establecido para el caudal ecológico, incluso en el segundo muestreo de mayo el flujo de agua fue cero. La magnitud del caudal probablemente influye en la calidad de agua encontrada, ya que en los meses donde la cantidad de agua es alta la calidad fue buena, es probable que se deba a que la cantidad de agua diluye los contaminantes presentes en ella.

Los resultados del caudal ecológico según WWF (2009) indican que el valor mínimo necesario para mantener en buen estado el río es de 400 L/s, valor que se alcanzó sólo en dos de los siete meses de trabajo, lo cual es otro indicativo del deterioro de la zona.

Para el El Saltito, se determinó caudal cero durante uno de los meses, los registros históricos proporcionados por la CNA del flujo del agua en el área indican que a partir del año 2000 este tipo de eventos ocurren hasta por tres meses consecutivos, esta fecha coincide con la venta del agua tratada a los agricultores de la unidad de riego 51 (Antelo, 2001), consecuencia de esto se observan arbolado muerto y la fauna sobrevive gracias a la presencias de pozas que son la única fuente de agua a lo largo del curso del río, durante estas temporadas de estiaje.

Estos reservorios o pozas presentaron agua durante todo el año, incluso en el estiaje, por lo que es probable que exista entrada de agua subterránea, que permite su permanencia ya que éstas están aisladas y al parecer no son alimentadas por ningún cuerpo de agua superficial.

El Saltito y la vida acuática

Lahr (1997) realizó una descripción de los organismos acuáticos que viven y se desarrollan en pozas, donde menciona que estas son de gran importancia ya que en temporada de estiaje son la única fuente de agua para estos organismos. Los organismos de pozas presentan estrategias que les permiten sobrevivir en condiciones poco favorables. Por ejemplo, tienen mecanismos de latencia que les permiten sobrevivir durante determinado tiempo sin que les afecten las condiciones externas y cuando se presentan condiciones favorables salir y continuar su ciclo de vida. Otra estrategia para las especies acuáticas es la dispersión y migración, que generalmente se observan en insectos y aves acuáticas (Lahr, 1997). Estas estrategias pueden ser los mecanismos que han permitido a los organismos acuáticos del área de El Saltito soportar la fuerte presión que reciben por los vertidos provenientes del Valle del Guadiana, pero se sugiere que debe haber un trabajo específico que clasifique esto, para con ello se completen las evidencias que permitan presentar un plan de mejora en la gestión del agua.

Efecto de la Temperatura

Lahr (1997) menciona que las condiciones de temperatura en las pozas son muy variables y con frecuencia muy altas, dado que son reservorios de tamaño relativamente pequeño y la temperatura se eleva rápidamente. La temperatura

juega un papel importante en la distribución, periodicidad y reproducción de los organismos, estos tienen un límite superior e inferior de tolerancia térmica y temperaturas óptimas para su crecimiento, incubación de huevecillos, índice de conversión de alimentos y resistencia a determinadas enfermedades (Secretaría de Pesca, 1988). Estos óptimos pueden cambiar según otros factores como la presión, oxígeno y el pH del agua. La toxicidad de algunas sustancias, tales como los metales pesados aumenta con la elevación de la temperatura.

La temperatura en el periodo de muestreo refleja principalmente las condiciones atmosféricas, por lo cual varió considerablemente, el mes más frío fue febrero con menos de 10 °C y junio con la temperatura más alta cercana a los 25 °C.

En general las condiciones de temperatura registradas para el periodo de muestreo podrían no tener una influencia significativa sobre los organismos acuáticos, ya que son condiciones muy cercanas a los valores óptimos (15-25 °C, según la Secretaría de Pesca, 1988) para vivir y desarrollarse de manera adecuada.

Efecto del oxígeno disuelto

Lahr (1997) menciona que otro factor importante para los organismos acuáticos es el oxígeno disuelto, ya que los niveles en las pozas generalmente son bajos y muestran variaciones a lo largo del año. Son muchos los factores que influyen en el contenido de OD en el agua, en aguas lentas o estancadas los contenidos son mayores en la parte superior ya que en el fondo se produce la descomposición de materia orgánica que baja la cantidad de OD. La temperatura es otro factor que ocasiona variación ya que si aumenta la temperatura del agua el OD disminuye. La ausencia de oxígeno en el agua provoca mortandad de organismos aerobios por anoxia y desaparición de organismos y especies sensibles (Secretaría de Pesca, 1988).

