



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO  
POSGRADO EN HIDROCIENCIAS**

**CÁLCULO DEL VOLUMEN ECOLÓGICO  
MÍNIMO PARA ESPECIES BLANCO, EN LA  
LAGUNA DE TECOCOMULCO, HIDALGO.**

**MARTÍNEZ PONCE MARÍA ISABEL**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2016



## CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe María Isabel Martínez Ponce, Alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Juan Enrique Rubiños Panta, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Cálculo del Volumen Ecológico mínimo para especies blanco,  
en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución. El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 11 de Noviembre de 2016

Firma

Dr. Juan Enrique Rubiños Panta  
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Cálculo del volumen ecológico mínimo para especies blanco, en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo.** Realizada por la alumna: **María Isabel Martínez Ponce**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



---

DR. JUAN ENRIQUE RUBIÑOS PANTA

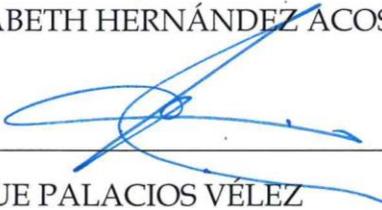
ASESORA



---

DRA. ELIZABETH HERNÁNDEZ ACOSTA

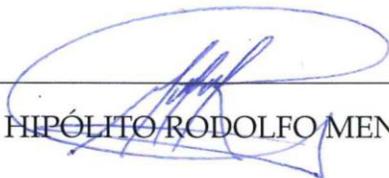
ASESOR



---

DR. ENRIQUE PALACIOS VÉLEZ

ASESOR



---

DR. JOSÉ HIPÓLITO RODOLFO MENDOZA HERNÁNDEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre de 2016



## CÁLCULO DEL VOLUMEN ECOLÓGICO MÍNIMO PARA ESPECIES BLANCO, EN LA LAGUNA DE TECOCOMULCO, HIDALGO.

María Isabel Martínez Ponce, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2016

### RESUMEN

La Laguna de Tecocomulco, es considerada como último relicto de agua del antiguo sistema lacustre de los Lagos de Anáhuac y sitio RAMSAR. En este sistema existen factores bióticos, abióticos que conforman un sistema interesante y complejo. El recurso hídrico de éste lugar, se encuentra comprometido por los usos sociales y ecológicos y la actual pérdida del volumen de almacenamiento, debido a la deforestación en las partes altas de la Cuenca. Lo que consecuentemente afectarán a las especies que ahí habitan. Por lo que, esta investigación tuvo particular interés en conocer el volumen mínimo que debe de tener la Laguna, para que la supervivencia de dichas especies sea garantizada, partiendo del principio de que a través del conocimiento de las profundidades mínimas en las que se desarrollan dichas especies, es posible calcular un volumen ecológico que permita preservar la integridad biológica de la Laguna, adicionalmente se realizó un proyección de vida útil ecológica. Para ello se realizó un análisis del volumen histórico registrado, así como también el cálculo del volumen actual, utilizando Sistemas de Información Geográfica para sistematizar los datos y un procedimiento numérico basado en integrales de Riemann para calcular el volumen actual (2015), que resultó ser de **77.24 Mm<sup>3</sup>**, lo que representa una disminución del 23.60% en la capacidad de almacenamiento en 30 años. Para la parte del cálculo del volumen ecológico, fueron seleccionadas un total de 20 especies blanco y se obtuvieron sus correspondientes valores reportados de profundidad mínima para su subsistencia. Mediante estos datos se calculó el volumen ecológico para la Laguna la cual resulto ser de **37.12 Mm<sup>3</sup>**, correspondiente a la especie *Mylopharyngodon piceus*. La proyección de vida ecológica basado en el volumen ecológico previamente obtenido, resulto ser hasta el año **2033**. Por lo que es de relevancia establecer medidas de preservación de la capacidad de agua en la Laguna. Adicionalmente en esta investigación se evidencia el gran deterioro de los recursos hídricos presentes en las cuencas de México, siendo importante establecer programas que contribuyan a la preservación de las mismas.

**Palabras clave:** Endemismo, Integrales de Riemann, RAMSAR, *Mylopharyngodon piceus*.



## CALCULATION OF MINIMUN ECOLOGICAL VOLUMEN FOR TARGET SPECIES OF THE TECOCOMULCO LAGOON, HIDALGO.

**María Isabel Martínez Ponce, M.C.**

**Colegio de Postgraduados, 2016**

### ABSTRACT

Tecocomulco Lagoon, is considered as a last relict of lake water system Anahuac Lakes and RAMSAR site. In this system there biotic, abiotic and social factors that make an interesting and complex system. The water resources of the wetland was compromise by social and ecological uses the current storage volume loss due to deforestation in the upper reaches of the basin. Which consequently affect species that live there. The aim of this research was calculate the minimum volume that need the Lagoon for the preservation of the target species. The principle is proposed for the so that the survival of these species is guaranteed, based on the principle that through knowledge of the minimum depths at which they develop these species, it is possible to calculate an ecological volume to allow preserve the biological integrity of the Laguna design also a projection of ecological life was made. To do an analysis of registered historical volume, as well as calculating the actual volume was performe using GIS to systematize data and a numerical procedure based on Riemann integrals to calculate the current volume (2015) was 77.24 Mm<sup>3</sup>, representing a decrease of 23.60% in storage capacity in 30 years. For the calculation of the ecological volume was thourgh of 20 target species selected and their corresponding values reported minimum depth for subsistence were obtained. Using the ecological data of the volume of the Lagoon that resulted from 37.12 Mm<sup>3</sup>, corresponding to the black carp specie. The projection of ecological life based on the ecological volume previously obtained, turned out to be until the year 2033. Resulting relevant to establish measures to preserve water capacity in the Lagoon. In addition, this research shows the great deterioration of the water resources present in the basins of Mexico, being important to establish programs that contribute to the preservation of them.

**Key words:** *Endemism, Integrals of Riemann, RAMSAR, Mylopharyngodon piceus.*



## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme permitido aventurarme a este capítulo de mi vida, el cual ha sido traducido en crecimiento profesional y personal.

A mi esposo Claudio Lobato de la Cruz y a mi hija Martha Lobato Martínez, quienes son mi motor, luz y esperanza para crecer en la vida, con ellos mi complemento es total.

A mi familia, quienes han sido el soporte y apoyo en todo momento, han colaborado y contribuido inmensamente en la culminación de este documento, así como mi querido esposo: María Guadalupe Ponce Pinto, Juan Diego Martínez Nájera, Inés Rocío Martínez Ponce, a mi pequeño sobrino: Damián Gutiérrez Martínez. A mi tía y tío tan queridos: María de la Luz Martínez Nájera y Everardo López Sarmiento, por sus consejos y su tiempo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), quien aportó el financiamiento necesario para la realización de mis estudios de postgrado.

Al Consejo Cuenca de la Laguna de Tecocomulco Hidalgo, A.C., quienes proporcionaron valiosa información para el desarrollo de esta investigación.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, por los recursos académicos y de investigación brindados durante mi estancia en la institución.

Al Dr. Juan Enrique Rubiños Panta, por la dirección de ésta tesis, sus atinadas observaciones, comprensión y orientación brindada. Así como también a mis asesores: Dra. Elizabeth Hernández Acosta, Dr. José Hipólito Rodolfo Mendoza Hernández y al Dr. Enrique Palacios Vélez, quienes aportaron parte de su conocimiento para la integración de esta investigación. Sin olvidar al Dr. Juan Diego Martínez Nájera, quien complemento el trabajo con sus conocimientos matemáticos.



