

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

**Análisis de la calidad ambiental en zona de construcción
de la presa El Realito, en la cuenca del río Santa María en
Guanajuato, México**

Tesis

**Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas**

**Presenta:
Ariel Pulgarín Ríos**

**Dirigido por
Dr. Raúl Francisco Pineda López**

Querétaro, Qro., enero del 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRADA DE CUENCAS

Análisis de la calidad ambiental en zona de construcción de la presa El Realito, en la cuenca del río Santa María en Guanajuato, México

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

Ariel Pulgarín Ríos

Dirigido por:

Dr. Raúl Francisco Pineda López

SINODALES

Dr. Raúl Francisco Pineda López
Presidente

M. en C. Ulises Torres García
Secretario

Dr. José Luis Miranda Jiménez
Vocal

M. en C. Eduardo Luna Sánchez
Suplente

M. en C. Claudia Saray Ramos Barrios
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Enero de 2020
México

RESUMEN

El presente trabajo establece las condiciones ambientales en el cauce principal de la microcuenca "El Realito", área de construcción de la presa del mismo nombre en el río Santa María, ubicada dentro de la reserva de la biosfera Sierra Gorda de Guanajuato. Las variables analizadas fueron: las familias de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad ambiental del río, el índice de calidad ambiental visual, los parámetros físico-químicos del agua y un análisis morfométrico del cauce. Estos análisis, se practicaron en seis tramos pre y post embalse durante la temporada de estiaje. Se encontraron diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos en las cuarenta sub-muestras, provenientes de los cinco sitios de muestreo y que mediante el establecimiento de índice BMWP, se logró observar la buena calidad de los hábitats en el cauce del río, sobre todo en las zonas alejadas de la construcción de la presa. Sin embargo, en los sitios cercanos a la construcción, la cantidad de familias y especímenes disminuye. Los datos obtenidos de los parámetros físico-químicos del agua tienden a seguir el mismo patrón de los invertebrados. El índice de calidad ambiental visual, junto con los parámetros morfométricos muestran las condiciones físicas de los sitios del río; en los sitios de muestreo 1 y 2 ubicados el primero a 5 km y el segundo a 2.5 km, aguas arriba del vaso de la presa, donde los impactos antropogénicos generados en el cauce son mínimos. En los sitios de muestreo 3 y 5 ubicados justo en el vaso de la presa y después de la cortina respectivamente se presentaron índices bajos de calidad visual tanto por la construcción de la presa como por las descargas de aguas negras y otras actividades humanas, flujo de personas y automóviles e impactos derivados de la construcción del embalse. Los sitios de muestreo 4 y 6 tienen algunos impactos importantes en particular el cuarto, ubicado en el río El Aguacate, tributario del Santa María aguas debajo de la cortina de la presa y que se ve afectado por el exceso de algas en su afluente atribuido a las descargas de agroquímicos que utilizan los agricultores, aunado a la descarga de jabones y detergentes provenientes de la localidad cercana.

El sexto sitio de muestreo ubicado aproximadamente a 5 km, debajo de la cortina de la presa mostró alta calidad ambiental visual.

Ya que al momento de realizar esta investigación la presa aún no estaba funcionando, mis resultados servirán de base para evaluar el impacto de la construcción de la presa en el cauce del Río Santa María.

(Palabras clave: Microcuenca, río, presa, macroinvertebrados, índice, sitios, muestreos, impacto ambiental, BMWP).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

SUMMARY

The present work establishes the environmental conditions in the main channel of the micro-basin "El Realito", area of construction of the dam of the same name in the Santa María River, located within the Sierra Gorda Biosphere Reserve of Guanajuato. The variables analyzed were: the families of aquatic macroinvertebrates as indicators of the environmental quality of the river, the visual environmental quality index, the physical-chemical parameters of the water and a morphometric analysis of the riverbed. These analyses were carried out in six pre- and post-reservoir sections during the low water season. Different families of aquatic macroinvertebrates were found in the forty sub-samples, coming from the five sampling sites. By establishing the BMWP index, it was possible to observe the good quality of the habitats in the riverbed, especially in the areas far from the dam construction. However, at the sites close to the construction, the number of families and specimens is decreasing. The data obtained from the physical-chemical parameters of the water tend to follow the same pattern of the invertebrates. The visual environmental quality index, together with the morphometric parameters, show the physical conditions of the river sites; at the sampling sites 1 and 2 located 5 km and 2.5 km upstream of the dam basin, where the anthropogenic impacts generated on the riverbed are minimal. At sampling sites 3 and 5, located right in the dam basin and after the curtain, respectively, there were low visual quality indices due to both dam construction and discharges of sewage and other human activities, flow of people and cars, and impacts from the construction of the reservoir. Sample sites 4 and 6 have some important impacts, particularly the fourth, located on the El Aguacate River, a tributary of the Santa María River below the dam curtain, which is affected by excess algae in its tributary attributed to discharges of agrochemicals used by farmers, together with the discharge of soaps and detergents from the nearby town. The sixth sampling site located approximately 5 km below the dam curtain showed high visual environmental quality.

Since at the time of this investigation the dam was not yet operating, my results will serve as a basis for evaluating the impact of the dam construction on the Santa Maria River bed.

(Key words: Microbasin, river, dam, macroinvertebrates, index, sites, sampling, environmental impact, BMWP).

Dirección General de Bibliotecas UFRQ

AGRADECIMIENTOS

Agradezco...

A Dios la vida que me permite conservar y la oportunidad de continuar haciendo lo que me gusta acompañado de mis seres amados...

A mis padres por su incansable apoyo en todo momento, por sus consejos y regaños que me han permitido aprender de la vida y enmendar mis errores cometidos...

A mi esposa Lidia y mis hijos Paula y Ariel Asís, por ser mi motor diario que me provocan esas ganas de seguir luchando en la vida en la búsqueda de ser un mejor ser humano y que me han enseñado a entender lo que es el valor y amor de la familia...

Al Dr. Raúl Pineda que me dio la oportunidad y creyó en mí para ingresar al posgrado, por sus consejos y ejemplo de tenacidad incansable, por su guía en la realización de mi trabajo de tesis...

A mi amigo Ulises por su compañerismo, amistad y enseñanzas en las salidas al campo y en laboratorio por los recorridos realizados en las diferentes partes de la "Sierra Gorda"...

Al Dr. Miguel Pérez por sus enseñanzas y su hospitalidad mostrada a mi persona en su casa, además a mis amigos estudiantes de Morelia que me apoyaron en el laboratorio y en las salidas al campo realizadas en diferentes ocasiones, así como

a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en la ciudad de Morelia, al permitirme realizar actividades de mi tesis en el laboratorio de entomología...

A la Universidad Autónoma de Querétaro por permitir continuar con mi formación profesional en el posgrado de manejo integrado de cuencas y ser parte de mi vida...

Al Conacyt por la beca otorgada a mi persona que fue de gran ayuda para costear mis gastos en las actividades realizadas a lo largo de la carrera...

A mis amigos de la ciudad de Querétaro, compañeros de la 8ª generación de MAGIC compañero de casa José Luis, compañeros de A.A. y vecinos que formaron parte de mi vida durante los años que duró la maestría, gracias a todos ustedes por cada cosa vivida, porque han sido parte de la formación que hoy tengo como ser humano...

ÍNDICE

RESUMEN	i
SUMMARY	iii
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	5
1.2 Justificación	6
1.3 Objetivo general.....	7
1.3.1 Objetivos particulares	7
II. REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1 Cuencas hidrográficas y su manejo integral.....	8
2.1.1 Cuenca hidrográfica superficial.....	9
2.2 La Cuenca del Río Santa María.....	9
2.3 Ríos.....	10
2.3.1 Índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party)	11
III. METODOLOGÍA.....	13
3.1 Ubicación de la microcuenca El Realito	13
3.2 Establecimiento de sitios de muestreo	14
3.2.3 Parámetros físicoquímicos del agua.....	16
3.2.4 Parámetros morfométricos.....	16
3.2.2 Índice de calidad ambiental visual o calidad de hábitat (ICAV).	17
3.2.1 Elaboración del índice BMWP mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos	20
IV. RESULTADOS	24
4.1 Integración comparativa de resultados.....	24

4.2 Parámetros físicoquímicos del agua.....	24
4.3 Parámetros morfométricos.....	36
4.4 Índice de calidad ambiental visual.....	45
4.5 Índice BMWP-El Realito.....	52
4.6 Discusión.....	54
V. CONCLUSIONES.....	57
LITERATURA CITADA.....	59
ANEXOS.....	62

Dirección General de Bibliotecas UAQ

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Insectos acuáticos de acuerdo a su nombre común y orden al que pertenecen.....	11
Cuadro 3.1 Puntajes de tolerancia a contaminantes de macroinvertebrados acuáticos.....	20
Cuadro 3.2. Clases de calidad de agua de acuerdo al daño ambiental.....	23
Cuadro 4.1 Parámetros y valores físicoquímicos del agua del sitio 1.	25
Cuadro 4.2 Parámetros y valores físicoquímicos del agua del sitio 2.	26
Cuadro 4.3 Parámetros y valores físicoquímicos del agua del sitio 3.	28
Cuadro 4.4 Parámetros y valores físicoquímicos del agua del sitio 4.	30
Cuadro 4.5 Parámetros y valores físicoquímicos del agua del sitio 5.	32
Cuadro 4.6 Parámetros y valores físicoquímicos del agua del sitio 6.	33
Cuadro 4.7 Parámetros físicoquímicos del agua para cada sitio muestreado.....	35
Cuadro 4.8 Tipo de corriente del río en cada sitio muestreado determinado mediante diferentes variables.	44
Cuadro 4.9 Variables y valores del sitio 1 para determinación del ICAV.	45
Cuadro 4.10 Variables y valores del sitio 2 para determinación del ICAV.	46
Cuadro 4.11 Variables y valores del sitio 3 para determinación del ICAV.	47
Cuadro 4.12 Variables y valores del sitio 4 para determinación del ICAV.	48
Cuadro 4.13 Variables y valores del sitio 5 para determinación del ICAV.	49
Cuadro 4.14 Variables y valores del sitio 6 para determinación del ICAV.	50
Cuadro 4.15 Variables y resultados del índice de calidad ambiental visual por cada sitio muestreado	51
Cuadro 4.16 Tolerancias de acuerdo a presencia de familias de macroinvertebrados acuáticos y colores que determinan el grado de afectación.	52
Cuadro 4.17 Resultados del índice BMWP de acuerdo a presencia de familias de macroinvertebrados acuáticos para cada sitio muestreado.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Sub cuencas que constituyen la reserva de la biosfera sierra gorda de Guanajuato.	13
Figura 3.2 Microcuenca El Realito.	14
Figura 3.3 Sitios de muestreo en la microcuenca “El Realito”	15
Figura 4.1 Valores para determinar el de tipo de corriente tomado de Rosgen (1998).	42

Dirección General de Bibliotecas UAQ

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Poblado Mineral El Realito en la sierra gorda de Guanajuato	62
Anexo 2 Zona de construcción de la presa El Realito.....	62
Anexo 3 Colecta de macroinvertebrados con red tipo “D”	63
Anexo 4 Toma de datos para determinar el ICAV	63
Anexo 5 Toma de datos de parámetros fisicoquímicos del agua.....	64
Anexo 6 Toma de datos de parámetros morfométricos	64
Anexo 7 Separación de macroinvertebrados en bolsas y frascos	65
Anexo 8 Identificación de macroinvertebrados acuáticos.....	65

Dirección General de Bibliotecas UAO

I. INTRODUCCIÓN

Las presas son desde hace muchos años una manera de almacenar el agua de lluvia en el mundo, han servido para proveer de agua a grandes ciudades y asentamientos humanos a lo largo de la historia, su agua ha sido utilizada para consumo humano mediante su potabilización, uso doméstico, agricultura, ganadería, industria, minería, y casi en todas las actividades humanas. Es importante mencionar los grandes beneficios aportados a la sociedad que han acarreado su adecuado establecimiento en diferentes zonas estratégicas. Sin embargo también es de urgencia destacar que desde finales del siglo XIX cuando se empiezan a crear las hidroeléctricas funcionales basadas en represas establecidas en diferentes partes del mundo los daños ambientales han venido en aumento, debido a la contaminación que generan en agua, aire y entorno mediante el ruido generado por la maquinaria, evaporación del agua a la atmosfera y contaminantes que se liberan en el agua por los procesos realizados, pero además, por la discontinuidad ecológica que causan en la conducción del agua por los ríos.

En México se estima que existen cerca de 4,500 presas, las cuales se utilizan para proveer de agua a los asentamientos humanos en las grandes ciudades cada vez más demandantes del agua y producido por el aumento demográfico así como por la migración constante a las ciudades en busca de mejores oportunidades de vida, ello aunado a las sequias constantes que promueven que los gobiernos busquen formas equivocadas para obtener el vital líquido, como el establecimiento de grandes represas que por un lado resuelven en ciertos casos los problemas de abastecimiento de agua para los requerimientos socioeconómicos en las ciudades, sin embargo al igual que con las hidroeléctricas estas represas generan una gran serie de daños ambientales afectando el caudal ecológico de los ríos y por ende la flora y fauna que habita en estos, de igual manera provocan daños de asolvamiento y arrastre de nutrientes y

sedimentos hacia los vasos de las presas, así como alteraciones en las condiciones ambientales aguas debajo de las cortinas debido a que disminuye en época de sequías la cantidad de agua que escurre por los ríos afectando severamente las riberas de los cauces, (Martínez *et. al.*, 2012).