El punto 1, por su proximidad a la mancha urbana, es el que recibe primero el agua proveniente de las actividades del Valle del Guadiana, por lo cual, como mencionan Pérez *et al.* (en prep.) los efluentes domésticos que contienen gran cantidad de materia orgánica y fósforo son los que probablemente ocasionan un déficit mayor de oxígeno. El punto 2 y 3 presentaron cantidades más elevadas de OD debido a que del punto 1 al 2 y del 2 al 3 el agua ya recorrió cierta distancia

que permitió que los contenidos de materia orgánica disminuyeran, y con ello se propiciara una mayor oxigenación.

Los niveles de oxígeno disuelto necesarios para sostener la vida de organismos acuáticos varían de una especie a otra. Las truchas por ejemplo, requieren concentraciones mayores a 4 mg/L para permanecer saludables, mientras que muchas especies de crustáceos pueden vivir y reproducirse en ambientes acuáticos donde la concentración oscila entre 2 y 0.1 mg/L. Por otro lado, existe una gran variedad de microorganismos (bacterias, hongos protozoarios) para los cuales el oxígeno no es indispensable (anaerobios facultativos).

Un estudio de peces e insectos acuáticos por parte de la WWF (2009) para la determinación del caudal ecológico del Rio San Pedro Mezquital, señala que en El Saltito los peces que se encontraron son en su mayoría especies exóticas (*Carassius auratus*, *Micropterus salmoides*, *Ictalurus punctatus* y *Lepomis cyanellus*), resistentes a bajos niveles de OD en el agua. Sólo se registró una especie nativa (*Gambusia sp*), un indicativo más del deterioro del lugar. En cuanto a los insectos acuáticos encontrados los del orden Diptera fueron los más abundantes, organismos que parte de su ciclo de vida es acuático y otra parte fuera del agua y están adaptados a vivir en ambientes con poco oxígeno disuelto (WWF, 2009).

Aunque la clasificación del índice biótico que utilizaron para determinar la tolerancia de los organismos, señala a El Saltito como bueno, presenta signos de deterioro en el ambiente acuático que se consideran serios, y mencionan que un posible factor es flujo de agua ya que no es continuo durante todo el año debido a que el agua es retenida por las presas para otras actividades, por lo que las especies oportunistas aprovechan las pozas que no presentan corriente y tienen bajo OD, para establecerse y desplazar a las especies sensibles (WWF, 2009).

Efecto del pH

El pH es otro factor importante para los organismos que viven y se desarrollan en las pozas ya que presenta valores algunas veces extremos dependiendo los compuestos presentes en ellas (Lahr, 1997).

El pH se considera importante por su relación con la presencia de amoníaco (NH_3) ya que a una pH menor de 7, éste está en forma de ion amonio (NH_4^+), su

proporción depende de la cantidad total del ion amonio, ya que cuando es amoníaco este escapa a la atmosfera, y mientras escapa es muy tóxico, pero si el pH es ácido, se mantiene como sal y no es tóxico (Secretaría de Pesca, 1988). La cantidad de CO₂ presente es otro factor que puede influir en las variaciones del pH ya que los procesos de fotosíntesis y respiración aumentan o disminuyen la concentración de CO₂ y por ende el pH del agua (EPA, 1980).

Un pH ácido (menor a 5) provoca alteraciones en el ciclo reproductivo de los organismos, ocasiona la muerte de peces adultos e invertebrados y daña el desarrollo de los organismos en estado juvenil; en contraste, un pH elevado (mayor a 9) ocasiona daños en las superficies exteriores como las agallas, ojos y en la piel de los peces (Secretaría de Pesca, 1988).