## DEDICADO A:

*Mi Hija Martha Lobato Martínez, quien ha dado Luz y alegría a mi  
vida.*

*A mi esposo, la persona más íntegra y maravillosa que he conocido.*



## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo general.....	2
2.2. Objetivos particulares.....	2
2.3. Hipótesis general.....	2
2.4. Hipótesis particulares.....	3
3. IMPORTANCIA, PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN .....	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA .....	6
5. MATERIAL Y MÉTODOS .....	24
5.1. Material .....	24
5.2. Métodos.....	25
5.2.1. Cálculo del volumen actual e histórico de la Laguna de Tecocomulco.....	26
5.2.2. Cálculo del volumen ecológico mínimo para <i>eb</i> en la Laguna.....	28
5.2.3. Cálculo del objetivo ambiental de la Cuenca de Tecocomulco.....	32
5.2.4. Proyección de vida útil ecológica de la Laguna de Tecocomulco .....	35
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
7. CONCLUSIONES.....	- 59 -
8. RECOMENDACIONES.....	- 61 -
9. LITERATURA CITADA.....	63
10. ANEXO A. FLORA PRESENTE EN LA LAGUNA DE TECOCOMULCO, HGO. ....	76
11. ANEXO B. FAUNA PRESENTE EN LA LAGUNA DE TECOCOMULCO, HGO.....	81
12. ANEXO C. PLANOS.....	93



## LISTA FIGURAS

<b>Fig.1</b>	Desarrollo del concepto de necesidades ecológicas de agua en humedales .....	6
<b>Fig.2.</b>	Esquematzación de la integral 1D.. .....	13
<b>Fig.3.</b>	Esquematzación de la integral 2D.. .....	15
<b>Fig.4.</b>	Localización de subcuencas en la Cuenca de Tecocomulco, Hgo.....	16
<b>Fig.5.</b>	Uso y demanda del agua en la Cuenca de Tecocomulco.. .....	17
<b>Fig.6.</b>	Área de inundación de la Laguna Tecocomulco. ....	19
<b>Fig.7.</b>	Materiales utilizados para el cálculo del volumen ecológico .....	24
<b>Fig.8.</b>	Marco metodológico de la investigación. ....	25
<b>Fig.9.</b>	Diagrama de toma de profundidad de la Laguna de Tecocomulco.....	26
<b>Fig.10.</b>	Toma de mediciones de profundidad, en diferentes puntos de la Laguna.....	27
<b>Fig.11.</b>	Diagrama metodológico para la obtención del VEM para <i>eb</i> . ....	30
<b>Fig.12.</b>	Volumen ecológico neto, ecológico y acumulado. ....	32
<b>Fig.13.</b>	Objetivo Ambiental cuenca Tecocomulco, Hgo. ....	35
<b>Fig.14.</b>	Levantamiento <i>in situ</i> de puntos distribuidos en la Laguna de Tecocomulco- -	39
<b>Fig.15.</b>	Curvas de nivel en la Laguna de Tecocomulco (2015). ....	- 40 -
<b>Fig.16.</b>	Cálculo de TIN, para la batimetría levantada en la Laguna (2015).. ....	- 41 -
<b>Fig.17.</b>	Modelo digital de elevaciones en la Laguna de Tecocomulco (2015). ....	- 42 -
<b>Fig.18.</b>	Polígono de la Laguna de Tecocomulco. ....	- 43 -
<b>Fig.19.</b>	Vista del software Excel, cálculo del volumen actual.....	- 44 -
<b>Fig.20.</b>	Volumen de almacenamiento medio anual de la Laguna de Tecocomulco..- -	45 -
<b>Fig.21.</b>	Fauna presente en la Laguna de Tecocomulco, Hgo. ....	- 46 -
<b>Fig.22.</b>	Flora presente en la Laguna de Tecocomulco, Hgo. ....	- 47 -
<b>Fig.23.</b>	Volumen de almacenamiento acumulado 2015, Laguna de Tecocomulco....- -	49 -
<b>Fig.24.</b>	Volumen mínimo ecológico por especie blanco. ....	- 51 -
<b>Fig.25.</b>	Estimación del objetivo ambiental en la Cuenca, NMX (2012).....	- 54 -
<b>Fig.26.</b>	Pérdida del volumen de almacenamiento en la Laguna de Tecocomulco- -	55 -
<b>Fig.27.</b>	Pérdida de almacenamiento lineal de la Laguna de Tecocomulco, Hgo.....- -	58 -



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Dimensiones de las subcuencas de Tecocomulco.....	16
<b>Tabla 2.</b>	Producción de sedimentos producidos Cuenca Tecocomulco. ....	18
<b>Tabla 3.</b>	Degradación de los suelos de la Cuenca de la Laguna de Tecocomulco. ....	19
<b>Tabla 4.</b>	Estudios realizados en la Laguna de Tecocomulco.....	22
<b>Tabla 5.</b>	Cambio potencial de niveles de agua en Humedales. ....	8
<b>Tabla 6.</b>	Valores de presión de uso del agua. ....	33
<b>Tabla 7.</b>	Regla de decisión para la determinación de importancia ecológica. ....	34
<b>Tabla 8.</b>	Volumen histórico de la laguna de Tecocomulco, Hgo. ....	36
<b>Tabla 9.</b>	Levantamiento <i>in situ</i> de puntos distribuidos en la Laguna .....	- 37 -
<b>Tabla 10.</b>	Volumen de almacenamiento de la Laguna: 1985, 2005 y 2015.....	- 44 -
<b>Tabla 11.</b>	Especies presentes en la Laguna de Tecocomulco, estado de conservación-	53 -
<b>Tabla 12.</b>	Especies blanco seleccionadas y profundidad mínima para su desarrollo. -	47 -
<b>Tabla 13.</b>	Volumen ecológico neto para cada especie blanco de la Laguna. ....	- 50 -
<b>Tabla 14.</b>	Proyección de vida, volumen nulo en la Laguna de Tecocomulco, Hgo.....	- 57 -
<b>Tabla 15.</b>	Caracterización de muestras de agua de la Laguna de Tecocomulco, Hgo. -	62 -
<b>Tabla 16.</b>	Especies vegetales en la Laguna de Tecocomulco.....	76



## 1. INTRODUCCIÓN

La Laguna de Tecocomulco, es considerada como el último relictos de agua del antiguo sistema lacustre, de los lagos de Anáhuac (CONAGUA, 2013; FIR, 2003; Hidalgo, 2007; Hernández, 2008; Huízar *et al*, 2001 y Monks *et al*, 2013). Es también vaso regulador para la recarga del acuífero Tecocomulco, así como, de los escurrimientos provenientes de la cuenca de captación (CONAGUA, 2013; CCLT, 2008).

Este humedal forma parte de la Cuenca de Tecocomulco, en el cual existen factores: bióticos, abióticos y sociales, que conforman un sistema interesante y complejo: diversidad de especies (endemismo) en donde algunas se encuentran en peligro de extinción, así como la interacción de los componentes de la Cuenca (CONAGUA, 2009).

Por lo que, esta investigación tiene particular interés, en generar una herramienta que permita la protección y manejo sustentable del humedal, mediante una visión integral, cruzando información del volumen histórico y actual, junto con la integridad biológica que presenta, a través del cálculo del volumen ecológico mínimo para especies blanco (*eb*) en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo. En donde las *eb*, para esta investigación, son aquellas especies de referencia necesarias para la estimación del volumen ecológico.



## 2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general.

1. Calcular el volumen ecológico mínimo para especies blanco, en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo.

### 2.2. Objetivos particulares.

1. **Calcular el volumen actual e histórico de la Laguna.**
  - a. Estimación del régimen histórico del volumen de almacenamiento (1985, 2005 y 2015) y profundidad de la Laguna.
2. **Cálculo del volumen ecológico mínimo para *eb* en la Laguna.**
  - a. Selección de las especies blanco (*eb*);
  - b. Profundidad mínima en la que se desarrollan las *eb*;
  - c. Cálculo del volumen ecológico mínimo para las *eb*.
3. **Determinar el objetivo ambiental de la Cuenca de Tecocomulco.**
  - a. Cálculo de la presión del uso del agua y estado ecológico de la Cuenca.
4. **Proyección de vida útil ecológica de la Laguna de Tecocomulco.**

### 2.3. Hipótesis general.

Es posible establecer un volumen mínimo de almacenamiento de agua en el cual no se vean afectadas las especies blanco (volumen ecológico), mediante el análisis del factor profundidad. Así mismo, es posible realizar una estimación de la vida útil de la Laguna, considerando el volumen ecológico para la preservación de las especies.