Se debe considerar que los cauces de los ríos son sistemas en los cuales habitan una gran cantidad de organismos vivos los cuales ayudan a mantener estables los ecosistemas, así como a regular la calidad del agua, (Raven *et. al.*, 2000; Fischer y Kummer, 2000; TNC, 2006; en Alonso *et. al.*, 2007). Los caudales de los ríos se modifican a través de la construcción de presas, embalses y sustracciones para el suministro agrícola y urbano; para mantener los flujos apropiados para la navegación y por la construcción de estructuras de control. Estas intervenciones han generado impactos significativos reduciendo, en general, los caudales totales de muchos ríos, afectando su estacionalidad, magnitud y periodicidad. La alteración en la cantidad y calidad del agua no solo se observa en la integridad de los ecosistemas acuáticos y sus componentes, sino que se refleja directamente en las actividades que dependen de este ecosistema, como son la pesca en ríos y estuarios o la navegación. Diversos estudios describen que el desarrollo exponencial de ciudades y la expansión desmedida de la agricultura de riego, principalmente, están causando un impacto negativo en los ríos y corrientes superficiales modificando no solo la temporalidad, cantidad y calidad del agua de los cauces, sino que en ocasiones el represamiento, segmentación y desvío, han generado la pérdida absoluta de su flujo por temporadas; los ríos Bravo (Linares 2004) y Lerma son el mejor ejemplo junto con los ríos de la Cuenca de México (Ezcurra *et al.* 2006) en (Garrido Pérez *et. al.*, 2010).

Hurtado *et. al.*, (2005) en su estudio en el caso de la presa Fernando Iriarte Valderrama mejor conocida como presa Zimapán donde describen que la construcción de una presa siempre representa cambios de algún tipo en su entorno, debido a que el volumen de agua almacenado altera el microclima, y la ralentización del sistema

fluvial altera el funcionamiento básico de los ríos. El primer caso es porque el agua actúa como un eficiente regulador térmico, provocando alteraciones en los ecosistemas de las inmediaciones del embalse (Hendrichs, 1984); mientras que el segundo caso ocasiona cambios en la magnitud de los caudales, en la periodicidad de las variaciones de estos y en la calidad del agua de los flujos (Gutiérrez-Yurrita, 2002). Para su estudio utilizaron macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua y concluyeron que la estructura ecológica de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos se hace más compleja dadas las intervenciones humanas.

En todos estos casos describen la importancia de mantener prístinos y poco alterados los cauces de los ríos mediante acciones legales que impidan la construcción de obras que bloqueen o desvíen las corrientes de estos sin hacer realmente un análisis a detalle que permita asegurar la sustentabilidad del río en cuestión.

La subcuenca del Río Santa María es la parte alta de la cuenca Hidrológica del Río Pánuco y es importante por criterios de biodiversidad, escurrimiento, población beneficiada y número de Áreas Naturales Protegidas. El Río Santa María tiene su origen en la zona limítrofe entre el estado de Guanajuato y San Luis Potosí a 7.5 km del camino que va de Villa de Reyes, S.L.P. El Río Santa María avanza por la parte Sur del estado de San Luis Potosí, hasta que nuevamente se introduce al estado de Guanajuato, por su parte nororiental, cambiando su recorrido en dirección Sureste, casi paralelo al límite estatal entre San Luis Potosí y Guanajuato, hasta adentrarse al estado de Querétaro, en donde el río incursiona por la parte Norte de la Reserva de la Biosfera "Sierra Gorda". Después del recorrido por la Sierra Queretana, el río confluye con el Río Verde y forma el río Tampaón. El área total de la subcuenca del Río Santa María es aproximadamente de 11,325 km², con una longitud desde su inicio en el Río Altamira hasta la confluencia con el Río Verde de 328,855 m. El tipo de drenaje predominante en la subcuenca es del tipo dendrítico. Esta subcuenca, contribuye en gran medida a la disponibilidad de agua para uso público en los estados de

Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí, por lo que es necesario establecer bases para implementar acciones que favorezcan la protección, conservación, fomento y restauración de los recursos naturales asociados, integrando a los pobladores de la subcuenca, dentro de la filosofía del manejo sustentable y el bienestar de las comunidades que se ubican en ésta (PRPC-SEMARNAT *et. al.*, 2010).

En este contexto el presente estudio tiene como objetivo describir las condiciones ambientales del río Santa María en la zona de construcción de la presa El Realito, antes del funcionamiento de la misma para contar con una línea base de valores y determine a futuro los daños que genera la construcción de la misma tanto en el cauce, como al ecosistema y microcuenca.

1.1 Planteamiento del problema

La construcción de la presa El Realito en esta microcuenca es una obra en proceso que genera expectativas a la comunidad en cuanto al ofrecimiento de bienes y servicios. Sin embargo ¿conocerán las personas de las comunidades los daños a largo plazo que puede generar una obra de esta magnitud en las comunidades vegetales y animales que habitan en este río? El monitoreo del estado de conservación y manejo de arroyos y ríos en la microcuenca El Realito del Río Santa María dentro de la reserva de la biosfera de Guanajuato es el problema central de esta investigación. Por lo tanto, es de gran importancia hacer un estudio para conocer la integridad de la biota en esta cuenca, para proponer las medidas pertinentes a las dependencias encargadas y los tomadores de decisiones sobre cómo manejar los recursos naturales en favor de la población y el ambiente.

La degradación de los ecosistemas naturales es un problema que ha provocado daños irreversibles a la tierra, esto ha generado el interés en los investigadores de buscar alternativas para su conservación o restauración a nivel global. Sin embargo, se sabe que para lograr este objetivo es importante iniciar por territorios delimitados ambientalmente, de tal forma se hace evidente la importancia del trabajo de las cuencas hidrográficas (Cotler Ávalos H. y Pineda López R. 2006) y su adecuado manejo ya que al ser estas áreas delimitadas naturalmente facilitan el estudio de los recursos naturales. Por lo tanto, el análisis de entomofauna presente en las diferentes zonas de transición de la presa servirá como parámetro de calidad ambiental ya que los insectos acuáticos son excelentes indicadores biológicos en sistemas acuáticos sanos o dañados según sea el caso, (Pérez-Munguía y Pineda-López, 2005).

1.2 Justificación

Los ríos son parte fundamental en el desarrollo de las actividades socioeconómicas que integran las microcuencas, son proveedores de agua potable, para la agricultura, ganadería, industria, minería, pesca y otras actividades. Son parte fundamental en la lucha contra el calentamiento global y el cambio climático, ya que la gran cantidad de flora, fauna y microfauna que albergan, juegan un papel primordial en la absorción de dióxido de carbono y otros elementos que provocan efecto invernadero. Por lo tanto, es de suma importancia generar un uso sustentable del recurso, sin poner en riesgo la existencia de los ríos debido a su sobreexplotación o contaminación. El establecimiento de presas que alteran el flujo del agua en los cauces de los ríos ha generado un gran debate de opiniones ya que por un lado promueve el abastecimiento de agua a ciudades enteras (Maza-Álvarez, 2004) y por otro lado provoca escasez y contaminación de agua en otros puntos del cauce, (Hernández-García *et. al.*, 2007). Generando graves daños ambientales en las cuencas provocando incluso la desaparición de los ríos, (Castro Soto, 2002).

1.3 Objetivo general

Determinar la calidad ambiental de las diferentes zonas de transición del área de construcción de la presa El Realito, mediante el uso de indicadores biológicos, visuales, físico-químicos y morfométricos que permitan generar una línea de base de las condiciones ambientales antes del establecimiento de la presa y que sirvan como parámetros de los daños ambientales que pueda generar su construcción en el cauce del río Santa María.

1.3.1 Objetivos particulares

- ❖ Determinar la calidad fisicoquímica del agua en la zona.
- ❖ Realizar un análisis morfométrico del río en las diferentes zonas de transición de la presa.
- ❖ Conocer la calidad ambiental visual como parámetro de las condiciones ambientales de las riberas en las zonas de construcción de la presa.
- ❖ Generar un índice BMWP (Biological Monitoring Working Party Score) adaptado a la microcuenca el Realito utilizando macroinvertebrados acuáticos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cuencas hidrográficas y su manejo integral

Una cuenca hidrográfica; es la superficie terrestre delimitada físicamente por un parteaguas; desde donde confluyen los escurrimientos de agua provenientes de la lluvia y tiende a ser drenada a través de una red de corrientes que fluyen hacia una salida principal, y ésta a su vez drena hacia un cuerpo de agua lagos lagunas o mar (SEMARNAT, 2010).

El manejo integral de cuencas requiere la comprensión sistémica de las interacciones entre el medio biofísico, los modos de apropiación del territorio (considerando economía, tecnología, organización social) y las instituciones existentes. Para ello, es indispensable reconocer el anidamiento jerárquico de distintas unidades hidrográficas (cuenca, subcuenca, microcuenca), donde cada nivel requiere un tipo de evaluación y de interacción con instituciones y usuarios. Finalmente, el agua constituye el eje integrador e indicador de las actividades productivas que se realizan en este territorio (Cotler y Pineda, 2006).

El manejo de cuencas es el proceso complejo que le da orden a un conjunto de acciones dentro de la Cuenca Hidrológica Superficial (Hidrográfica) o Cuenca Hidrológica Subterránea, encaminado a lograr un desarrollo social y económico sostenibles en el tiempo, y la protección del medioambiente (González 2000 en Cotler *et al.*, 2004).

Diferentes cuestiones impactan la sostenibilidad del agua en los ríos de las cuencas. Entre estas están las cuestiones sociales, económicas y ambientales. Sin embargo, estas son a menudo separadas y no integradas en los procesos dinámicos (Viessman, 1990 en Enrique *et al.*, 2007).

La gestión del agua, integrada y ambientalmente sostenible requiere más que la simple realización de evaluaciones de impacto ambiental. Se requiere la integración de la formulación de políticas, evaluación de proyectos, las leyes de la buena gestión del agua y de las instituciones, a través de la amplitud y profundidad de la toma de decisiones sobre el uso de agua dulce (Smith y Rast, 1998 en Enrique *et al.*, 2007).

Recientemente el programa de hidrología internacional de la UNESCO, adopto un marco de trabajo que incluye a la hidrología, medio ambiente, vida y cuestiones políticas. Con este marco se pretende romper el llamado “bloqueo de paradigma” que impide las acciones eficaces en las diferentes cuencas (UNESCO 2005 en Enrique *et al.*, 2007).

2.1.1 Cuenca hidrográfica superficial

La cuenca hidrológica superficial (CHS). Es la superficie terrestre drenada por un sistema fluvial continuo y bien definido cuyas aguas vierten a otro sistema fluvial o a otros objetos de agua, y sus límites están generalmente determinados por la divisoria principal según el relieve”(González 2000 en Cotler *et al.*, 2004).

2.2 La Cuenca del Río Santa María

De acuerdo con el Sistema de Información Geográfica generado en el Estudio de Confirmación Hidrológica de Ecurrimientos, el área total de la Subcuenca del Río Santa María es de aproximadamente de 11,325 km², es decir 1'132,509.43 ha, el perímetro de la Subcuenca es de 856,409 m. Asimismo, la longitud del Río Santamaría, desde su inicio en el Río Altamira hasta la confluencia con el Río Verde es de 328,855 m. El tipo de drenaje predominante en la Subcuenca es del tipo dendrítico. A la fecha en la Subcuenca del Río Santa María, se han elaborado diversos

estudios cuya característica principal es tener un enfoque disperso, sin acciones concretas, por lo que los impactos socioeconómicos y ambientales no se han manifestado con claridad. En este sentido, el problema focal en el manejo integral de los recursos naturales es la carencia de un sistema integrado de uso del suelo que garantice la permanencia del agua, los bosques, el suelo y los espacios naturales en el nivel de Subcuenca y Microcuencas.

2.3 Ríos

Los daños provocados en los ríos son multidimensionales y reflejan de manera amplia el estado de integridad ecológica de microcuencas. Estos daños pueden reconocerse con distintas estrategias metodológicas: en México se emplea de manera oficial el Índice de Calidad del Agua (ICA), como la única forma para determinar la condición de los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, este método solo informa sobre daños derivados de la contaminación fundamentalmente orgánica y es poco útil para reconocer otros tipos de impactos (Pérez Munguía y Pineda López, 2005).

La creciente necesidad para evaluar estos importantes recursos acuáticos superficiales y tomar acciones orientadas hacia la conservación de los mismos, exige formas de evaluación eficiente, científicamente válida y ambientalmente benigna. Adicionalmente, estas evaluaciones deben ser además de fácil acceso al público, que faciliten la toma rápida de decisiones y, al mismo tiempo, que ofrezcan certidumbre sobre las acciones emprendidas para la conservación (Pérez Munguía y Pineda López, 2005).