Los tres sitios presentaron valores de pH ligeramente elevados con respecto a la norma, con tendencia a subir conforme el caudal disminuye y la temperatura en el sistema aumenta.

El grado de acidez o alcalinidad del medio afecta significativamente a ciertos organismos, tanto vegetales como animales. Cuanto más baja es la posición en la escala biológica, mayor es la incidencia del pH en los organismos. Por lo tanto las algas y bacterias son extremadamente sensibles a las variaciones de este factor, mucho más que los organismos superiores o con mayor grado de desarrollo. Para cada especie acuática (animal o vegetal) existe un valor de pH óptimo para su desarrollo. Valores de pH superiores a 8 origina lesiones en la piel y dificultades respiratorias para los peces (Secretaría de Pesca, 1988).

El estudio realizado por la WWF (2009) señala que en El Saltito la abundancia de peces es alta, con un total de 5 especies y 59 ejemplares capturados para el estudio, sin embargo la presencia de coliformes fecales, medición que se realizó en éste estudio pero que no se consideró para el ICA, fue baja, lo que sugiere que el pH influye directamente sobre estos organismos (bacterias) y los peces por ser organismos más complejos y además en su mayoría introducidos son más resistentes a los cambios de pH, por lo cual permanecen en estas pozas aún en estas condiciones.

Efecto del amoníaco

El contenido de amoníaco en el agua debe estar entre 0.007 a 0.02 mg/L para que este no cause problemas a los organismos acuáticos, se presenta en las primeras fases de degradación de la materia orgánica y es muy abundante en un agua residual doméstica reciente. Las cantidades encontradas en los 3 puntos de muestreo y para todas las fechas rebasan lo establecido por la normatividad (0.007 mg/L) con valores máximos por arriba de 0.25 mg/L (hasta 37 veces lo permitido).

Como ya se explicó, se espera que a pH básico aumente la concentración de NH_3 . Lo que se observó es que las concentraciones de amoníaco bajaron para estos meses excepto en abril, mes en el que se encontró una cantidad alta para el punto 1 pero baja para los puntos 2 y 3.

Además del pH que es determinante para la formación del amoníaco, otro factor que pudo influir en el contenido de éste es la temperatura del agua, ya que con temperaturas elevadas se escapa fácilmente dado que es un gas, la temperatura para el mes de marzo mostró un incremento considerable y la cantidad de amoníaco disminuyó en los meses críticos excepto para el punto 1 en el mes de abril (mayor a 0.20 mg/L).

En peces, altas concentraciones de amoníaco producen incremento en el consumo de oxígeno por los tejidos, irritación del sistema nervioso, pérdida de color en las aletas, destrucción branquial y reduce la capacidad de transporte de oxígeno por la sangre (Secretaría de Pesca, 1988). Cada grupo de organismos tiene rangos de tolerancia específicos para cada parámetro y un incremento o disminución de éstos tiene repercusiones para su desarrollo.

En El Saltito se han observado alteraciones en los organismos acuáticos presentes, los peces muestran signos de descamación y mutilación de algunas partes del cuerpo, efectos producidos por presencia y exceso de compuestos peligrosos, probablemente amoníaco.

VIII. CONCLUSIONES

El índice de calidad del agua utilizado nos permite conocer de manera general los cambios en la calidad del agua a través del tiempo ya que refleja el impacto de las variables evaluadas en conjunto y no considera cambios repentinos por parámetro, sino las condiciones generales en un valor unificado.

Los meses de marzo, abril y mayo presentaron condiciones críticas en los parámetros evaluados, la calidad y cantidad de agua no fueron las adecuadas para la vida acuática. Sin embargo un aspecto muy importante a considerar es que las pozas, aún en los meses más secos no se secaron, situación favorable para los organismos presentes en este medio.

Las principales amenazas a la vida acuática en esas pozas son las variaciones extremas del oxígeno disuelto, la alta concentración de amoníaco, que para los 3 puntos en todos los meses de muestreo no cumplen con lo establecido por la normatividad y el incremento del pH, que presentó una variación de 7.5 a valores cercanos a 9.