#### **2.4. Hipótesis particulares.**

1. El factor profundidad nos permite estimar un volumen histórico y ecológico donde subsisten especies blanco.
2. La estimación de la vida útil ecológica de la Laguna puede ser calculada mediante el volumen ecológico y la función que explica, su pérdida de la capacidad de almacenamiento de agua.



### 3. IMPORTANCIA, PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN

La Laguna de Tecocomulco, se encuentra localizada en el estado de Hidalgo, es de gran importancia por albergar una rica biodiversidad (Bautista, 2008; Hernández, 2008; Hidalgo, 2007), así como por el aprovechamiento por los habitantes de la zona (Bautista, 2008; CCLT, 2013; Martínez, 2011). Adicionalmente dicho humedal se encuentra categorizado como sitio RAMSAR, desde el año 2003 (FIR, 2003).

Sin embargo y a pesar de numerosas investigaciones y esfuerzos de restauración de la Laguna realizados con anterioridad (CCLT, 2013; CONAGUA, 2007 y 2009; FOBSA, 2012, etc.), la Laguna sigue perdiendo año con año la capacidad de almacenamiento de agua (CONAGUA, 2007), debido a la producción de sedimentos, calculados de 2.7 (t/ha/año), por la CONAGUA (2007).

La pérdida de capacidad de almacenamiento de agua provocada por el azolvamiento en la Laguna (Huízar *et al*, 2001), ha generado problemas en poblaciones, caminos y terrenos agrícolas aledaños (Miranda *et al*, 2008). Consecuentemente, dicho azolvamiento generará condiciones ambientales diferentes para las especies. Por lo que en este estudio, tuvo por objetivo estimar el volumen ecológico mínimo en el que la subsistencia de las especies que habitan en el humedal, no se vea afectada.

Cabe mencionar que la preservación de la Laguna de Tecocomulco, es importante, no sólo para las especies que habitan ahí, sino también, por lo que significa socialmente y ambientalmente, ya que el mantenimiento de la subsistencia de la Laguna, ayuda a contrarrestar los grandes cambios ambientales de la humanidad para este siglo (Delgadillo 2012).



Adicionalmente, fuentes aseguran que los humedales sirven de sumideros de carbono y la degradación de los humedales liberará grandes cantidades de dióxido de carbono, contribuyendo al aumento de la temperatura mundial (Palomino y Cabrera, 2008).

Permitiendo la preservación de este humedal se ayudará a mitigar esos grandes cambios del presente siglo, así como contribuir al cambio climático, problemáticas latentes de la actualidad.

#### 4. REVISIÓN DE LITERATURA

El presente apartado tiene como finalidad describir la Laguna de Tecocomulco, así como, los estudios realizados en ésta, adicionalmente, los términos relacionados con el cálculo del volumen ecológico y las necesidades ecológicas de agua en los humedales.

##### 4.1. Necesidades ecológicas de agua en Humedales

Han *et al* (2010), menciona que todos los ecosistemas requieren de agua para mantener sus procesos ecológicos, así como las asociaciones con las plantas y animales. Por lo que los requerimientos de agua ecológicos, describen los regímenes hídricos necesarios para sostener los valores ecológicos de los ecosistemas dependientes del agua a un nivel de bajo riesgo (Froend *et al*, 2004; Li Li y Zheng, 2002).

El desarrollo de este concepto ha pasado por diferentes etapas según Han *et al* (2010), en la siguiente figura se muestra el proceso de evolución de dicho concepto.



Fig.1. Desarrollo del concepto de necesidades ecológicas de agua en humedales (Han et al (2010).

En la actualidad existen una serie de investigaciones que giran en torno a este concepto relativamente nuevo (Cui *et al*; 2009; Froend *et al*, 2004; Jun *et al*, 2006; Lijuan *et al*, 2009; Liu y Yang, 2002; Zhong *et al*, 2008), la mayoría de estas investigaciones fueron elaboradas en China.



En el caso de un sistema de ríos, el cálculo de requerimiento de agua se realiza en tres partes: a) el flujo básico del cauce, b) el agua necesaria para el transporte de sedimento y el agua consumida por evaporación en lagos y humedales (Li y Zheng, 2002).

Según Froend *et al* (2004), para la determinación de los requerimientos ecológicos de agua en humedales, en el caso de la vegetación, las aves acuáticas, macroinvertebrados y vertebrados, es necesaria la medición de la media de la profundidad en que las especies se encuentran presentes.

#### **4.2. Clasificación de riesgo en las lagunas de acuerdo a los niveles de agua**

Los niveles de agua en lagos fluctúan naturalmente en respuesta a procesos hidrológicos y climáticos, sin embargo la sobre-explotación de los recursos del agua tienden a incrementar los cambios en los niveles de agua inter e intra anuales. Por lo que un cambio excesivo en los niveles de agua en lagos (profundos y poco profundos), repercuten en el funcionamiento del ecosistema. (Zohary y Ostrovsky, 2011).

Por lo que resulta de gran importancia realizar las mediciones correspondientes a los niveles de agua en cuerpos de agua, a manera de monitorear y salvaguardar la integridad biológica que éstos contienen.

Beca (2008), menciona que mediante la variación del cambio en los niveles de agua, se puede establecer una regla de categorización de riesgo en humedales (Ver Tabla 1).



**Tabla 1.** Categorización de riesgo bajo un potencial cambio en los niveles de agua en Humedales. *Fuente:* Beca (2008).

Estado de riesgo	Descripción
<b>Bajo</b>	Menos de 0.2 m de cambio en el promedio del nivel de agua; patrones de los niveles de agua estacionales (niveles de verano vs invierno) permanecen sin cambio desde el estado natural.
<b>Medio</b>	Más de 0.2 pero menos de 0.3 m de cambio en el promedio de los niveles de agua; patrones de los niveles de agua estacionales presentan cambio inverso de su estado natural.
<b>Alto</b>	Más de 0.3 m de cambio en el promedio de los niveles de agua; patrones de los niveles de agua estacionales presentan cambio inverso de su estado natural

Adicionalmente es importante mencionar, que los efectos de la variabilidad de los niveles de agua en la estructura de la misma (densidad, peso y complejidad física) de las zonas de litoral lacustres y la vegetación de humedales, son importantes para los valores para invertebrados y periphyton, afectando la disponibilidad de hábitat para peces y aves (Beca, 2008).

### 4.3. Factores abióticos para el desarrollo de especies

Campos (2012), menciona que los factores abióticos de un ecosistema son aquellos que constituyen sus características físico-químicas (temperatura, luz, humedad, etc.) y cuando un factor abiótico alcanza valores más allá de los márgenes de tolerancia de una especie, actúa como factor limitante para la supervivencia de esa especie.

En el caso de los ecosistemas acuáticos, el agua resulta esencial para la vida en cada comunidad biológica, así como, las características propias del sitio, por mencionar alguna: la profundidad (Cunningham y Woodworth, 1999).



La profundidad, es definida como la distancia que hay desde el punto tomado como referencia (parte más alta, entrada, borde, etc.), hasta el fondo de una cosa o lugar (Farlex, 2016).

Éste factor es considerado importante para el desarrollo, establecimiento y manejo de algunas especies (Canadell *et al*, 1996; Canseco y Gutiérrez, 2010; Finney *et al*, 2010; Jiménez y Peña, 2007; Moya *et al*, 2009; Plasencia, 2006; Rawson, 1952).

Como por ejemplo, Canseco y Gutiérrez (2010), mencionan que algunas especies de anfibios, en época de secas suelen enterrarse hasta 50 cm de profundidad (*Incilius occidentalis*), así como también algunas especies de salamandras se encuentran en cuevas de hasta 80 cm de profundidad (*Pseudoeurycea mixteca*). Así como también, la riqueza de comunidades de macroinvertebrados en ríos, se ve afectada por la profundidad (Moya *et al*, 2009).