Los impactos más comunes sobre arroyos y ríos se pueden subdividir en tres categorías: 1) Disturbios en la forma física; 2) Cambios en la descarga de agua y 3) Introducción de materia orgánica y sustancias químicas (Lindegard 1995 en Pérez Munguía y Pineda López, 2005).

Los organismos que habitan en los ríos pueden ser usados como indicadores de la calidad del agua, gracias a que presentan diferentes rangos de tolerancia a la contaminación de su hábitat. El grupo más utilizado es el de los macroinvertebrados acuáticos, el cual incluye moluscos (caracoles y almejas), crustáceos (camarones y cangrejos), algunas especies de gusanos (nemátodos, planarias, anélidos como lombrices), ácaros y un gran número de especies de insectos larvas y adultos (Springer *et. al.*, 2007).

Los insectos acuáticos pertenecen a los siguientes órdenes:

Cuadro 2.1 Insectos acuáticos de acuerdo a su nombre común y orden al que pertenecen.

NOMBRE COMÚN	ORDEN TAXONÓMICO
Efímeras	Ephemeroptera
Moscas de piedra	Plecóptera
Libélulas y gallegos	Odonata
Chinches	Hemíptera
Cucarachas	Blattodea
Escarabajos	Coleóptera
Megalópteros	Megaloptera
Tricópteros	Trichoptera
Mariposas y polillas	Lepidóptera
Moscas, mosquitos y zancudos	Díptera

2.3.1 Índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party)

El creciente incremento de las alteraciones de los cursos de agua y la sensibilidad a este problema por parte de los organismos competentes, ha hecho que en todos los países desarrollados se pongan en marcha programas de control y vigilancia de la calidad de las aguas. Para ello se han desarrollado numerosos métodos o índices que tratan de interpretar la situación real, o grado de alteración de los ecosistemas acuáticos, (Tercedor-Alba y Sánchez-Ortega, 1988).

Los macroinvertebrados constituyen uno de los grupos biológicos más ampliamente usados como indicadores de calidad del agua. Esto se debe a que integran muchas de las cualidades que se esperan de un indicador. Entre éstas, destaca su elevada diversidad y que estén representados diferentes taxones, con requerimientos ecológicos distintos, relacionados con las características hidromorfológicas (velocidad del agua, sustrato), fisicoquímicas y biológicas del medio acuático. Los macroinvertebrados bentónicos indican alteraciones a medio y largo plazo, ya que sus especies poseen ciclos de vida entre menos de un mes hasta más de un año. Su valor indicador abarca un ámbito temporal intermedio que complementa el de otros elementos biológicos con tiempos de respuesta más cortos, como el fitobentos, o más largos, como los peces (Pineda-López, *et. al.*, 2014).

El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) se instituyó en Inglaterra el año 1970, como un método simple que asigna un puntaje a todos los grupos de macroinvertebrados identificados al nivel de familia, teniendo como requisito datos cualitativos de presencia o ausencia. El puntaje asignado va de 1 a 10 de acuerdo a la tolerancia a la contaminación. Las familias más sensibles tienen una puntuación de 10 y las menos sensibles de 1. Alba-Tercedor & Sánchez Ortega (1988) en Zamora Gutiérrez y Ortuño Yáñez, (2012), realizaron la adaptación de este índice y lo llamaron BMWP. Una de las ventajas de este índice es que solamente se requiere la identificación a nivel de familia y el valor se obtiene por la suma de puntuación correspondiente a cada familia que habita en el tramo objeto de estudio.

III. METODOLOGÍA

3.1 Ubicación de la microcuenca El Realito

La microcuenca El Realito se encuentra ubicada dentro de la reserva de la biosfera de la sierra gorda de Guanajuato, perteneciente a la cuenca del río Panuco y subcuenca del río Santa María en la región hidrológica número veintiséis.

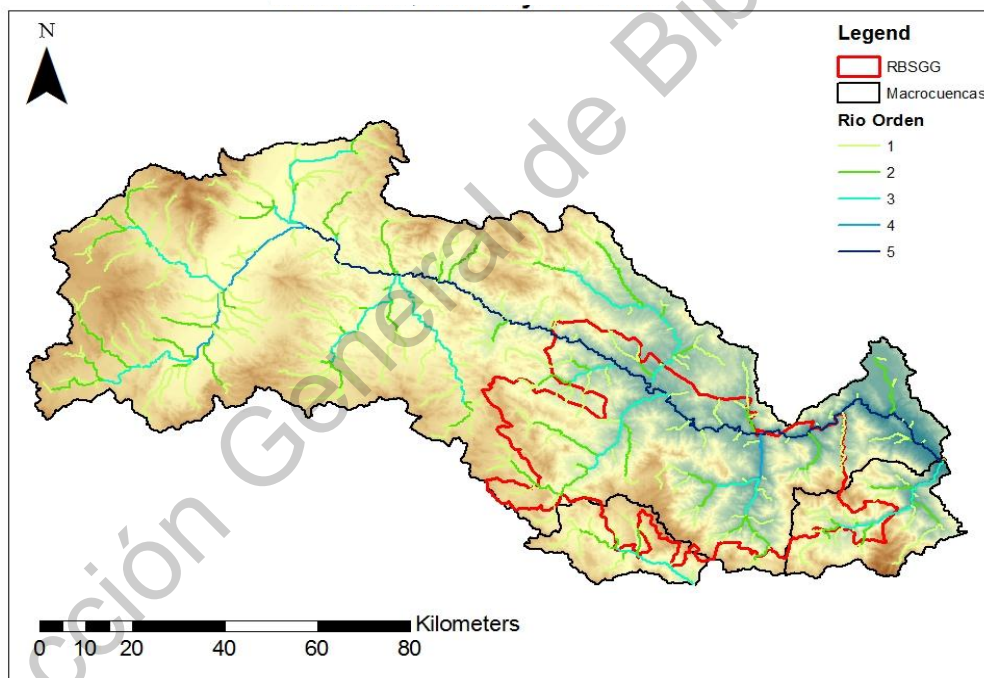


Figura 3.1 Sub cuencas que constituyen la reserva de la biosfera Sierra Gorda de Guanajuato.
Fuente: CONANP Reserva de la Biósfera Guanajuato.

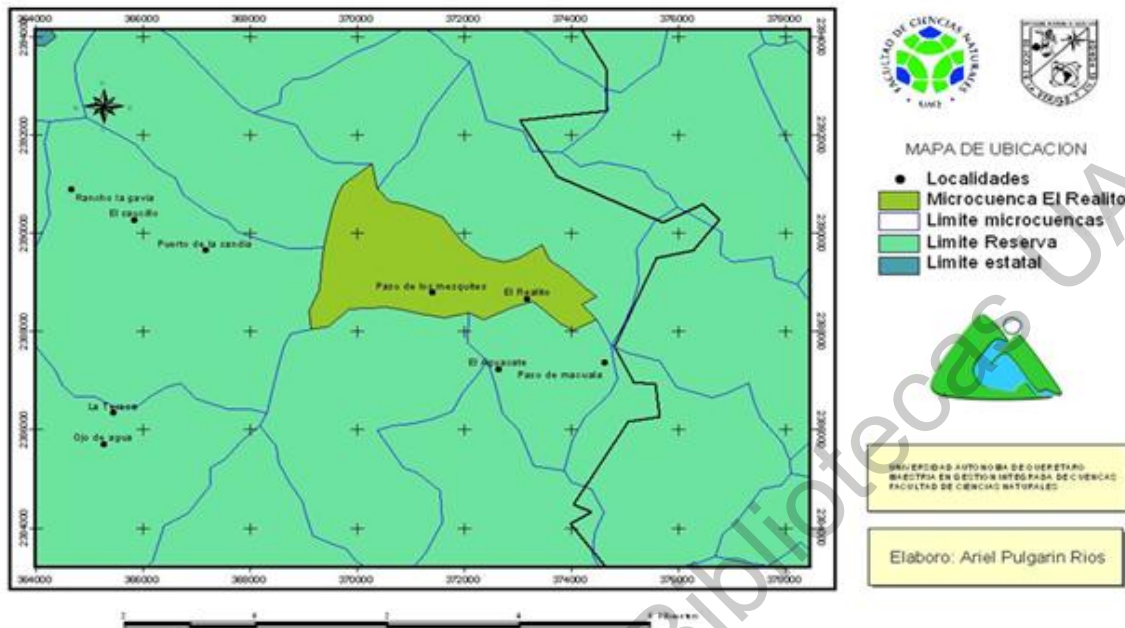


Figura3.2 Microcuenca El Realito.

3.2 Establecimiento de sitios de muestreo

Se establecieron seis sitios de muestreo en diferentes puntos estratégicos de acuerdo con las necesidades de la investigación, en este caso los puntos de muestreo se establecieron en tres sitios aguas arriba de la cortina y tres sitios aguas debajo de la presa, de los cuales el primero se encuentra a una distancia de 5 kilómetros aguas arriba de la cortina que es la distancia considerada el área de inundación de la presa, el segundo punto se ubicó a una distancia de 2.5 kilómetros de la cortina y el tercer punto se ubicó en la zona de construcción de la cortina; el cuarto sitio se ubicó en el río tributario El Aguacate que descarga sobre el río Santa María, el quinto sitio se ubicó a las afueras del poblado El Realito, a unos 200 metros de distancia de la última casa del poblado, el sexto sitio se ubicó 5 kilómetros aguas debajo de la construcción de la presa, los sitios se muestran en la siguiente imagen:

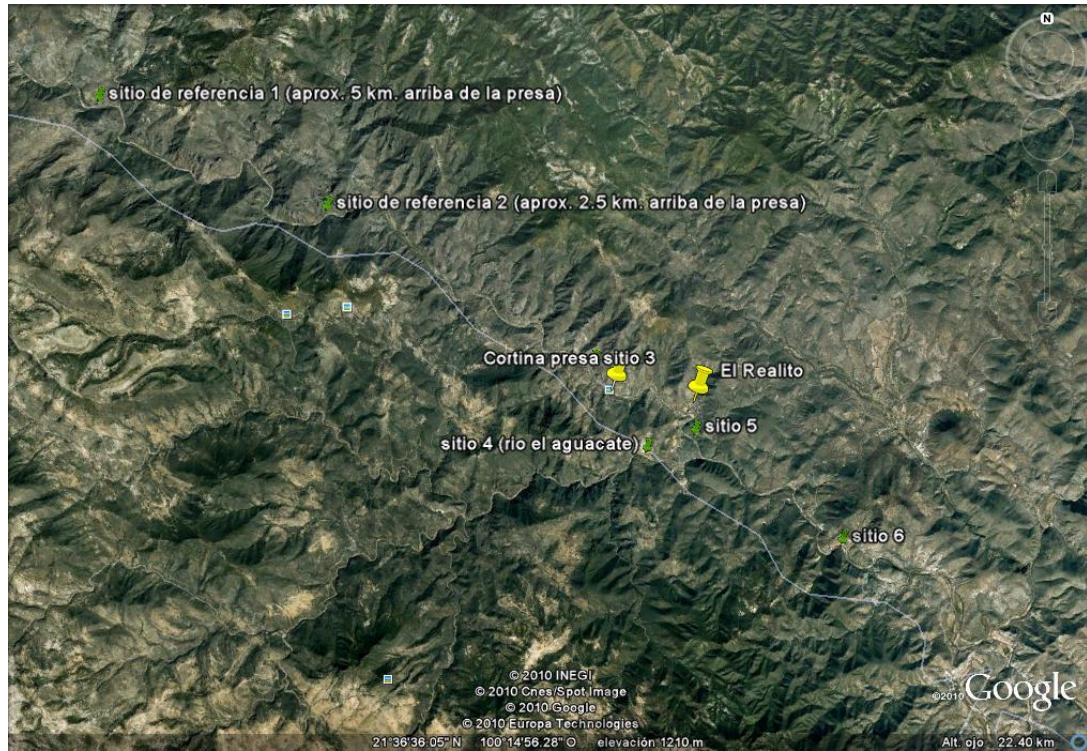


Figura 3.3 Sitios de muestreo en la microcuenca “El Realito”

Los sitios fueron definidos para tener datos de la biota existente y de las condiciones ambientales del hábitat antes del funcionamiento de la presa y en un futuro poder comparar y determinar los efectos de la construcción de esta en este sistema fluvial.

A continuación se detalla la metodología en cada uno de los sitios de muestreo para la recolección de datos para determinar los parámetros físicoquímicos del agua, parámetros morfométricos del río, índice de calidad ambiental visual y el índice BMWP mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos:

3.2.3 Parámetros físicoquímicos del agua

Se realizaron análisis físicoquímicos en los sitios de muestreo con un equipo -multiparametrico Hydrolab 4, midiendo los siguientes parámetros: Altura msnm, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno, solidos disueltos totales, porcentaje de oxígeno disuelto, potencial de óxido reducción, salinidad y turbidez. Para esto se llevaron a cabo ocho repeticiones en cada uno de los sitios de muestreo. Posteriormente se hizo la descripción de cada microhábitat muestreado de acuerdo a sus características físico-ambientales.

3.2.4 Parámetros morfométricos

En el caso de los parámetros morfométricos, se utilizó una metodología propuesta por Rosgen (1996), en los sitios elegidos en las diferentes zonas del cauce de la microcuenca, abarcando sus diferentes zonas de transición.