La temperatura del agua no se considera un factor determinante ya que en general en el periodo de muestreo los valores registrados fueron cercanos a los óptimos.

Las variaciones del caudal fueron significativas con cantidades altas para los meses de enero y febrero, y cantidades mínimas de marzo a junio incluso por debajo de los valores indicados para el caudal ecológico. El caudal influyó en la calidad encontrada ya que en los meses donde la calidad agua fue buena el caudal fue alto.

Es importante que los encargados en el cuidado y administración de los recursos hídricos consideren lo establecido para el caudal ecológico y los resultados obtenidos en este estudio para este punto en particular, con la finalidad de emprender acciones que permite la permanencia y conservación de los organismos acuáticos, además de una correcta planeación para un equilibrio en todos los sectores involucrados.

Recomendaciones

De manera general las condiciones en El Saltito no se consideran buenas para los organismos acuáticos, si bien la presencia de los reservorios ayuda a las especies a sobrevivir, se infiere que los cambios en la composición del agua los afectan, y esto se observa por la presencia de organismos introducidos, más resistentes a los contaminantes, que desplazan a las especies nativas que por lo general son especies sensibles a los cambios en calidad y cantidad del agua.

Los parámetros evaluados influyen en mayor o menor medida sobre los organismos que se desarrollan en las pozas y las variaciones tienen efectos negativos que pueden perjudicarlos, por esta razón la importancia de mantener un equilibrio en el sistema que permita a los organismos sobrevivir en condiciones adecuadas aún en temporada de estiaje.

Es importante que se considere la cantidad de agua establecida para el caudal ecológico, esto con la finalidad de que el ecosistema acuático se recupere y conserve el flujo de agua natural necesario para la permanencia y desarrollo las comunidades biológicas.

La gestión del agua requiere una correcta planeación para la distribución del recurso que permita una estabilidad a todos los sectores involucrados, que garantice la disponibilidad del recurso tanto para actividades agrícolas, industriales y domésticas como para los cuerpos de agua.

Otro aspecto fundamental es la regulación los vertidos generados por la mancha urbana derivados de sus diversas actividades, de manera que cumplan con lo establecido para ser descargados a los cuerpos de agua, y con esto permitir a los organismos una estabilidad en cuanto a cantidad y calidad del agua.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, A.R. 2006. Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: diagnóstico y predicción. *Revista internacional de botánica experimental*. Argentina. pp. 71-83.

American Public Health Association. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste water*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Nueva York.

Antelo, V.J. 2001. Uso de aguas residuales, una alternativa para riego agrícola en el distrito No. 052 Durango. XI Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 9. Contaminación, tratamiento y reúso del agua. Guanajuato, Gto., Mex. Pp. 44:47.

APHA - AWWA-WPCF.1995. Standard methods for the examination of water and wastewater.19th edition. American Public Health Association, Washington, D.C., pp 1-42 to 1-44, 1-45 to 4-168, 4-187 to 4-191.

CAED. 2010. Índices de cobertura y eficiencia de agua potable, alcantarillado y saneamiento en el estado de Durango. Durango, Dgo, México. Pp. 15- 35.

Canter, L.W. 1998. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto. Segunda Edición, Editorial McGraw Hill, pp 231-297.

Chapman, D. 1992. Water quality assessments. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization, United Nations Environment Programme, E & FN Spon, Londres.

Chapman, D. y V. Kimtsach. 1992. Selection of water quality variables. En: D. Chapman (Ed.). *Water quality assessments*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization, United Nations Environment Programme, E & FN Spon, Londres. Pp. 59-126.

CONAGUA. 2004. Situación de los recursos hídricos. En Estadísticas del agua en México. CONAGUA. México: 22-50.

CONAGUA. 2010. Proyecto emblemático "restauración y conservación hidrológica del Valle del Guadiana. Durango, Dgo, México.

Diccionario de datos climáticos, escalas 1:250 000 y 1:1 000 000 (vectorial) Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2003.

Diccionario de datos de Uso del Suelo y Vegetación1:250 000 (Vectorial). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2007.

Diccionario de datos Edafológico 1:250 000 (Vectorial). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2009.