La profundidad en un lago tiene efectos directos en su temperatura, estratificación, circulación, en la dilución de material de nutrientes y tiene efectos indirectos en la circulación o pérdida de nutrientes, en la distribución y número de organismos (McKinney *et al*, 2007; Rawson, 1952).

Es importante mencionar que tomar las mediciones de la profundidad para algunas especies, permite establecer la profundidad máxima de colonización, según algunas metodologías propuestas (MAGRAMA, 2013).

#### **4.4.Cálculo del volumen en cuerpos de agua**



En la actualidad el cálculo del volumen contenido en cuerpos de agua puede ser realizado con ayuda de Sistemas de Información Geográfica. Sin embargo, en este apartado se describe el procedimiento numérico basado en integrales de Riemann, el cual fue utilizado en esta investigación. Primero se describe el procedimiento para funciones en una variable y luego se extiende a funciones en dos variables.

Traducido a un problema matemático, el cálculo del volumen de agua contenida en la Laguna de Tecocomulco, es el volumen contenido entre dos superficies; las cuales en este caso concreto, la primera superficie es el tirante de la laguna, el mínimo observado es de 2513.65 msnm y máximo de 2517.509 msnm registrados en junio del 2015; mientras que la segunda superficie es la descrita por la batimetría medida en campo en 73 puntos, que conforma el lecho de la misma laguna.

Se inicia con las definiciones necesarias para concluir con la especificación operacional de la integral de Riemann que permite el cálculo numérico de la misma.

**Definición:** Sea  $P_n = \{a = x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n = b\}$  una partición del intervalo  $[a, b]$  y sea  $t_k \in [x_{k-1}, x_k]$  en cada intervalo, el número  $\sigma(f, P_n) = \sum_{k=1}^n f(t_k)(x_k - x_{k-1})$  se llama una **suma de Riemann** de  $f$  para la partición  $P_n$ .

**Definición:** Dada una partición  $P_n = \{a = x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n = b\}$  del intervalo  $[a, b]$ , se define  $M_k = \sup f(x_{k-1}, x_k)$  y  $m_k = \inf f(x_{k-1}, x_k)$ , de esta manera los siguientes números:

$$S(f, P_n) = \sum_{k=1}^n M_k(x_k - x_{k-1}); \quad I(f, P_n) = \sum_{k=1}^n m_k(x_k - x_{k-1})$$



Son llamados la **suma superior** y la **suma inferior** de  $f$  en la partición  $P_n$ .

Sea  $\mathcal{P}[a, b]$  el conjunto de **todas** las particiones del intervalo  $[a, b]$ .

**Definición:** Sea  $f$  una función acotada y positiva en  $[a, b]$ . La función  $f$  es **Riemann integrable** en  $[a, b]$  si se satisface la siguiente relación,

$$\inf\{S(f, P_n): P_n \in \mathcal{P}[a, b]\} = \sup\{I(f, P_n): P_n \in \mathcal{P}[a, b]\}$$

**Teorema:** Sea  $f: [a, b] \rightarrow R$  una **función Riemann integrable**, sea  $\{P_n\} \in \mathcal{P}[a, b]$  una sucesión de particiones de  $[a, b]$  tal que el **tamaño** de elementos de la partición tienden a cero  $\{\Delta(P_n)\} \rightarrow 0$  y  $\sigma(f, P_n)$  es la suma de Riemann de  $f$  para la partición  $P_n$ , entonces se verifica que,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S(f, P_n) = \lim_{n \rightarrow \infty} \sigma(f, P_n) = \lim_{n \rightarrow \infty} I(f, P_n) = \int_a^b f(x) dx$$

A partir del teorema anterior se determinan las expresiones que permiten la obtención de: el área entre dos líneas (integral de Riemann en una dimensión) y la obtención del volumen entre dos superficies (integral de Riemann en dos dimensiones), caso de interés para el trabajo que se presenta.

#### 4.4.1. Caso 1D



En el caso en que se realiza una partición del intervalo  $[a, b]$  en  $n$  subintervalos de tamaño constante  $\Delta x = (b - a)/n$ , la expresión de la integral de la función  $f$  es la siguiente:

$$\int_a^b f(x)dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{(b-a)}{n} \sum_{k=1}^n f\left(a + k \frac{(b-a)}{n}\right)$$

De tal forma que en el límite, cuando  $n \rightarrow \infty$ , se obtiene la integral de Riemann de  $f$  en  $[a, b]$ , en la Figura 2 se bosqueja a la integral de  $f$  como el área bajo la curva.

En la situación en la que los subintervalos no tienen tamaño constante, se requiere especificar para cada  $n$  la sucesión  $\{x_0, x_1, x_2, \dots, x_n\}$  de los nodos que delimitan cada subintervalo de la partición  $P_n$  de  $[a, b]$ ; por lo que usando el concepto de sumas de Riemann superior e inferior, la expresión para la integral queda de la siguiente forma.

$$\int_a^b f(x)dx = \lim_{n \rightarrow \infty} S(f, P_n) = \lim_{n \rightarrow \infty} I(f, P_n)$$

O equivalentemente,

$$\int_a^b f(x)dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n M_k(x_k - x_{k-1}) = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n m_k(x_k - x_{k-1})$$

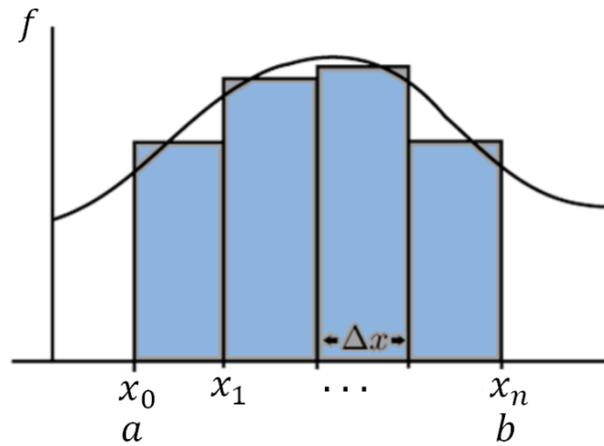


Fig.2. Esquematización de la integral 1D. Fuente: Wikipedia (2016).

De manera práctica en la situación real, no es posible realizar una *subdivisión infinita* del intervalo  $[a, b]$ ; pero es posible aproximar la integral mediante la expresión anterior, con una subdivisión del intervalo  $[a, b]$  en un número finito de subintervalos.

#### 4.4.2. Caso 2D

En la situación en la que la función  $f$  depende de las variables  $(x, y)$ , al tener una partición del área  $[a, b] \times [c, d]$  en  $n \times m$  subáreas de tamaño constante  $\Delta x \times \Delta y = ((b - a)/n) \times ((d - c)/m)$ , la expresión de la integral de la función  $f$  es la siguiente. En la Figura 3, se muestra la integral para el caso 2D.

$$\int_a^b \int_c^d f(x, y) dy dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{b-a}{n} \right) \sum_{k=1}^n \left[ \lim_{m \rightarrow \infty} \left( \frac{d-c}{m} \right) \sum_{l=1}^m f \left( a + k \frac{(b-a)}{n}, c + l \frac{(d-c)}{m} \right) \right]$$

Nuevamente, cuando los subintervalos no tienen tamaño constante, se requiere especificar para cada  $n$  y  $m$  la sucesión  $\{x_0, x_1, x_2, \dots, x_n\}$  y  $\{y_0, y_1, y_2, \dots, y_m\}$  de nodos que delimitan cada subárea de la partición  $P_{nm}$  de  $[a, b] \times [c, d]$ . Con el empleo del concepto de sumas de Riemann superior e inferior, la expresión para la integral queda de la siguiente forma.

$$\int_a^b \int_c^d f(x, y) dy dx = \lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ m \rightarrow \infty}} S(f, P_{nm}) = \lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ m \rightarrow \infty}} I(f, P_{nm})$$

O equivalentemente,

$$\begin{aligned} \int_a^b \int_c^d f(x, y) dy dx &= \lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ m \rightarrow \infty}} \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^m M_{kl} (x_k - x_{k-1}) (y_l - y_{l-1}) \\ &= \lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ m \rightarrow \infty}} \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^m m_{kl} (x_k - x_{k-1}) (y_l - y_{l-1}) \end{aligned}$$

De igual manera, en forma práctica o situación real, no es posible realizar una *subdivisión infinita* del área  $[a, b] \times [c, d]$ ; pero es posible aproximar la integral mediante la expresión

anterior, con una subdivisión del área  $[a, b] \times [c, d]$  en un número finito de subáreas. En éste trabajo se realiza una subdivisión de  $100 \times 100$  elementos del área ocupada por la Laguna de Tecocomulco; mientras que el supremo se substituye por el máximo y el ínfimo por el mínimo en cada cuatro nodos  $\{x_{k-1}, x_k\} \times \{y_{l-1}, y_l\}$  que definen cada subárea  $(x_{k-1}, x_k) \times (y_{l-1}, y_l)$  de subdivisión del área total  $[a, b] \times [c, d]$  (Martínez, 2016).