Para determinar las diferentes variables utilizamos un teodolito topográfico para la determinación de sinuosidad, reglas, para determinar profundidad, cinta flexible para medir el diámetro promedio de las partículas, tomando como longitud una distancia de 50 metros para cada tramo medido sobre el caudal del río.

Los parámetros obtenidos fueron, ancho de la máxima ribera, profundidad media, tasa ancho profundidad, profundidad máxima, ancho del área de inundación, tasa de confinamiento, pendiente, sinuosidad del río y el diámetro promedio de las

partículas, con estos parámetros se reconocieron los estados más probables de ese sistema lótico.

3.2.2 Índice de calidad ambiental visual o calidad de hábitat (ICAV).

Para la determinación del índice de calidad ambiental visual se utilizó el método propuesto por Barbour *et. al.* (1999); en Carrasco (2008), quien propone hacer una valoración del hábitat mediante la observación directa de los puntos que se escogen en el río, para esto se evalúan diez parámetros utilizando una matriz, a todos estos parámetros se les asignó un puntaje que va en una escala de 0 a 20 puntos en cada estación o sitio de muestreo, además estos puntos deberán incluirse dentro de una de las cuatro categorías que Barbour (1999) propone para sus estudios, que son: óptima (20 a 16 puntos), subóptima de 15 a 11 puntos), marginal (10 a 6 puntos) y pobre (5 a 0 puntos), estos valores se sumaron y comparados con la estación de referencia anteriormente seleccionada la cual deberá tener las mejores condiciones ambientales dentro de la zona de estudio.

Las variables utilizadas para hacer la calificación de los sitios son las siguientes:

- **Sustrato disponible de la epifauna**

Esta variable mide la estabilidad del hábitat, la cantidad de sustrato presente, las condiciones favorables para la colonización de la epifauna, presencia de materia orgánica como hojas, corteza, ramas, plantas sumergidas entre otras.

- **Embebimiento**

El embebimiento se refiere a la cantidad de sustrato cubierto por algas o partículas finas de cieno o arcillas que generalmente son arrastradas por la corriente de las partes altas de la cuenca y algunas algas generadas por las descargas de algunos químicos y detergentes estos principalmente por actividades antropogénicas.

- **Combinación velocidad-profundidad**

Esta combinación de velocidad y profundidad se refiere a determinar la existencia de cuatro diferentes patrones en los sitios de muestreo, los cuales son, lento-profundo, lento-somero, rápido-profundo y rápido-somero.

- **Gradiente de sedimentación**

Esta variable está relacionada con la cantidad de sedimentos que se acumulan en el cauce del río debido a los impactos naturales o antropogénicos, formando pequeñas islas o barreras de sedimentos dentro y en las orillas del cauce.

- **Estatus del flujo**

Esta variable determina en qué medida el flujo del agua toca ambas riberas del cauce, es decir si en alguna ribera no existen obstáculos que impidan que el agua haga contacto con la orilla.

- **Alteraciones del canal**

Se refiere a los impactos generados por el humano debido a la construcción de caminos, puentes y áreas de cultivo, esto dentro del cauce y en la zona de riberas.

- **Ocurrencia de rápidos**

Es una manera de medir la cantidad de rápidos presentes en el cauce, ya que los rápidos son fuente de alta calidad del hábitat y diversidad de fauna.

- **Estabilidad de las riberas**

Se refiere a que las riberas izquierda y derecha se evalúan para determinar si hay daños causados por erosión, daños antropogénicos o daños naturales que afecten el cauce del río.

- **Protección vegetal de las riberas**

Esta variable se refiere a la vegetación natural existente dentro del área de las riberas, es importante debido a que ayuda a la retención de suelo y materia orgánica en la zona de ribera ayudando también a disminuir la erosión.

- **Ancho de la vegetación riparia**

Esta área sirve como protección directa a la zona de riberas y cauce del río, debido a que si existe una gran vegetación en esta zona, esta sirve como amortiguador para evitar algunos contaminantes y erosión de suelos, efectos que pueden verse reflejados fácilmente en el cauce del río al no tener una buena área cubierta por este tipo de vegetación.

3.2.1 Elaboración del índice BMWP mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos

Se utilizaron redes entomológicas acuáticas tipo “D” y se llevaron a cabo ocho repeticiones al azar en cada sitio de muestreo en los diferentes tipos de cauce, generando un total de cuarenta y ocho muestras repartidas en cinco sitios de muestreo, para el caso de macroinvertebrados solo se realizaron muestreos en cinco sitios; las muestras se colocaron en bolsas de plástico con agua y alcohol etílico al 70% y material de sedimentos del hábitat de donde se obtuvieron; posteriormente las muestras se separaron en el laboratorio para luego identificar los macroinvertebrados con ayuda de estereoscopios, lupas y claves taxonómicas a nivel de familias.

Existen diferentes índices de calidad ambiental que usan macroinvertebrados acuáticos en su integración. Para el presente trabajo se utilizó el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP). Una de las ventajas de este índice es que solamente se requiere la identificación a nivel de familia y el valor se obtiene por la suma de puntuación correspondiente a cada familia que habita en el tramo objeto de estudio.

Los puntajes de tolerancias de órdenes y familias de macroinvertebrados que utilicé, adaptados por Ramos, (2014), en Querétaro fueron los siguientes:

Cuadro 3.1. Puntajes de tolerancia a contaminantes de macroinvertebrados acuáticos

CLASE	ORDEN	FAMILIA	TOLERANCIA
Insecta	Odonata	Aeshnidae	6
Gastropoda	Amphipoda	Ampullariidae	9
Gastropoda	Basommatophora	Ancylidae	6
Insecta	Trichoptera	Anomaloppsychidae	10
Insecta	Trichoptera	Atriplectidae	10
Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	7
Insecta	Hemiptera	Belostomatidae	5
Insecta	Diptera	Blepharoceridae	10

Insecta	Ephemeroptera	Caenidae	7
Insecta	Trichoptera	Calamoceratidae	10
Insecta	Odonata	Calopterygidae	7
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	3
Insecta	Diptera	Chironomidae	2
Turbellaria	Gordioidae	Chordodidae	10
Insecta	Coleoptera	Chrysomelidae	4
Insecta	Odonata	Coenagrionidae	7
Insecta	Hemiptera	Corixidae	7
Insecta	Megaloptera	Corydalidae	6
Insecta	Diptera	Culicidae	2
Insecta	Coleoptera	Curculionidae	4
Hirudinea	Hirudiniforme	Cyclobdellidae	3
Insecta	Diptera	Dixidae	7
Insecta	Diptera	Dolicopodidae	4
Insecta	Coleoptera	Dryopidae	7
Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	9
Insecta	Coleoptera	Elmidae	6
Insecta	Diptera	Empididae	4
Insecta	Ephemeroptera	Ephemeridae	9
Insecta	Ephemeroptera	Euthyplociidae	9
Insecta	Hemiptera	Gelastocoridae	5
Insecta	Hemiptera	Gerridae	8
Hirudinea	Glossiphoniidae	Glossiphoniidae	3
Insecta	Trichoptera	Glossosomatidae	7
Insecta	Odonata	Gomphidae	10
Insecta	Coleoptera	Gyrinidae	9
Insecta	Coleoptera	Haliplidae	4
Insecta	Hemiptera	Hebridae	8
Insecta	Trichoptera	Helicopsychidae	8
Crustacea	Amphipoda	Hyalellidae	7
Insecta	Coleoptera	Hydaenidae	9
Hidrozoa	Hidroida	Hydridae	10
Gastropoda	Mesogastropoda	Hydrobiidae	8
Insecta	Trichoptera	Hydrobiosidae	9
Insecta	Hemiptera	Hydrometridae	4
Insecta	Coleoptera	Hydrophilidae,	3
Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	7
Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae	7

Insecta	Coleoptera	Lampiridae	10
Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	8
Insecta	Ephemeroptera	Leptohiphidae	7
Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	9
Insecta	Odonata	Lestidae	8
Insecta	Odonata	Libellulidae	6
Insecta	Coleoptera	Limnycidae	4
Insecta	Coleoptera	Lutrochidae	6
Arachnoidea	Acari	Lymnessiidae	10
Gastropoda	Basommatophora	Lyninaeidae	4
Insecta	Odonata	Megapodagrionidae	6
Insecta	Hemiptera	Mesoveliidae	5
Insecta	Diptera	Muscidae	2
Insecta	Hemiptera	Naucoridae	7
Insecta	Hemiptera	Nepidae	5
Insecta	Coleoptera	Noteridae	4
Insecta	Hemiptera	Notonectidae	7
Insecta	Trichoptera	Odontoceridae	10
Insecta	Ephemeroptera	Oligoneuriidae	10
Crustacea	Decapoda	Palaemonidae	8
Insecta	Plecoptera	Perlidae	10
Insecta	Trichoptera	Philopotamidae	9
Gastropoda	Basommatophora	Physidae	3
Gastropoda	Ampulariidae	Pilidae	6
Turbellaria	Tricladida	Planariidae	7
Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae	5
Insecta	Hemiptera	Pleidae	8
Gastropoda	Pleuroceridae	Pleuroceridae	5
Insecta	Trichoptera	Polycentropodidae	9
Insecta	Ephemeroptera	Polymitarciidae	9
Insecta	Odonata	Polythoridae	10
Insecta	Diptera	Pschycodidae	7
Insecta	Coleoptera	Psepheniidae	10
Crustacea	Decapoda	Pseudotheipusidae	8
Insecta	Coleoptera	Ptilodactylidae	10
Insecta	Lepidoptera	Pyralidae	5
Insecta	Hemiptera	Saldidae	8
Insecta	Coleoptera	Scarabidae	4
Insecta	Diptera	Sciomyzidae	2

Insecta	Coleoptera	Scirtidae	7
Insecta	Megaloptera	Sialidae	6
Insecta	Diptera	Simulidae	8
Bivalvia	Veneroida	Sphaeridae	4
Insecta	Coleoptera	Staphylinidae	6
Insecta	Diptera	Stratiomyidae	4
Insecta	Diptera	Syrphidae	2
Insecta	Diptera	Tabanidae	5
Gastropoda	Mesogastropoda	Thiaridae	5
Insecta	Diptera	Tipulidae,	3
Malacostraca	Decapoda	Trichodactylidae	8
Annelida	Oligochaeta	Tubificidae	1
Insecta	Hemiptera	Veliidae	8
Insecta	Trichoptera	Xiphocentronidae	9

En el cuadro 3.1 se muestran las puntuaciones de tolerancia a contaminantes presentes en el agua de cada familia de macroinvertebrados encontrados en cada muestreo, posteriormente son sumados y en base al resultado de la suma se determina el grado de calidad de agua.

En el cuadro 3.2 se muestra cómo se suman los puntajes de las familias encontradas en cada uno de los sitios y de acuerdo a los puntos acumulados es como se determinó el nivel de daño y se asigna un color de acuerdo a la calidad del agua para cada sitio muestreado.

Cuadro 3.2. Clases de calidad de agua de acuerdo con el daño ambiental

Grupo	Límite Inferior	Límite superior	Intervención	Calidad	Color
I	100	-	Mínima	Alta	Azul
II	80	99	Leve	Buena	Verde
III	60	79	Importante	Media	Amarillo
IV	30	59	Grave	Escasa	Anaranjado
V	-	29	Muy grave	Mala	Rojo

IV. RESULTADOS

4.1 Integración comparativa de resultados

A continuación se integran los resultados de acuerdo a los diferentes indicadores obtenidos por cada uno de los sitios y de acuerdo a los diferentes parámetros que fueron: Parámetros fisicoquímicos del agua, parámetros morfométricos del río, índice de calidad ambiental visual e índice BMWP, así mismo se realizaron las valoraciones y análisis de los resultados para cada parámetro.

4.2 Parámetros fisicoquímicos del agua

Sitio 1

Este muestreo se realizó el día 20 de noviembre de 2010 aproximadamente a las 9:36 a.m. Este sitio se encuentra ubicado a 5 kilómetros de distancia de la cortina de la presa aguas arriba y es el primer sitio de referencia para la presente investigación debido al poco impacto antropogénico en la zona, esta distancia es considerada el vaso de inundación de la presa y el propósito es obtener datos de la epifauna existente en la zona antes del funcionamiento de la presa.

Las coordenadas del sitio son: **Cuenca alta**

N= 21° 37' 31.9"

W=100° 16' 09.1"

Altura= 1107 msnm

Cuadro 4.1 Parámetros y valores fisicoquímicos del agua del sitio 1.

	TEMP.	SPC	DO	PH	TDS	%DO	ORP	SAL.	TURB.
A	17.45	0.554	5.69	8.3	0.4	60.7	105	0.26	4.2
B	17.8	0.556	6.08	8.41	0.4	67.4	100	0.27	11
C	17.63	0.552	4.18	8.24	0.4	45.4	93	0.27	6.5
D	18.5	0.555	6.14	8.39	0.4	69	99	0.27	60.5
E	18.83	0.555	6.00	8.39	0.4	68	99	0.27	13.5
F	19.01	0.555	6.07	8.39	0.4	69	103	0.27	8.9
G	19.18	0.554	6.17	8.39	0.4	70	105	0.27	4.1
H	19.5	0.552	6.06	8.4	0.4	68.6	106	0.27	5

Descripción de cada microhábitat muestreado de acuerdo a sus características físico-ambientales de cada sitio:

Muestra A: Presencia de arena, grava, algas, hojarasca, poca corriente de agua y una profundidad de 8 cm.