Granado, L. 2000. Las comunidades de organismos de los ecosistemas acuáticos españoles: conservación y gestión. Departamento de biología vegetal y ecología. Universidad de Sevilla. España.

INEGI. 2009. Anuario estadístico Durango. Edición 2009. Aguascalientes, Ags.

Lahr, J. 1997. Ecotoxicology of organisms adapted to life in temporary freshwater ponds in arid and semi-arid regions. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 32, 50–57.

León, V.L.F. Índices de calidad del agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la cuenca Lerma- Chápala. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Morelos, México.

Montaner y Simón, S.A. 1978. La vida en el planeta tierra, Ríos y Lagos. Tomo XI, impreso en T.O.N.S.A. San Sebastián, Londres. Pp. 20-35

Ordenamiento Territorial del Municipio de Durango. 2010. Estudio técnico para el ordenamiento ecológico del territorio del Municipio de Durango.

Pérez, L.M. E., Vicencio-de la Rosa M. G. y Alarcón-Herrera M. T. (2000). Calidad del agua del canal recolector de descargas pluviales de la ciudad de Durango. Memorias del XIV Congreso Chileno de Ingeniería Química. Universidad de Santiago de Chile.

Pérez, L.M. E., Burciaga S. M. E., Vicencio M.G., Martínez P.M. A. y González S.G. Evaluación en tiempo y espacio del efecto de los vertidos puntuales y difusos sobre la calidad del río El Tunal, Durango, México. En vía de publicación.

Prosperi, C.H. 2006. Los microorganismos y la evaluación de la calidad del agua. Laboratorio de Hidrobiología. Universidad Nacional de Córdoba. Vélez Sarsfield.

Romero, M. 2010. Proceso de eutrofización de afluentes y su prevención por medio de tratamiento de efluentes. Revista ingeniería primero. Facultad de ingeniería. No 17. Junio del 2010. Pp. 64-74.

Secretaría de Pesca. 1988, Lineamientos Normativos para Sanidad y Nutrición Acuícola en México. México D.F. Pp. 50-61.

Sánchez, O. Herzing, M. Peters, E. Márquez, H. R. y Zambrano, L. 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Escuela de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. México, D.F. Pp. 120-160.

Torres, P. Cruz C.H. 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: una revisión crítica. Revista ingenierías, universidad de Medellín, vol. 8. No. 15 especial. Pp. 79-94. Medellín Colombia.

WWF. 2009. Informe técnico. Fauna acuática (macroinvertebrados y peces) de la cuenca del río San Pedro-Mezquital. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Zambrano, L. 2003. La restauración de ríos y lagos. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

ANEXOS

Valores asignados para cada parámetro en función de su concentración (Qi) para la evaluación del ICA.

Cuadro 7. CALIFICACIÓN PARA LOS VALORES DE AMONÍACO

%	(mg/L)
100	0.007 – 0.01
75	0.01- 0.1
50	0.1 – 0.6
25	0.6 – 2
10	Mayor de 2

Cuadro 8. CALIFICACIÓN PARA LOS VALORES DE pH

%	ESCALA DE PH
100	7 – 7.5
75	6-7 y 7.5-8
50	5-6 y 8-9
25	4-5 y 9-10
10	Menor de 4 y mayor 10

Cuadro 9. CALIFICACIÓN PARA LOS VALORES DE OXÍGENO DISUELTO

%	ESCALA DE OD (mg/L)
100	5 – 7
75	4-5 y 7-8
50	3-4 y 8-9
25	2-3 y 9-10
10	Menor de 2 y mayor de 10

Cuadro 10. CALIFICACIÓN PARA LOS VALORES DE TEMPERATURA

%	Escala de temperatura (°C)
100	15 – 28
75	10-15 y 28-30
50	5-10 y 30-35
10	0-5 y 35-40

Cuadro 11. Pesos específicos asignados a cada parámetro (Wi), y ponderados entre 0 y 1.