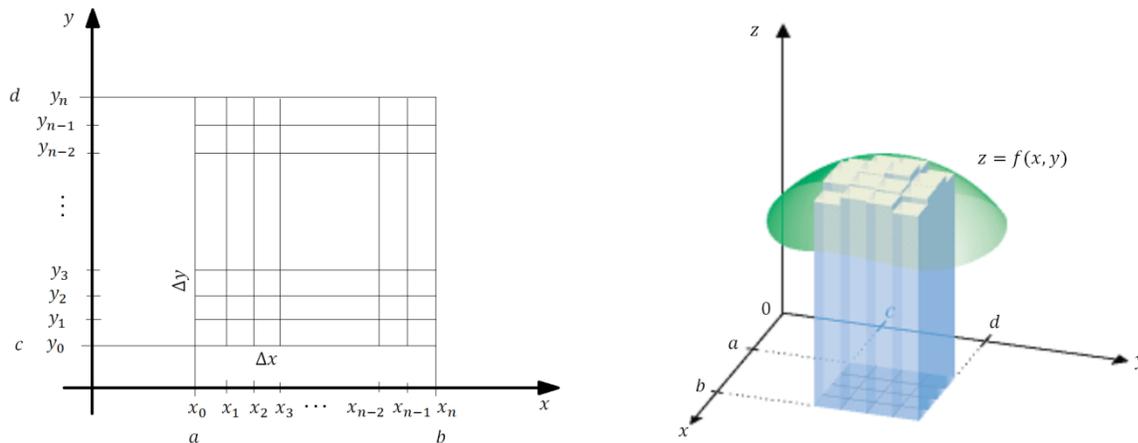


Fig.3. Esquemización de la integral 2D. Fuente: Mhhe (2002).

## 4.5. Caracterización de la Cuenca y Laguna de Tecocomulco

### 4.5.1. Localización de la cuenca de Tecocomulco

La cuenca de Tecocomulco abarca siete municipios de: Singuilucan, Cuauhtepac de Hinojosa, Tepeapulco, Apan, Almoloya del Estado de Hidalgo; Chignahuapan de Puebla; Tlaxco de Tlaxcala, compuesta por 10 subcuencas, ver Tabla 2.

Tabla 2. Dimensiones de las subcuencas de Tecocomulco.

Número	Nombre	Área (ha)	L(m)	Área (%)
1	Alcantarillas	11,313.76	26,742.55	21.58
2	Cocinillas	1,037.79	6,647.22	1.98
3	El Tezoyo	13,435.90	20,442.60	25.63
4	La Cañada-Tres Cabezas	3,702.62	9,864.74	7.06
5	Las Animas	1,083.31	9,965.40	2.07
6	Palmillas	706.17	9,053.82	1.35
7	Francisco Sarabia	4,515.36	12,569.01	8.61
8	Palo Hueco	4,136.15	11,316.57	7.89
9	Tecocomulco	958.12	5,120.31	1.83
10	Coatzetzingo	851.03	6,187.78	1.62
	<b>Tecocomulco</b>	<b>52,429.00</b>		<b>100.00</b>

L=Longitud mayor de la cuenca desde el punto más alto hasta su desembocadura en la Laguna (m).

Fuente: CONAGUA, 2012. Cap. 1. Caracterización hidrológica de subcuencas.

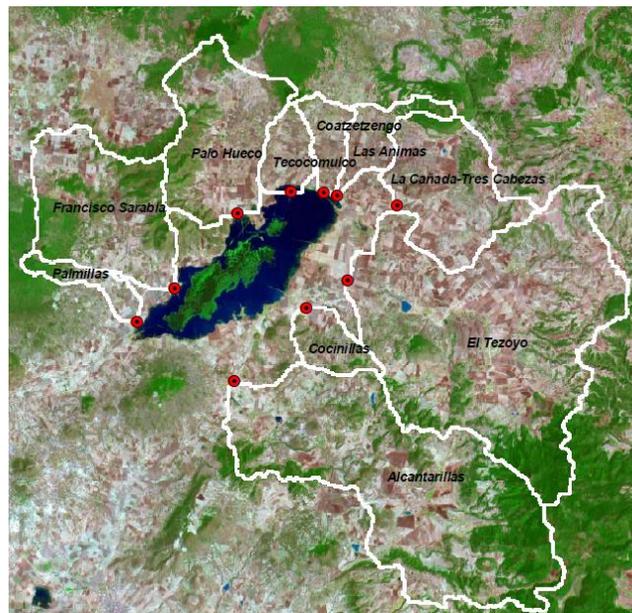


Fig.4. Localización de subcuencas en la Cuenca de Tecocomulco, Hgo.

El principal cuerpo de agua de la Cuenca es la Laguna de Tecocomulco, donde descargan todos los afluentes de las diez subcuencas, con excepción de una parte de los escurrimientos derivados de la cuenca de Alcantarilla, que son desviados de manera artificial fuera de la Cuenca (CONAGUA, 2012).

#### 4.5.2. Laguna de Tecocomulco

La Laguna de Tecocomulco, se localiza entre los meridianos 19°53'20" y 19°50'08" de Latitud Norte y los paralelos 98° 21'54" y 98°25'44" de Longitud Oeste. Fisiográficamente, se encuentra comprendida dentro de la provincia del Eje Volcánico Transversal y tiene una altitud de 2514 msnm (FIR, 2003).

#### 4.5.3. Uso del agua en la Cuenca.

Con base en las estadísticas del agua en México de la CONAGUA, se tienen registrados 58,069.01 Mm<sup>3</sup> de volumen de aguas nacionales concesionadas o asignadas a los usuarios de la Cuenca de la Laguna de Tecocomulco. A continuación se muestran en la siguiente figura el volumen concensionado a los usuarios de la Cuenca de Tecocomulco.



Fig.5. Uso y demanda del agua en la Cuenca de Tecocomulco. Fuente: CONAGUA, 2012.

#### 4.5.4. Producción de sedimentos cuenca de Tecocomulco

En la Cuenca de Tecocomulco, la producción de sedimentos es constante (2.7 t/ha/año), indicando que existe una fuerte degradación del suelo por erosión hídrica y manejo antrópico, a la torrencialidad de escurrimientos, a las condiciones físicas de las subcuencas, así como a la falta de prácticas productivo conservacionistas, ver Tabla 2 (CONAGUA, 2012).

**Tabla 3.** Síntesis del comportamiento por subcuenca de la producción de sedimentos producidos (degradación específica).