Muestra B: Presencia de arena, grava, sitio rápido y una profundidad de 10 cm.

Muestra C: Presencia de arena, grava, hojarasca, roca madre, raíces, algas en poca cantidad, en la orilla del cauce protegido por una isla de arena y con una profundidad de 1 m.

Muestra D: Poca arena, grava, guijarro, algas, sitio rápido y una profundidad de 10 cm.

Muestra E: Poca corriente, arena, guijarros, algas, presencia de burbujas en agua y una profundidad de 30 cm.

Muestra F: Sitio rápido, guijarros, grava, algas, burbujeo, velocidad fuerte del agua y una profundidad de 20 cm.

Muestra G: Estanque, arena, grava, pocas algas y una profundidad de 40 cm.

Muestra H: Poca velocidad, grava, arena, guijarro, algas y una profundidad de 15 cm.

Sitio 2

Este muestreo se realizó el día 20 de noviembre de 2010 aproximadamente a las 12.00 p.m. Este sitio se encuentra a una distancia aproximada de 2.5 kilómetros de la cortina de la presa aguas arriba y es otro sitio de referencia debido a su poco impacto antropogénico, este sitio al igual que el primero está ubicado dentro del área de inundación de la presa y se consideró importante conocer la epifauna existente de esta área antes del funcionamiento de la presa.

Las coordenadas del sitio son: **Cuenca alta**

N= 21° 37' 15.6"

W=100° 15' 05.1"

Altura= 1092 msnm

Cuadro 4.2 Parámetros y valores fisicoquímicos del agua del sitio 2.

	TEMP.	SPC	DO	PH	TDS	%DO	ORP	SAL.	TURB.
A	20.53	0.546	6.09	8.43	0.3	71.5	73	0.23	10.08
B	20.87	0.545	6.20	8.45	0.3	71.7	87	0.26	4.5
C	20.98	0.546	6.04	8.39	0.3	71.5	90	0.26	5.3
D	21.12	0.545	6.15	8.44	0.3	72.1	103	0.26	4.8

E	21.12	0.545	6.15	8.44	0.3	72.1	103	0.26	4.8
F	21.10	0.511	7.25	8.43	0.3	86.2	98	0.25	4.1
G	21.74	0.543	6.31	8.49	0.3	76.2	104	0.26	4.8
H	22.01	0.544	6.12	8.46	0.3	73.3	109	0.26	6.6

Descripción de cada microhábitat muestreado de acuerdo a sus características físico-ambientales de cada sitio:

Muestra A: Rápido, rocas, grava, poca alga, burbujeo y una profundidad de 30 cm.

Muestra B: Estanque somero, arena, rocas, algas y una profundidad de 40 cm.

Muestra C: Estanque, lento, arena, rocas grandes, poca hojarasca y una profundidad de 50 cm.

Muestra D: Caída de agua, rápido, rocas, arena, corteza de ramas, burbujeo y una profundidad de 40 cm.

Muestra E: Rápido, rocas, pocas algas y una profundidad de 20 cm. aproximadamente.

Muestra F: Estanque somero, rocas embebidas por algas, poca corriente, hojarasca y una profundidad de 50 cm.

Muestra G: Estanque somero, poca corriente, algas, hojarasca, arena, pocas rocas y una profundidad de 20 cm.

Muestra H: Estanque, arena, grava, algas, ramas, raíces y una profundidad de 20 cm.

Sitio 3

Este muestreo se realizó el día 20 de noviembre de 2010 aproximadamente a las 03:20 p.m. Este sitio se encuentra a una distancia aproximada de 200 metros de la cortina de la presa aguas arriba, también está ubicado dentro del área de inundación de la presa, a diferencia de los dos sitios anteriores, este sitio tiene impactos antropogénicos considerables y el cauce del río está afectado de manera importante, entre más se aproxima a la cortina de la presa los cambios en el cauce se hacen más evidentes.

Las coordenadas del sitio son: **Cuenca media**

N= 21° 36' 31.3"

W=100° 14' 17"

Altura= 1067 msnm

Cuadro 4.3 Parámetros y valores fisicoquímicos del agua del sitio 3.

	TEMP.	SPC	DO	PH	TDS	%DO	ORP	SAL.	TURB.
A	24.93	0.519	5.46	8.42	0.3	69.1	150	0.26	5.3
B	24.84	0.527	5.62	8.53	0.3	71.4	172	0.26	4.5
C	24.76	0.528	5.56	8.53	0.3	70.5	175	0.26	12.7
D	24.7	0.528	5.67	8.53	0.3	72	179	0.26	3.7
E	24.67	0.529	5.13	8.54	0.3	64.7	181	0.26	4.8
F	24.7	0.530	5.16	8.02	0.3	65.2	203	0.26	13.7
G	24.37	0.528	5.53	8.55	0.3	69.7	185	0.26	6.1

H	24.3	0.528	5.52	8.53	0.3	68.6	189	0.26	5.3
---	------	-------	------	------	-----	------	-----	------	-----

Descripción de cada microhábitat muestreado de acuerdo a sus características físico-ambientales de cada sitio:

Muestra A: Estanque, poca corriente, algas, arena, grava, guijarros y una profundidad de 10 cm.

Muestra B: Rápido, mediana velocidad, arena, grava, guijarros, algas y una profundidad de 15 cm.

Muestra C: Rápido, mediana velocidad, exceso de algas, rocas medianas, grava y una profundidad de 30 cm.

Muestra D: Rápido, velocidad fuerte, burbujeo en cascada, guijarros, rocas, grava, pocas algas y una profundidad de 40 cm.

Muestra E: Estanque, poca velocidad, algas, hojarasca, arena y una profundidad de 1 m.

Muestra F: Estanque, movimiento nulo, agua turbia, hojarasca, arena, raíces y una profundidad de 50 cm.

Muestra G: Rápido, velocidad fuerte, arena, grava, guijarros, algas y una profundidad de 30 cm.

Muestra H: Rápido, velocidad media, arena, grava y una profundidad de 15 cm.

Sitio 4

Este muestreo se realizó el día 20 de noviembre de 2010 aproximadamente a las 05:30 p.m. Este sitio se encuentra ubicado en el único tributario permanente que desemboca al río Santa María dentro de la zona de estudio y está ubicado, aguas abajo de la presa, este tributario es “el río del aguacate”. En este sitio se encontró poco impacto generado por la construcción de la presa, sin embargo se observó un exceso en la cantidad de embebimiento por algas, se considera que esto es debido a que

algunas familias cercanas al cauce del río realizan descargas de jabón y detergentes en actividades como bañarse y lavar sus ropas.

Las coordenadas del sitio son: **Cuenca media**

N= 21° 35' 37.5"

W=100° 13' 52.1"

Altura= 1048 msnm

Cuadro 4.4 Parámetros y valores fisicoquímicos del agua del sitio 4.

	TEMP.	SPC	DO	PH	TDS	%DO	ORP	SAL.	TURB.
A	21.9	0.259	6.07	8.24	0.2	72.8	132	0.12	6.2
B	22.04	0.258	6.14	8.27	0.2	74.2	138	0.12	8.7
C	22.05	0.257	6.73	8.20	0.2	80	147	0.12	7.6
D	21.84	0.257	6.48	8.26	0.2	77.6	153	0.12	7
E	21.84	0.257	6.54	8.29	0.2	78.5	154	0.12	6
F	21.78	0.256	5.90	8.29	0.2	70.5	156	0.12	6.2
G	21.74	0.258	6.65	8.28	0.2	79.2	157	0.12	7.3
H	21.7	0.257	6.81	8.27	0.2	80.9	160	0.12	6.2

Descripción de cada microhábitat muestreado de acuerdo a sus características físico-ambientales de cada sitio:

Muestra A: Estanque, poca corriente, arena, grava, guijarros, algas y una profundidad de 15 cm.

Muestra B: Rápido, rocas embebidas con exceso de algas, arena, grava y una profundidad de 10 cm.

Muestra C: Estanque, poca velocidad, exceso de embebimiento con sedimentos y algas y una profundidad de 40 cm.

Muestra D: Rápido, poca velocidad, arena, grava, algunos guijarros y una profundidad de 10 cm.

Muestra E: Rápido, grava, algunos guijarros, algo de sedimentos y una profundidad de 15 cm.

Muestra F: Estanque, arena, grava, hojarasca, materia orgánica y una profundidad de 50 cm.

Muestra G: Rápido, arena, roca embebida con sedimentos, guijarros y una profundidad de 10 cm.

Muestra H: Rápido, arena, roca madre, pocas algas y una profundidad de 10 cm.

Sitio 5

Este muestreo se realizó el día 21 de noviembre de 2010 aproximadamente a las 08:30 a.m. Este sitio se encuentra aguas abajo de la presa y localizado en las afueras del poblado El Realito, el muestreo se realizó a unos 200 metros de la última casa de este poblado con la intención de conocer las condiciones de la epifauna en esta zona de la parte baja de la microcuenca, además de conocer los posibles daños ocasionados por el impacto de la construcción de la presa en conjunto con las descargas de aguas negras generadas por los habitantes de la pequeña población así como de los campamentos existentes donde habitan los trabajadores que construyen la presa.

Las coordenadas del sitio son: **Cuenca baja**

N= 21° 36' 05"

W=100° 13' 4.8"

Altura= 1037 msnm

Cuadro 4.5 Parámetros y valores fisicoquímicos del agua del sitio 5.

	TEMP.	SPC	DO	PH	TDS	%DO	ORP	SAL.	TURB.
A	17	0.540	6.15	8.41	0.3	67.1	114	0.26	24.1
B	17.4	0.539	5.8	8.5	0.4	63.4	102	0.26	11.1
C	17.15	0.540	5.81	8.4	0.4	63.2	107	0.26	11
D	17.19	0.540	5.85	8.45	0.4	64.1	101	0.26	9.5
E	17.45	0.539	6.14	8.42	0.3	67.5	104	0.26	11.5
F	17.91	0.543	5.62	8.33	0.4	63.1	114	0.26	11.5
G	17.82	0.538	6.02	8.44	0.3	66.8	101	0.26	8.7
H	17.86	0.536	6.16	8.48	0.1	67.9	105	0.26	44.1

Descripción de cada microhábitat muestreado de acuerdo a sus características físico-ambientales de cada sitio:

Muestra A: Rápido, grava, arena, velocidad media, algunas algas, guijarros y una profundidad de 10 cm.

Muestra B: Estanque, roca madre, guijarros, algas, velocidad media, arena y una profundidad de 40 cm.

Muestra C: Rápido, velocidad media, arena, grava, pocas algas, guijarros y una profundidad de 40 cm.

Muestra D: Estanque, junto a roca madre, arena, grava, pocas algas y una profundidad de 30 cm.

Muestra E: Rápido, velocidad media, guijarros, grava, pocas algas y una profundidad de 10 cm.

Muestra F: Estanque, arena, grava, algas, guijarros y una profundidad de 10 cm.

Muestra G: Rápido, arena, grava, guijarros embebidos con algas y una profundidad de 15 cm.

Muestra H: Rápido, velocidad fuerte, rocas guijarros, roca madre, pocas algas y una profundidad de 10 cm.

Sitio 6

Este muestreo se realizó el día 21 de noviembre de 2010 aproximadamente a las 10:20 a.m. Este sitio se encuentra aguas abajo de la presa, el muestreo se realizó a 5 kilómetros aproximadamente aguas abajo de la cortina de la presa, este sitio está ubicado en la parte baja de la microcuenca, este caso servirá además de la comparación con los demás sitios para conocer cuáles son las condiciones resilientes del río a esta distancia entre la cortina de la presa y el sitio de muestreo.

Las coordenadas del sitio son: **Cuenca baja**

N= 21° 34' 47.4"

W=100° 11' 26.5"

Altura= 1006 msnm

Cuadro 4.6 Parámetros y valores fisicoquímicos del agua del sitio 6.

	TEMP.	SPC	DO	PH	TDS	%DO	ORP	SAL.	TURB.
A	20.15	0.467	6.2	8.4	0.3	72.2	102	0.22	8.8
B	20.35	0.470	6.54	8.4	0.3	76.4	105	0.22	14.6
C	20.60	0.470	6.50	8.41	0.3	76.3	116	0.22	11.8
D	20.75	0.470	6.26	8.43	0.3	73.5	112	0.22	9.1

E	20.88	0.470	6.8	8.46	0.3	80.3	124	0.22	73.4
F	24.87	0.441	6.8	8.61	0.3	108.7	121	0.21	20
G	21.24	0.472	6.55	8.41	0.3	78	124	0.23	9.5
H	21.62	0.468	6.3	8.45	0.3	75.6	100	0.23	10.1

Descripción de cada microhábitat muestreado de acuerdo a sus características físico-ambientales de cada sitio:

Muestra A: Estanque, roca madre, gujarros, arena, embebimiento y una profundidad de 60 cm.