Parámetro	Pesos específicos (Wi)
Amoniaco	0.29
Oxígeno Disuelto	0.26
pH	0.25
Temperatura	0.20
Total	1.00

Cuadro 12. ANOVA GENERAL

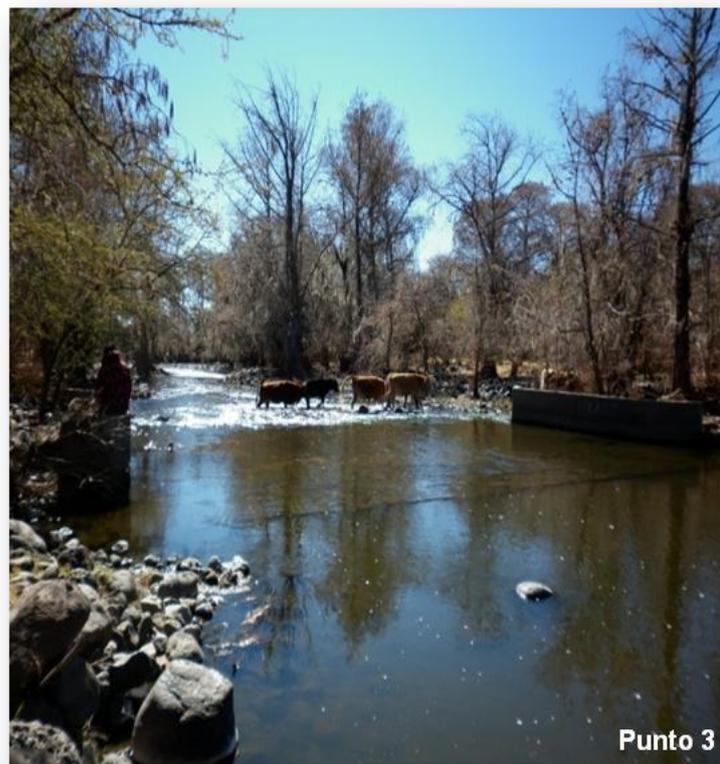
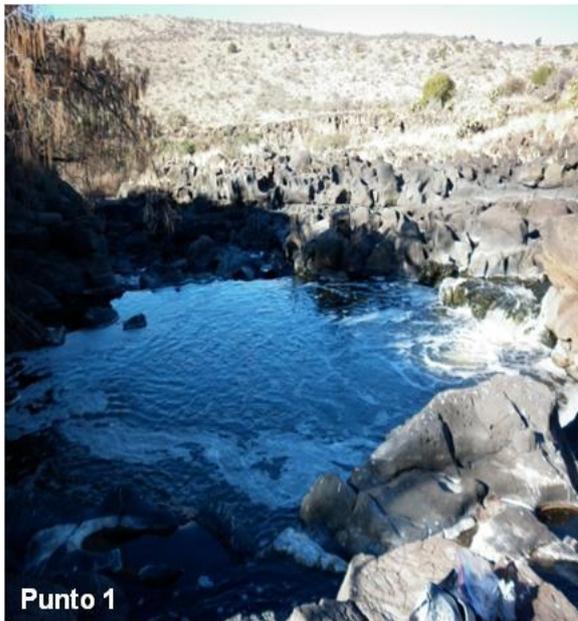
Parámetro	Sitios	Fechas	Sitios* fechas	Diferencias para sitios			Diferencias para fechas							
				1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8
Oxígeno disuelto	F = 457	F = 242	F = 119	a	b	c	c	c	c	d	c	a	a	b
	P = 0	P = 0	P = 0											
pH	F = 35	F = 41	F = 3.6	a	b	b	a	b	b	cd	cd	cd	c	d
	P = 0	P = 0	P = 0											
temperatura	F = 40	F = 442	F = 8	a	a	b	c	b	a	d	e	e	f	f
	P = 0	P = 0	P = 0											
Amoniaco	F = 26	F = 12055	F = 1854	a	b	c	d	f	d	d	e	b	a	c
	P = 0	P = 0	P = 0											

Fotografías

Enero del 2011



Febrero del 2011



Abril del 2011



3 de mayo del 2011



27 de mayo del 2011



Junio del 2010