Subcuenca	Núm.	Área ha	Producción de sedimentos		
			m <sup>3</sup> año-1	%	t h-1 año
El Tezoyo	3	13,435.90	40,670.00	40.1	3.9
Alcantarillas	1	11,313.76	24,255.00	23.9	2.8
Cocinillas	2	1,037.79	2,734.20	2.7	3.4
Tecocomulco	9	958.12	2,192.40	2.2	3.0
Las Animas	5	1,083.31	2,166.62	2.1	2.6
Coatzetzingo	10	851.03	1809.50	1.8	2.8
La Cañada-Tres Cabezas	4	3,702.62	8,886.29	8.8	3.1
Francisco Sarabia	7	4,515.36	9,482.26	9.3	2.7
Palo Hueco	8	4,136.15	7,858.69	7.7	2.5
Palmillas	6	706.17	1,412.34	1.4	2.6
<b>TOTAL</b>			<b>101,467.3</b>		

\*Peso específico de los sedimentos= 1.3 t m<sup>-3</sup>

La Laguna de Tecocomulco, ha experimentado cambios extremos en sus dimensiones y composición hídrica durante periodos geológicos; sin embargo, cambios climáticos, la deforestación de la subcuenca y la agricultura han modificado ampliamente su morfología, superficie y profundidad, consecuencia del gran aporte de sedimentos y el azolvamiento lacustre resultante (Lanza y Gómez, 2005).

Como diagnóstico físico de la Laguna se establece que se encuentra degradando rápidamente debido al azolvamiento de la misma (Peters, 2008). La cantidad de azolve es

de (2.7 t/ha/año), lo que ha provocado que la profundidad disminuya. El espejo de agua se incrementó hacia los lados, los cuales son terrenos de uso agrícola que actualmente forman parte de áreas inundadas (CONAGUA, 2009).

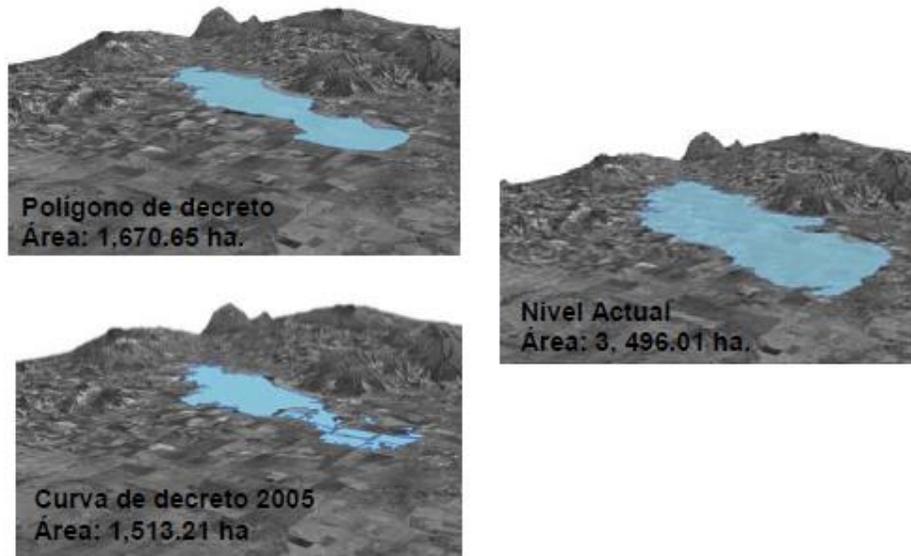


Fig.6. Área de inundación de la Laguna Tecocomulco.  
Fuente: CONAGUA, 2012.

El 38% de la cuenca presenta un grado moderado de erosión (20 a 50 t/ha/año) el 16% de la cuenca presenta erosión con mayor incidencia y 1.5% grado de erosión muy alto (CONAGUA, 2012).

#### 4.5.5. Degradación de suelos

En la Cuenca de Tecocomulco, el grado de degradación causada por la erosión hídrica con deformación del terreno, abarca el 15.93% y la degradación causada por las actividades agrícolas comprende el 18% de la superficie total de la Cuenca, ver Tabla 4 (CONAGUA, 2009).

Tabla 4. Principales causas de la degradación de los suelos de la Cuenca de la Laguna de Tecocomulco.

Causa	ha	%
Ac. Agrícolas + Sobreexplotación de la veg.	720.0	1.4
Ac. agrícolas	9,475.3	18.0
Ac. Agrícolas + Sobrepastoreo	1,756.8	3.3
Ac. Agrícolas + Sobrepastoreo + Sobreexplotación de la vegetación	5,317.5	10.1



Causa	ha	%
Sobreexplotación de la vegetación para autoconsumo	1,531.5	2.9
Sobreexplotación de la veg. + Sobrepastoreo	1,899.6	3.6
<b>Total</b>	<b>20,700.7</b>	<b>39.4</b>

\*Ac. Actividades agrícolas

Fuente: CONAGUA, 2009

#### 4.5.6. Aspectos sociales

Los usos principales en la Laguna, giran en torno la pesca comercial (club de caza, tiro y pesca), turismo, extracción del agua (para riego agrícola y bebedero para ganado ovino y vacuno (Bautista H., 2008); cuenta también, con la participación de Unidades de Manejo para la Conservación de la vida silvestre (UMA): Axolotl (Ajolote) y uno de venado cola blanca (CCLT, 2013), la participación del sector agrícola ejidal, colonos, pequeños propietarios y prestadores de servicio (Martínez, 2011).

#### 4.5.7. Economía

En la zona de la Laguna existen aproximadamente 14,900 habitantes distribuidos en 11 localidades principales: Paredón, Tres Cabezas, Tepozan, Tecocomulco, Coyuco, Francisco Sarabia, Palo Hueco, Cocinillas, Tultengo, Alcantarillas y San Miguel de Allende.

La principal actividad económica de la población es la agricultura, la cual se complementa con ganadería extensiva, principalmente de ganado ovino y bovino. La agricultura es de temporal y sus principales productos son la avena, maíz, trigo, haba que son de autoconsumo, la papa y cebada se comercializan en el mercado regional.

La piscicultura y la ranicultura son actividades que los habitantes del lugar comercializan en restaurantes locales, visitados por turismo local, el cual aumenta considerablemente



durante la temporada de caza de aves como el Pato Gallareta y Tordo. La población restante se emplea en la industria y servicios en ciudades como: Sahagún, Pachuca, Apan y México (Huízar *et al*, 2005).

#### 4.5.8. Características ecológicas generales

La Laguna de Tecocomulco es un relicto del antiguo ecosistema lacustre que predominó en toda la Cuenca de México hasta finales de 1940, cuando se empezó a secar drásticamente. Se considera como el último humedal relicto en el que se refugian y habitan peces, anfibios y aves acuáticas características de lo que fueron los Lagos del Anáhuac.

En la Laguna se mantienen bien conservadas asociaciones de hidrófitas: emergentes, libremente flotantes, de hojas flotantes y las sumergidas. Una característica interesante del humedal es que se observa un acercamiento o arraigo de diversas especies de aves consideradas migratorias, las cuales están realizando todo su ciclo de vida en este ecosistema (FIR, 2003).

#### 4.5.9. Flora

La vegetación de la Laguna de Tecocomulco, está constituida por una serie de asociaciones, las cuales se distribuyen y presentan zonificación con el nivel del agua y topografía (Delgadillo, 2012). La especie *Schoenoplectus californicus*, presenta la comunidad más importante en las zonas permanente inundadas del Humedal (Hidalgo, 2010). A continuación se describen las especies existentes en el humedal.

*Hidrófitas emergentes.* Se encuentran ancladas en el sustrato. Sobresalen del agua por parte del tallo, las hojas y las estructuras reproductoras. En la Laguna se encuentran 19 especies.

*Hidrófitas sumergidas.* Pueden estar o no sujetas al sustrato, con las estructuras vegetativas dentro del agua, mientras que los órganos reproductores pueden estar sumergidos, emergidos o flotando. Estas formas de vida están presentes en los claros de la laguna como lo son: las zonas abiertas del tular y las áreas de máxima profundidad. En la Laguna se encuentran 13 especies.

*Hidrófitas libres flotadoras.* Tienen tanto sus estructuras reproductoras como vegetativas sobre la superficie del agua. Las agrupaciones con este tipo de forma de vida, no están presentes durante todas las épocas del año y su distribución está restringida a recodos y partes abiertas del borde de la laguna donde se acumulan por la acción del viento. En la Laguna se encuentran ocho especies.