Muestra B: Rápido, algas, gujarros, burbujeo, roca madre y una profundidad de 15 cm.

Muestra C: Rápido, entre rocas, grava, arena, pocas algas y una profundidad de 10 cm.

Muestra D: Estanque, rocas, arena, embebimiento con algas y una profundidad de 25 cm.

Muestra E: Rápido, rocas, algas, embebimiento con sedimentos, grava y una profundidad de 15 cm.

Muestra F: Estanque, isla con algas, arena, roca madre, hojarasca y una profundidad de 10 cm.

Muestra G: Rápido, velocidad baja, arena, pocas rocas, algas, poca grava, y una profundidad de 15 cm.

Muestra H: Estanque, raíces, gujarros, grava, arena, embebimiento con sedimentos y una profundidad de 50 cm.

En el cuadro 4.7 se observan los promedios de los resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua que consideramos en la investigación, además de las coordenadas y los metros sobre nivel del mar para cada uno de los sitios, los parámetros revisados fueron los siguientes: Altura, temperatura, superconductividad, oxígeno disuelto, potencial de hidrogeno, sólidos disueltos totales, porcentaje de oxígeno disuelto, potencial de óxido reducción, salinidad y turbidez. Se comparan los promedios de las ocho mediciones de cada sitio y se observa que en los sitios 4 y 5 es donde hay más variaciones en los diferentes parámetros como un aumento considerable en la superconductividad, porcentaje de oxígeno disuelto, salinidad y turbidez (cuadros 4.4 y 4.5), esto debido a la cercanía con la zona de construcción de la presa y por estar ubicados a la salida del pueblo, obras que generan diferencias en los parámetros mencionados.

Cuadro 4.7 Parámetros fisicoquímicos del agua para cada sitio muestreado.

PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL AGUA							
PARAMETROS	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4	SITIO 5	SITIO 6	PROMEDIO
ALTURA (msnm)	1107	1092	1067	1048	1037	1006	1059.5
TEMP.	18.48	21.18	24.65	21.86	17.47	21.30	20.82
SPC	0.55	0.54	0.52	0.25	0.53	0.46	0.47
DO	5.79	6.28	5.45	6.41	5.94	6.49	6.06
PH	8.36	8.44	8.45	8.26	8.42	8.44	8.39
TDS	0.4	0.3	0.3	0.2	0.32	0.3	0.30
%DO	64.76	74.32	68.9	76.71	65.38	80.12	71.69
ORP	101.25	95.87	179.25	149.62	106	113	124.16
SAL.	0.26	0.25	0.26	0.12	0.26	0.22	0.22
TURB.	14.21	5.62	7.01	6.9	16.43	19.66	11.63

4.3 Parámetros morfométricos

A continuación, se describen cada uno de los sitios muestreados con los diferentes parámetros tomados en campo para determinar el tipo de corriente:

Guía de campo para la clasificación de ríos y arroyos

Nombre del Arroyo: Río Santa María

Cuenca: Panuco Microcuenca: El Realito

Localidad: Mineral El Realito, municipio de San Luis de la Paz Guanajuato, México

Sitio de muestreo: 1

Latitud: _____ Longitud: _____ Altitud _____

Orden: _____ Sección: _____

Observaciones: _____

Ancho de la Máxima Ribera (AMR) 25.40 _____ m.

Profundidad Media ($\bar{P} = \frac{\sum P_i}{P_n}$): 0.74 _____ m

Tasa ancho/profundidad ($TA/\bar{P} = \frac{AMR}{\bar{P}}$): 34.32 _____

Profundidad máxima: 1.50 _____ m
(máxima distancia entre el nivel de la máxima ribera y el fondo).

Ancho del área de inundación (AAI): 57.5 _____ m
(distancia máxima de los márgenes en el nivel del doble de la profundidad máxima)

Tasa de confinamiento ($TC = \frac{AAI}{AMR}$): 2.263 _____

Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D_{50}): Guijarros pequeños
(62 128). _____

Pendiente ($GP = \frac{h}{d}$): 0.0132 _____

(Diferencia de nivel de la superficie del agua en una distancia mayor de 30 metros)

Sinuosidad ($S = \frac{l_c}{l_v}$): 1.08 _____

(Tasa de la distancia de la longitud del canal entre la longitud del valle)

Tipo de corriente **C3**

Nombre del Arroyo: Río Santa María

Cuenca: Panuco Microcuenca: El Realito

Localidad: Mineral El Realito, municipio de San Luis de la Paz Guanajuato, México

Sitio de muestreo: 2

Latitud: _____ Longitud: _____ Altitud _____

Orden: _____ Sección: _____

Observaciones: _____

Ancho de la Máxima Ribera (AMR) 22.7 m.

Profundidad Media ($\bar{P} = \frac{\sum P_i}{P_n}$): 0.70 m

Tasa ancho/profundidad ($TA/\bar{P} = \frac{AMR}{\bar{P}}$): 32.42

Profundidad máxima: 1.38 m
(máxima distancia entre el nivel de la máxima ribera y el fondo).

Ancho del área de inundación (AAI): 35.06 m
(distancia máxima de los márgenes en el nivel del doble de la profundidad máxima)

Tasa de confinamiento ($TC = \frac{AAI}{AMR}$): 1.54

Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D_{50}): Guijarros grandes (128-256).

Pendiente ($GP = \frac{h}{d}$): 0.0234

(Diferencia de nivel de la superficie del agua en una distancia mayor de 30 metros)

Sinuosidad ($S = \frac{lc}{lv}$): 1.48

(Tasa de la distancia de la longitud del canal entre la longitud del valle)

Tipo de corriente **B3**

Nombre del Arroyo: Río Santa María

Cuenca: Panuco Microcuenca: El Realito

Localidad: Mineral El Realito, municipio de San Luis de la Paz Guanajuato, México

Sitio de muestreo: 3

Latitud: _____ Longitud: _____ Altitud _____

Orden: _____ Sección: _____

Observaciones: _____

Ancho de la Máxima Ribera (AMR) 33.20 m.

Profundidad Media ($\bar{P} = \frac{\sum P_i}{P_n}$): 0.73 m

Tasa ancho/profundidad ($TA/\bar{P} = \frac{AMR}{\bar{P}}$): 45.47

Profundidad máxima: 1.17 m
(máxima distancia entre el nivel de la máxima ribera y el fondo).

Ancho del área de inundación (AAI): 42.59 m
(distancia máxima de los márgenes en el nivel del doble de la profundidad máxima)

Tasa de confinamiento ($TC = \frac{AAI}{AMR}$): 1.28

Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D_{50}): Grava fina (4.0-7.8).

Pendiente ($GP = \frac{h}{d}$): 0.011

(Diferencia de nivel de la superficie del agua en una distancia mayor de 30 metros)

Sinuosidad ($S = \frac{lc}{lv}$): 1.09

(Tasa de la distancia de la longitud del canal entre la longitud del valle)

Tipo de corriente F4

Nombre del Arroyo: Río Aguacate (tributario del río Santa María)

Cuenca: Panuco Microcuenca: El Realito

Localidad: Mineral El Realito, municipio de San Luis de la Paz Guanajuato, México

Sitio de muestreo: 4

Latitud: _____ Longitud: _____ Altitud _____

Orden: _____ Sección: _____

Observaciones: _____

Ancho de la Máxima Ribera (AMR) 21.35 m.

Profundidad Media ($\bar{P} = \frac{\sum P_i}{P_n}$): 0.62 m

Tasa ancho/profundidad ($TA/\bar{P} = \frac{AMR}{\bar{P}}$): 34.43

Profundidad máxima: 1.28 m
(máxima distancia entre el nivel de la máxima ribera y el fondo).

Ancho del área de inundación (AAI): 27.79 m
(distancia máxima de los márgenes en el nivel del doble de la profundidad máxima)

Tasa de confinamiento ($TC = \frac{AAI}{AMR}$): 1.30

Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D_{50}): Grava mediana (7.8-16).

Pendiente ($GP = \frac{h}{d}$): 0.021

(Diferencia de nivel de la superficie del agua en una distancia mayor de 30 metros)

Sinuosidad ($S = \frac{lc}{lv}$): 1.08

(Tasa de la distancia de la longitud del canal entre la longitud del valle)

Tipo de corriente F4b

Nombre del Arroyo: Río Santa María

Cuenca: Panuco Microcuenca: El Realito

Localidad: Mineral El Realito, municipio de San Luis de la Paz Guanajuato, México

Sitio de muestreo: 5

Latitud: _____ Longitud: _____ Altitud _____

Orden: _____ Sección: _____

Observaciones: _____

Ancho de la Máxima Ribera (AMR) 25.20 m.

Profundidad Media ($\bar{P} = \frac{\sum P_i}{P_n}$): 0.67 m

Tasa ancho/profundidad ($TA/\bar{P} = \frac{AMR}{\bar{P}}$): 37.61

Profundidad máxima: 1.14 m
(máxima distancia entre el nivel de la máxima ribera y el fondo).

Ancho del área de inundación (AAI): 32.7 m
(distancia máxima de los márgenes en el nivel del doble de la profundidad máxima)

Tasa de confinamiento ($TC = \frac{AAI}{AMR}$): 1.29

Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D_{50}): Guijarros pequeños (62 128).

Pendiente ($GP = \frac{h}{d}$): 0.0197

(Diferencia de nivel de la superficie del agua en una distancia mayor de 30 metros)

Sinuosidad ($S = \frac{lc}{lv}$): 2.30

(Tasa de la distancia de la longitud del canal entre la longitud del valle)

Tipo de corriente F3

Nombre del Arroyo: Río Santa María

Cuenca: Panuco Microcuenca: El Realito

Localidad: Mineral El Realito, municipio de San Luis de la Paz Guanajuato, México

Sitio de muestreo: 6

Latitud: _____ Longitud: _____ Altitud _____

Orden: _____ Sección: _____

Observaciones: _____

Ancho de la Máxima Ribera (AMR) 20.90 m.

Profundidad Media ($\bar{P} = \frac{\sum P_i}{P_n}$): 0.54 m

Tasa ancho/profundidad ($TA/\bar{P} = \frac{AMR}{\bar{P}}$): 38.70

Profundidad máxima: 1.10 m
(Máxima distancia entre el nivel de la máxima ribera y el fondo).

Ancho del área de inundación (AAI): 62.37 m
(Distancia máxima de los márgenes en el nivel del doble de la profundidad máxima)

Tasa de confinamiento ($TC = \frac{AAI}{AMR}$): 2.98

Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D_{50}): Guijarros pequeños (62 128)

Pendiente ($GP = \frac{h}{d}$): 0.0058

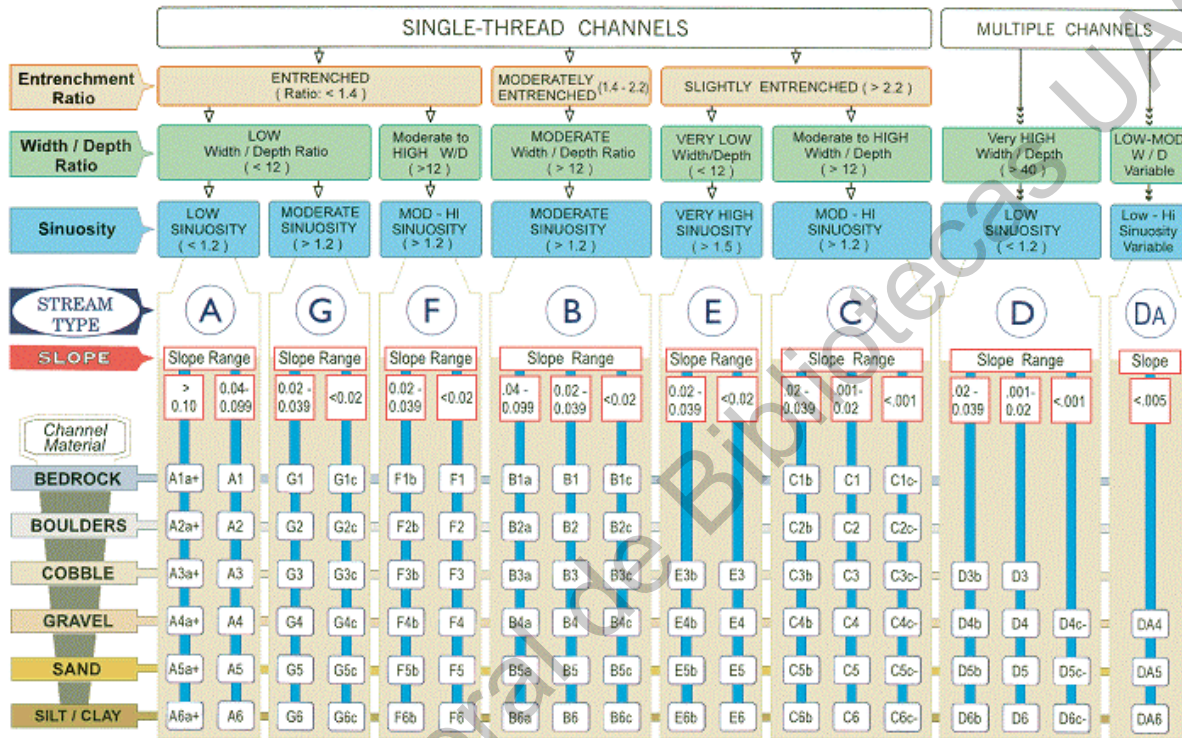
(Diferencia de nivel de la superficie del agua en una distancia mayor de 30 metros)

Sinuosidad ($S = \frac{lc}{lv}$): 1.09

(Tasa de la distancia de la longitud del canal entre la longitud del valle)

Tipo de corriente C3

En el caso de los parámetros morfométricos, se utilizó una metodología propuesta por Rosgen (1996), donde se realizaron los seis muestreos en las diferentes zonas del cauce de la microcuenca, abarcando sus diferentes zonas de transición, la descripción para dar valor a cada sitio se muestra en la siguiente figura:



KEY to the ROSGEN CLASSIFICATION of NATURAL RIVERS. As a function of the "continuum of physical variables" within stream reaches, values of **Entrenchment** and **Sinuosity** ratios can vary by +/- 0.2 units; while values for **Width / Depth** ratios can vary by +/- 2.0 units.

Figura 4.1 Valores para determinar el de tipo de corriente tomado de Rosgen (1998).

Determinación los tipos de corriente en cada uno de los seis sitios muestreados de acuerdo con Rosgen (1998). En el cuadro 4.8 se describen los resultados de cada una de las variables que determinan los parámetros morfométricos.

En el cuadro 4.8 se muestran los resultados para obtener los tipos de corriente en cada sitio muestreado y de acuerdo con los datos obtenidos los resultados fueron los siguientes: para el sitio 1 se tiene una corriente de tipo C3; para el sitio 2 se tiene una corriente de tipo B3; para el sitio 3 se tiene una corriente de tipo F4; para el sitio 4 se tiene una corriente de tipo F4b; para el sitio 5 se tiene una corriente del tipo F3; para el sitio 6 se tiene una corriente del tipo C3. De acuerdo con los resultados obtenidos los sitios más impactados por las obras de construcción de la presa, son los sitios 3, 4 y 5 que muestran cambios significativos en la acumulación de sedimentos y partículas pequeñas debido también a una tasa de confinamiento de agua diferente de los demás sitios, el ancho del área de inundación se ve afectada en los sitios más cercanos al área de construcción de la presa (sitios 3 y 5) esto debido a que son muy visibles los efectos que provocan las obras de construcción de la misma, disminuyendo el área de inundación del cauce por la acumulación de sedimentos y rocas incluidos algunos materiales utilizados en la construcción como grava, arena y cemento.

Cuadro 4.8 Tipo de corriente del río en cada sitio muestreado determinado mediante diferentes variables.

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS						
NOMBRE DEL ARROLLO	RÍO SANTA MARÍA					
CUENCA	PANUCO					
MICROCUENCA	EL REALITO					
LOCALIDAD	MINERAL EL REALITO, MUNICIPIO DE SAN LUIS DE LA PAZ GUANAJUATO, MÉXICO					
SITIOS DE MUESTREO						
	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4	SITIO 5	SITIO 6
Ancho de la máxima rivera (AMR)	25.40 m	22.7 m	33.20 m	21.35 m	25.20 m	20.90 m
Profundidad media	0.74 m	0.70 m	0.73 m	0.62 m	0.67 m	0.54 m
Tasa ancho/Profundidad	34.32	32.42	45.47	34.43	37.61	38.70
Profundidad máxima	1.50m	1.38 m	1.17 m	1.28 m	1.14 m	1.10 m
Ancho del área de inundación (AAI)	57.5m	35.06 m	42.59 m	27.79 m	32.7 m	62.37 m
Tasa de confinamiento	2.263	1.54	1.28	1.30	1.29	2.98
Diámetro promedio de las partículas del sedimento (D50)	Guijarros pequeños 62-128	Guijarros grandes 128-256	Grava fina 4.0- 7.8	Grava mediana 7.8-16	Guijarros pequeños 62-128	Guijarros pequeños 62-128
Pendiente	0.0132	0.0234	0.011	0.021	0.0197	0.0058
Sinuosidad	1.08	1.48	1.09	1.08	2.30	1.09
Tipo de corriente	C3	B3	F4	F4b	F3	C3

4.4 Índice de calidad ambiental visual

En los diferentes sitios de muestreo para esta investigación se dieron las siguientes calificaciones para el ICAV:

Sitio 1

Gradiente Alto

Cuadro 4.9 Variables y valores del sitio 1 para determinación del ICAV.

NO. Dato	Variables	Calificación	
1	Sustrato disponible para la epifauna	20	
2	Embebimiento	13	
3	Combinación velocidad-profundidad	19	
4	Gradiente de sedimentación	20	
5	Estatus del flujo	20	
6	Alteraciones del canal	16	
7	Ocurrencia de rápidos	20	
8	Estabilidad de riberas	(Der = 10);(Izq = 8)	18
9	Protección vegetal de riberas	(Der = 10);(Izq = 10)	18
10	Ancho de la vegetación riparia	(Der = 10);(Izq = 2)	12

Calificación total = 178 (óptimo)

Sitio 2

Gradiente Alto

Cuadro 4.10 Variables y valores del sitio 2 para determinación del ICAV.

NO. Dato	Variables	Calificación	
1	Sustrato disponible para la epifauna	20	
2	Embebimiento	15	
3	Combinación velocidad-profundidad	20	
4	Gradiente de sedimentación	20	
5	Estatus del flujo	20	
6	Alteraciones del canal	17	
7	Ocurrencia de rápidos	20	
8	Estabilidad de riberas	(Der = 9);(Izq = 10)	19
9	Protección vegetal de riberas	(Der = 10);(Izq = 10)	20
10	Ancho de la vegetación riparia	(Der = 10);(Izq = 10)	20

Calificación total = 191 (óptimo)

Sitio 3

Gradiente Alto

Cuadro 4.11 Variables y valores del sitio 3 para determinación del ICAV.

NO. Dato	Variables	Calificación	
1	Sustrato disponible para la epifauna	19	
2	Embebimiento	14	
3	Combinación velocidad-profundidad	20	
4	Gradiente de sedimentación	7	
5	Estatus del flujo	12	
6	Alteraciones del canal	5	
7	Ocurrencia de rápidos	19	
8	Estabilidad de riberas	(Der = 9);(Izq = 5)	14
9	Protección vegetal de riberas	(Der = 9);(Izq = 8)	17
10	Ancho de la vegetación riparia	(Der = 9);(Izq = 8)	17

Calificación total = 144 (subóptimo)

Sitio 4

Gradiente Alto

Cuadro 4.12 Variables y valores del sitio 4 para determinación del ICAV.

NO. Dato	Variables	Calificación	
1	Sustrato disponible para la epifauna	20	
2	Embebimiento	10	
3	Combinación velocidad-profundidad	20	
4	Gradiente de sedimentación	20	
5	Estatus del flujo	20	
6	Alteraciones del canal	19	
7	Ocurrencia de rápidos	20	
8	Estabilidad de riberas	(Der = 10);(Izq = 10)	20
9	Protección vegetal de riberas	(Der = 10);(Izq = 10)	20
10	Ancho de la vegetación riparia	(Der = 10);(Izq = 9)	19

Calificación total = 188 (óptimo)

Sitio 5

Gradiente Alto

Cuadro 4.13 Variables y valores del sitio 5 para determinación del ICAV.

NO. Dato	Variables	Calificación	
1	Sustrato disponible para la epifauna	15	
2	Embebimiento	12	
3	Combinación velocidad-profundidad	16	
4	Gradiente de sedimentación	7	
5	Estatus del flujo	15	
6	Alteraciones del canal	15	
7	Ocurrencia de rápidos	14	
8	Estabilidad de riberas	(Der = 6);(Izq = 7)	13
9	Protección vegetal de riberas	(Der = 8);(Izq = 8)	16
10	Ancho de la vegetación riparia	(Der = 5);(Izq = 5)	10

Calificación total = 133 (subóptimo)

Sitio 6

Gradiente Alto

Cuadro 4.14 Variables y valores del sitio 6 para determinación del ICAV.

NO. Dato	Variables	Calificación	
1	Sustrato disponible para la epifauna	15	
2	Embebimiento	11	
3	Combinación velocidad-profundidad	17	
4	Gradiente de sedimentación	14	
5	Estatus del flujo	15	
6	Alteraciones del canal	13	
7	Ocurrencia de rápidos	19	
8	Estabilidad de riberas	(Der = 7);(Izq = 10)	17
9	Protección vegetal de riberas	(Der = 9);(Izq = 10)	19
10	Ancho de la vegetación riparia	(Der = 3);(Izq = 10)	13

Calificación total = 153 (subóptimo)

En el cuadro 4.15 se muestran las diferentes categorías de cada uno de los sitios muestreados y muestra que los sitios 1,2 y 4 están dentro de la categoría de sitio “optimo” y los sitios 3,5 y 6 están dentro de la categoría de sitio “sub-optimo”, categorías propuestas por (Barbour *et. al.*, 1999). En cuanto al índice de calidad ambiental visual se observó que los sitios más impactados de acuerdo a las diferentes variables que considera el índice son los sitios 3 y 5 (cuadro 4.15) con una categoría de calificación de sub-optimo en ambos sitios, siendo estos sitios los más cercanos a la construcción de la presa y siendo los más afectados en el cauce y hábitat de los mismos ya que la puntuación disminuye significativamente en comparación con la calificación de los demás sitios, solo el sitio 6 que está ubicado a 5 kilómetros aguas debajo de la presa está dentro de la categoría sub-optimo, sin embargo el puntaje está muy cercano a la categoría de optimo a diferencia de los sitios 3 y 5 que tienen un puntaje más bajo, este sitio 6 disminuye su categoría posiblemente a la cercanía de algunos caseríos cercanos al cauce y ciertas actividades humanas.

Cuadro 4.15 Variables y resultados del índice de calidad ambiental visual por cada sitio muestreado.

VARIABLES ICAV	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4	SITIO 5	SITIO 6
Sustrato disponible para la epifauna	20	20	19	20	15	15
Embebimiento	13	15	14	10	12	11
Combinación velocidad-profundidad	19	20	20	20	16	17
Gradiente de sedimentación	20	20	7	20	7	14
Estatus del flujo	20	20	12	20	15	15
Alteraciones del canal	16	17	5	19	15	13
Ocurrencia de rápidos	20	20	19	20	14	19
Estabilidad de riberas	18	19	14	20	13	17
Protección vegetal de riberas	18	20	17	20	16	19
Ancho de la vegetación riparia	12	20	17	19	10	13
TOTAL	178	191	144	188	133	153
CATEGORIA	OPTIMO	OPTIMO	SUB-OPTIMO	OPTIMO	SUB-OPTIMO	SUB-OPTIMO

4.5 Índice BMWP-EI Realito

Los cuadros 4.16 y 4.17 muestran los índices de BMWP adaptados a la microcuenca El Realito de acuerdo a las familias de macroinvertebrados presentes en cada uno de los cinco sitios muestreados en las diferentes zonas de transición de la microcuenca, es importante destacar que de acuerdo a las familias de macroinvertebrados encontrados en los diferentes sitios de muestreo indican una calidad del agua alta, sobre todo en los sitios 1 y 2 (cuadro 4.17), sin embargo se puede observar que en los sitios cercanos a la zona de construcción de la presa y zona de descarga de aguas negras del poblado que son los sitios 3, 4 y 5 el número de familias tiende a disminuir, o las familias presentes son representativas de aguas contaminadas, lo que muestra una disminución en la calidad de agua de acuerdo a estos indicadores biológicos.

Cuadro 4.16 Valores e interpretación del índice BMWP relacionado a la presencia de familias de macroinvertebrados acuáticos y colores que determinan la calidad ambiental.

Grupo	Límites de la calidad	Intervención	Calidad
I	100->	Mínima	Alta
II	80-99	Leve	Buena
III	60-79	Importante	Media
IV	30-59	Grave	Escasa
V	<-29	Muy grave	Mala

Cuadro 4.17 Resultados del índice BMWP de acuerdo a presencia de familias de macroinvertebrados acuáticos para cada sitio muestreado.

Sitio de muestreo	Número de familias	BMWP	Grupo	Intervención	Calidad	Color
5 Km. aguas arriba de la presa	21	123	I	Mínima	Alta	Azul
2.5 Km. Aguas arriba de la presa	19	113	I	Mínima	Alta	Azul
200 m. arriba de cortina de la presa	18	108	I	Mínima	Alta	Azul
Río tributario El Aguacate	18	108	I	Mínima	Alta	Azul
200 m. aguas debajo de la presa	24	150	I	Mínima	Alta	Azul

Dirección General de Bibliotecas UAQ

4.6 Discusión

La cantidad de presas en el mundo ha ido en aumento ya que las sociedades buscan resolver la problemática de escasez de agua para poder satisfacer sus diferentes necesidades, como son de uso humano, industrial y agropecuario principalmente, por lo cual han recurrido al embalse de los ríos creyendo erróneamente que esta estrategia podría resolver el abasto de agua, sin embargo, los resultados han sido distintos. Según mencionan (Johnson et al. 2008; Alcocer y Bernal-Brooks 2010; en Martínez Yrizar et. al., 2012), La alteración de la dinámica hidrológica, la contaminación y la invasión de especies exóticas a los cuerpos de agua constituyen las mayores amenazas para la conservación de los ecosistemas dulceacuícolas en el mundo. Así mismo (Downing et al. 2006; en Martínez Yrizar et. al., 2012), Una de las causas más importantes de dichas alteraciones fue la construcción acelerada de presas en la segunda mitad del siglo xx, con la instalación de más de 45 mil presas grandes en todo el mundo. Esta red, que cubre un área aproximada de 337 mil km², cambió de forma dramática la distribución global de agua dulce.