*Hidrófitas de hojas flotantes.* Se desarrollan en lugares abiertos. Se encuentran enraizadas al sustrato pero con hojas flotando en el espejo de agua. En la Laguna se encuentran seis especies.

Especies raras, que no se han vuelto a observar *Sagittaria demersa*, lo cual es una señal de que las condiciones hidrológicas se están modificando y empiezan a limitar la distribución de algunas hidrófitas más sensibles a los cambios ambientales (Lot, 2005).

#### 4.6. Estudios realizados en la Laguna de Tecocomulco

Los estudios realizados en la Laguna, son enlistados en la siguiente Tabla.

Tabla 5. Estudios realizados en la Laguna de Tecocomulco

No.	Estudio	Autores
1.-	Norma de Pesca Responsable en el embalse de la Laguna, el cual incluye especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros.	(DOF, 2006)



No.	Estudio	Autores
2.-	Estudio Geohidrológico del Acuífero de Tecocomulco.	(Lesser, 2007)
3.-	Consejo Cuenca de la Laguna de Tecocomulco, Hgo. Informes anuales y mensuales.	(CCLT, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014)
4.-	Estudio sobre la Recuperación Ambiental de la Laguna de Tecocomulco,	(Peters, 2008)
5.-	Plan detallado de acciones para el manejo Integral de la Cuenca.	(CONAGUA, 2009)
6.-	Zonificación de Actividades Económicas y Ambientales en la Laguna.	(Goicoechea, 2010).
7.-	Analysis of the efect of El Niño and La Niña on Tecocomulco, lake, central basin, México.	(Lanza <i>et al</i> , 2011).
8.-	Programa de obras y acciones para la preservación de la Cuenca	(CONAGUA, 2007)
9.-	Estudio del comportamiento fisiológico de Tule ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ) en la Laguna de Tecocomulco.	(FOBSA,2012)
10.-	Proyecto para la protección de una zona de recarga natural del Acuífero de Tecocomulco	(CCLT, 2013b)
11.-	Patrones de variación espacial y temporal de los macroinvertebrados acuáticos en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo (México).	(Rico <i>et al</i> , 2014).
12.-	Variación anual de la biomasa de <i>Nymphoides fallax ornduff</i> (Menyanthaceae) en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México.	(Quiroz <i>et al</i> , 2014)

De entre algunas tesis se encuentran: a) Determinación de parámetros físicoquímicos, estado eutrófico y metales pesados de la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo, identificación de compuestos quelantes de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f (Delgadillo, 2012). b) Análisis poblacional de los peces (Miranda, 2008); b) Evaluación de la calidad ambiental mediante el uso de Helminthos parásitos (Monks, 2013); c) Evaluación geohidrológica (Huizar, 2001), d) Investigaciones parasitológicos en especies que habitan en la Laguna (Bautista, 2008).

## 5. MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología de ésta investigación fue basada en investigaciones que utilizan la profundidad registrada para las especies, como indicadora para el cálculo del requerimiento de agua ecológica en humedales (Froed *et al*, 2004; Cui *et al*, 2009), la cual fue acotada al tiempo y recursos disponibles. Esta metodología resulta ser una forma de estimar el volumen ecológico en humedales.

### 5.1. Material

El material utilizado en el desarrollo de la investigación es descrito en la siguiente figura.

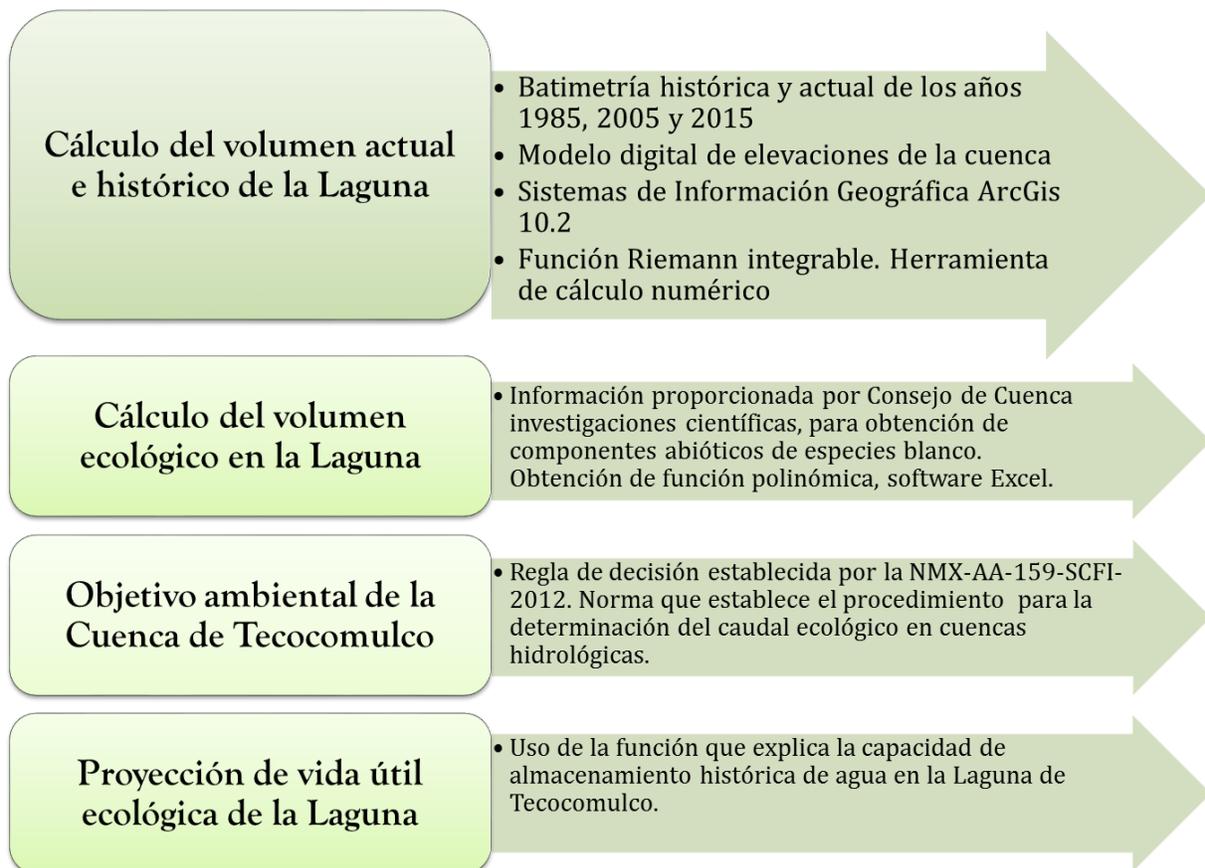


Fig.7. Materiales utilizados para el cálculo del volumen ecológico en la Laguna de Tecocomulco, Hgo.

Cabe mencionar que para el desarrollo del marco teórico se acudió al Consejo Cuenca de la Laguna de Tecocomulco, A.C., en donde se consultó material bibliográfico, sobre estudios realizados en el humedal. Adicionalmente se consultaron los datos hidrométricos y climatológicos de las estaciones de San Rafael Mazatepec (13030), San Jerónimo (13027) y San Rafael Mazatepec (13030). Para la obtención de las cartas de uso de suelo y vegetación, fueron descargados los metadatos de INEGI (2016).

## 5.2. Métodos.

Este estudio, se sub-dividió en cuatro partes importantes: 1) Cálculo del volumen actual e histórico de la laguna (1985, 2005 y 2015), 2) Estimación del objetivo ambiental de la Cuenca de Tecocomulco, 3) Cálculo del volumen ecológico mínimo de la Laguna y 4) Proyección de la vida útil ecológica de la Laguna de Tecocomulco.