En México tenemos una gran cantidad de presas establecidas en diferentes embalses de ríos, estas presas igualmente han generado expectativas de crecimiento económico en las zonas de construcción de las mismas, sin embargo, según estudios han provocado desplazamientos sociales y contaminación en los propios ríos donde fueron establecidas. Según un estudio realizado por (Aguilar, 2003; en Martínez Yrizar et. al., 2012), en el país existen 840 reservorios artificiales, clasificados como grandes presas, con una capacidad conjunta de almacenamiento de 150 km³. De ellas, una estimación muy conservadora muestra que 611 presentan un volumen superior a 0.5 millones de m³. Desde la perspectiva ambiental y sin consideración a su tamaño y modos de operación, todas las presas modifican los procesos biofísicos y regímenes naturales de los ríos, en detrimento directo o indirecto de los ecosistemas colindantes y de sus pobladores.

La construcción de la presa El Realito es una obra que genera expectativas en las comunidades dentro de la microcuenca, ya que genera un gran número de empleos, sin embargo, los daños causados por la construcción de esta obra generan un gran impacto en el ecosistema principalmente en el cauce del río Santa María, que se ubica en la microcuenca el Realito. Estos impactos a largo plazo pueden ser irreversibles, si bien estos empleos generados y bienestar en las comunidades son ahora bien vistos por los habitantes, sería necesario hacerles ver la importancia y daños que podría acarrear, ya que la construcción de esta obra podría ocasionar la escasez de agua para consumo humano y otros problemas socio-económicos en unos años más y sobre todo el resto de la cuenca aguas debajo de la presa. Como lo describe (Berckamp *et. al.*, 2000; en Martínez Yrizar *et. al.*, 2012), además de los impactos ambientales, otros costos derivados de la construcción de las presas incluye externalidades económicas y sociales, Estos costos se manifiestan en la pérdida de bienestar social en sectores ajenos a las entidades que construyeron y operan la presa, por ejemplo el acceso a los recursos naturales debido a la inundación para crear el embalse, la degradación de tierras agrícolas y de pastoreo de las áreas inundadas, de hábitats ribereños que dependen de un flujo muy particular del agua, del potencial pesquero en los estuarios, por ausencia de aporte de agua dulce al mar y del capital cultural, por el desplazamiento forzado de un gran número de personas, etnias o grupos sociales minoritarios. Esta preocupación es generalizada, debido a que las personas desplazadas enfrentan riesgos de largo plazo de aumento en las condiciones de pobreza, amenaza ante la falta de tierras, mayor inseguridad alimentaria, carencia de empleos y marginalización social, (Martínez Yrizar *et. al.*, 2012).

Por otro lado, también es importante considerar el caudal ecológico de la microcuenca ya que podría afectar las condiciones necesarias para que se pueda desarrollar en condiciones idóneas la vida vegetal y animal aguas debajo, en los márgenes del río así como dentro del cauce. Según los reportes de la CONAGUA indican que no hay daños en la cantidad de agua que se deja pasar para conservar el

caudal ecológico adecuado, sin embargo se logró observar un gran impacto en las cercanías de la construcción de la presa aguas arriba y aguas abajo, manifestado en deterioro y transformación del cauce por construcción de puentes para transporte de materiales así como una gran cantidad de rocas, gravas y arenas arrastradas por las descargas de agua retenida así como por las posibles detonaciones en el área para realizar excavaciones, provocando el derrumbe de grandes rocas hacia el cauce del río.

De igual manera se ha observado un gran impacto en las riberas del río debido a la construcción de los caminos por donde se transportan los encargados de la obra en construcción, tal impacto se ve manifestado en los márgenes de los ríos con el deslave de rocas y sedimentos, así como en la gran destrucción de vegetación ribereña en algunos puntos del río, esto debido a la necesidad de transportar maquinaria pesada hacia la zona de construcción de la presa.

Todos los resultados analizados en los diferentes objetivos planteados muestran un impacto ambiental antrópico causado por la construcción de la presa, principalmente se ve aumento de los daños conforme van acercándose los puntos analizados a la zona de la cortina de la presa, esto indica que la obra si está generando daños al ecosistema donde se ubica la microcuenca y que es muy posible que los daños hayan aumentado con el paso de los años.

V. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a las condiciones fisicoquímicas del agua, en los diferentes sitios muestreados, considero que los cambios más significativos se mostraron en los sitios más cercanos a la construcción de la presa, con aumentos importantes en los parámetros de superconductividad, porcentaje de oxígeno disuelto, potencial de óxido reducción y turbidez, lo que indica que si se ve afectada la calidad del agua en esta zona, esto se debe a la abundancia de sedimentos y cambios en las riberas y cauce, provocando de la misma manera impactos ambientales en la flora y fauna presente en la zona.
2. Las condiciones del estado más probable de acuerdo a los parámetros morfométricos muestran impactos importantes en el cauce del río, sobre todo en los sitios 3 y 5 que es donde se encontraron mayor cantidad de rocas y sedimentos, así como restos de materiales de construcción que provocan cambios importantes en el flujo natural del agua, que se ve disminuido aguas abajo por la acumulación de estos a lo largo del río.
3. La calidad ambiental visual en los sitios 1,2 y 4 es en realidad bastante buena, ya que los resultados lo muestran con una categoría optima, sin embargo nuevamente se vuelve a hacer evidente que los sitios de mayor impacto son 3 y 5 que son los sitios que se encuentran más cercanos a la obra de construcción de la presa donde se muestra el mayor impacto de acuerdo a las diferentes variables consideradas para la realización de este índice, donde obtuvieron la categoría de una calidad ambiental visual subóptima.
4. El BMWP, arrojó datos precisos de igual manera mostró, que las familias de macroinvertebrados acuáticos representativos de aguas limpias estaban presentes principalmente en los sitios 1 y 2 aguas arriba de la cortina de la presa, en comparación con los sitios 3 que esta 200 m. arriba de la presa pero

que ya tenía impactos importantes por la construcción de la cortina de la presa, así como los sitios 4 y 5, situados aguas debajo de la construcción, los cuales mostraron presencia de familias de macroinvertebrados que son indicadores biológicos de aguas contaminadas.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

LITERATURA CITADA

- Alonso E. P. y colaboradores (2007). Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México. IMTA.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder, and J.B. Stribling 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Pheriphyton, benthic macroinvertebrates and fish, second edition. Enviromental protection agency, office of water, Washington, D.C.
- Castro Soto G. (2002). Salvemos los ríos y el agua: efectos mundiales de las represas y en los pueblos indígenas y campesinos. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.
- Cotler A.H. y colaboradores (2004). El manejo integral de las cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental.
- Cotler Ávalos H. y Pineda López R. (2006). Manejo integral de cuencas en México ¿hacia dónde vamos?. World Wildlife fund (WWF). Manejo integral de la cuenca del río Conchos, México 2006. 16-20.
- Garrido Pérez A., María L. Cuevas, Helena Cotler, Daniel I. González y Rebecca Tharme (2010). Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT. Periférico 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco, Delegación Coyoacán, C.P. 04530, México, D.F.
- Hernández-García Y., M. Sosa-Cerecedo, M. Moreno, J. Alcalá y S. Puga, (2007). Evaluación de la contaminación por metales pesados y arsénico en sedimento en embalses del estado de Chihuahua, México. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 4 (2): 89-94, 2008.
- Hurtado, S., F. García-Trejo, y P. J. Gutiérrez-Yurrita. 2005. Importancia ecológica de los macroinvertebrados bentónicos de la subcuenca del Río San Juan, Querétaro, México. Folia Entomol. Méx., 44(3): 271-286.
- Enrique M. L. Chaves & Suzana Alipaz (2007). An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. Water resour manage. Springer Science.
- Karr R.J. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities.

Martínez Yrizar A. y colaboradores (2012) Disyuntivas: impactos ambientales asociados a la construcción de presas. Derechos reservados de El Colegio de Sonora, issn 1870-3925.

Maza-Álvarez J.A., (2004). La necesidad de construir presas. Ingeniería del agua · vol. 11 · nº 4. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Gerente de Estudios de Ingeniería Civil. Comisión Federal de Electricidad. México.

Perez-Munguía R., Pineda-López F. y Medina-Nava M. (2008). Integridad biótica de ambientes acuáticos. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México, 71-103.

Pérez-Munguía. R. y .Pineda-López F. (2005). Calidad ambiental de ríos y arroyos en el centro de México: posibilidades para evaluar la integridad ecológica de microcuencas.

Pineda-López R. y colaboradores (2014). Protocolo de muestreo de macroinvertebrados en aguas continentales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012). Programa nacional de reservas de agua.

Peralta Peláez (2007). Diseño de un índice de integridad biótica para los lagos interdunarios de la región costera central del estado de Veracruz, México. Instituto de Ecología, A.C.

Plan Rector de Producción y Conservación (PRPC) para el Rio Sta. María (SEMARNAT *et. al.*, 2010).

Ramos Barrios C.B (2014). Propuesta de norma para el monitoreo participativo de calidad de agua en ríos usando macroinvertebrados acuáticos. Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis.

Rosgen, D. (1996). Applied River Morphology. Wildland Hidrology. USA.

Springer M. (2007). Bioindicadores de la calidad del agua, Univ. EARTH 2007.

Tercedor Alba J. y Sánchez Ortega A. (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de hellawell (1978).

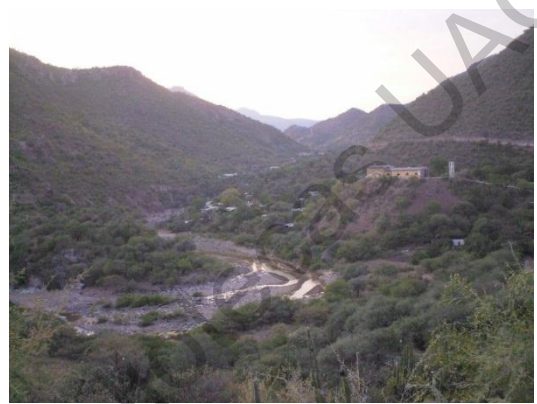
Departamento de Biología Animal, Ewlogía y Genética. Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. España.

Velázquez-Velázquez, E. y Vega-Cendejas M.E. (2004). Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. CONABIO. Biodiversitas 57:12-15.

Zamora Gutiérrez J. y Ortuño Yáñez C., (2012). Guía para la evaluación de la calidad acuática mediante el índice BMWP/Bol. Ministerio del medio ambiente y agua. Estado plurinacional de Bolivia.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

ANEXOS



Anexo 1 Poblado Mineral El Realito en la sierra gorda de Guanajuato



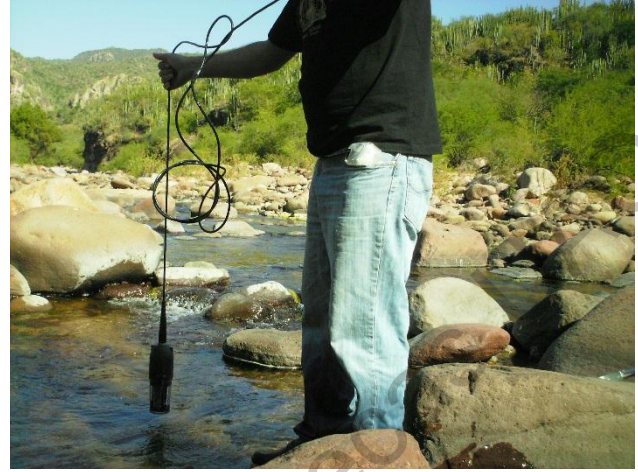
Anexo 2 Zona de construcción de la presa El Realito



Anexo 3 Colecta de macroinvertebrados con red tipo "D"



Anexo 4 Toma de datos para determinar el ICAV



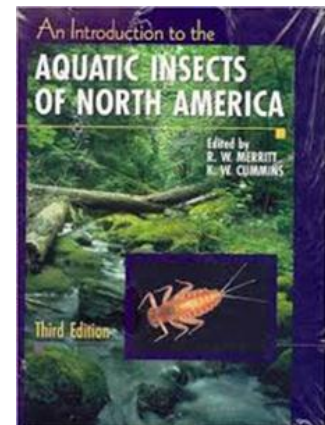
Anexo 5 Toma de datos de parámetros físico-químicos del agua



Anexo 6 Toma de datos de parámetros morfométricos



Anexo 7 Separación de macroinvertebrados en bolsas y frascos



Anexo 8 Identificación de macroinvertebrados acuáticos