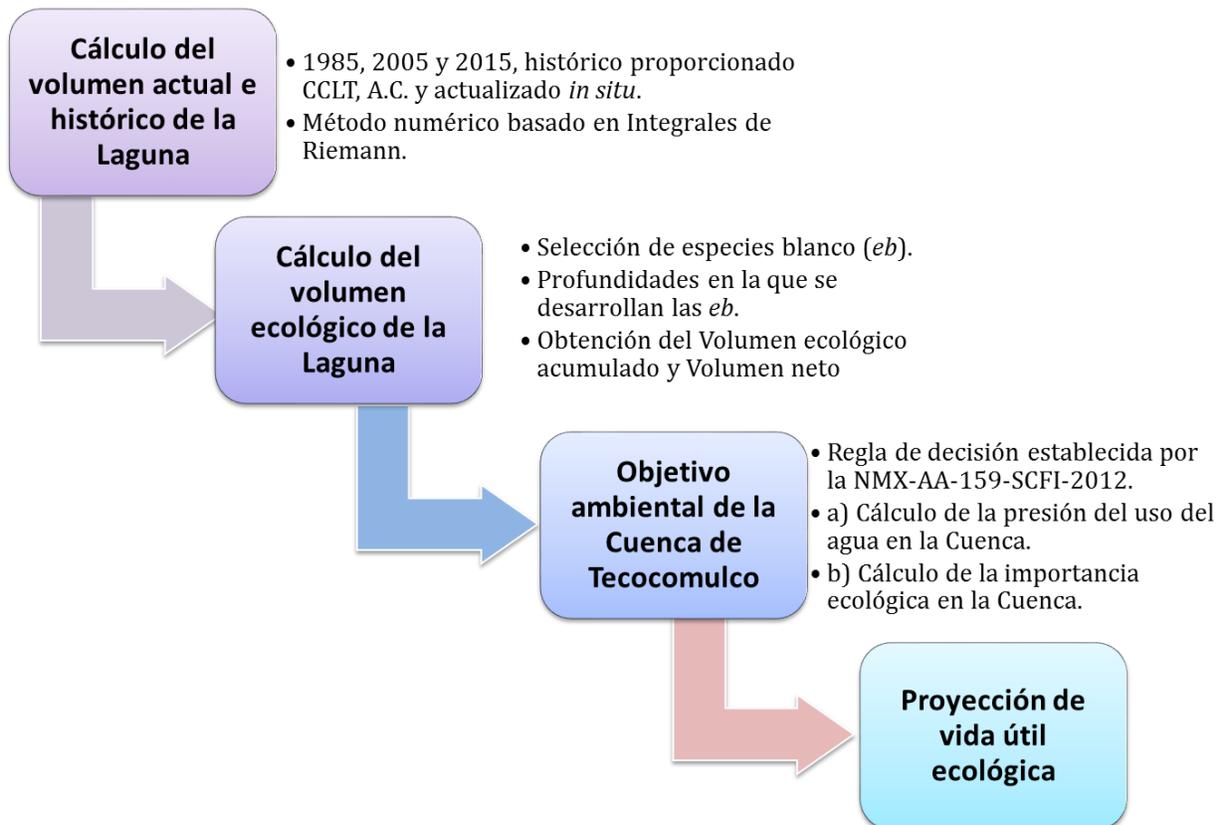


Fig.8. Marco metodológico de la investigación.

A continuación se desarrolla la descripción del marco metodológico para el cálculo del volumen mínimo para especies blanco, en la Laguna de Tecocomulco, Hgo.

### 5.2.1. Cálculo del volumen actual e histórico de la Laguna de Tecocomulco

El volumen actual e histórico de la Laguna de Tecocomulco, fue calculado para los años 1985, 2005 y 2015. La información del régimen de volumen histórico (1985 y 2005), fue facilitada por el Consejo Cuenca de la Laguna. Para la estimación actual del volumen (2015), se realizó el levantamiento *in situ* de 73 puntos distribuidos en toda la Laguna.

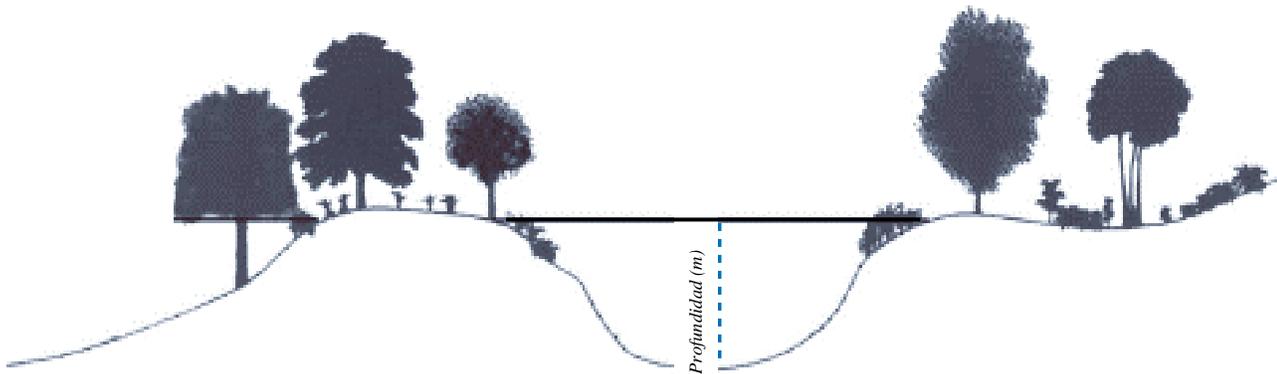


Fig.9. Diagrama de toma de profundidad de la Laguna de Tecocomulco.



**Fig.10.** Toma de mediciones de profundidad, en diferentes puntos de la Laguna.

Los datos obtenidos en campo, la base de datos fue analizada y procesada con el Sistema de Información Geográfica (SIG) Arcgis 10.2. El procedimiento se describe a continuación:

1. Con los puntos localizados de las profundidades medidas en campo se obtuvieron las curvas de nivel, representadas en la batimetría o un mapa de elevaciones.
2. Posteriormente mediante los SIG, se calculan la red de triángulos irregulares TIN (Triangular Irregular Network), que son una forma de datos geográficos digitales



basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos). Los vértices están conectados con una serie de aristas para formar una red de triángulos.

3. Con el TIN se calculó del Modelo Digital del Elevaciones (DEM) de la Laguna de Tecocomulco, este ayuda a observar de manera visible la variación de profundidades.

Una vez obtenido el DEM del humedal, se prosigue a calcular el correspondiente volumen, usando un procedimiento numérico basado en integrales de Riemann. El procedimiento es descrito a continuación:

1. Se utiliza el software ArcGis 10.2 y el DEM para la obtención de los valores de los nodos de profundidad. Mediante la elaboración de una malla con valores de 100 intervalos en el eje de las "x" y de 100 intervalos en el eje de las "y".
2. Una vez obtenidos los valores para cada nodo contenidos en ambos ejes, es obtenido el valor del área correspondiente para cada cuadro.
3. Se realiza la suma superior y la suma inferior de  $f$  en la partición  $P_n$ ;
4. Mediante el promedio entre la suma superior y la suma inferior se obtiene el volumen actual de la Laguna.

### 5.2.2. Cálculo del volumen ecológico mínimo para *eb* en la Laguna

Para la integración del componente "ecológico", al cálculo del volumen, es necesario incluir y considerar la integridad biológica propia de la Laguna. Esta metodología fue basada en investigaciones más amplias, en donde es considerada la profundidad como principal factor determinar el volumen requerido por el sistema (Froend *et al*, 2004; Cui



et al, 2009). Dicha metodología fue adaptada y acotada a la disponibilidad de recursos y temporalidad.

#### **5.2.2.1. Selección de las especies blanco (*eb*)**

La integridad biológica de la Cuenca de la Laguna es amplia, habitan un total de 215 especies animales y 88 especies de flora (*Anexos C y D*), sin embargo, fueron consideradas exclusivamente todas las especies que viven en la Laguna, en donde el agua y la profundidad son los factores de mayor importancia para la subsistencia de dichas especies.

#### **5.2.2.2. Cálculo del volumen ecológico mínimo para *eb* seleccionadas**

A continuación se presenta el esquema metodológico de la forma de obtención del volumen ecológico para la Laguna de Tecocomulco, Hgo. (Fig. 11).

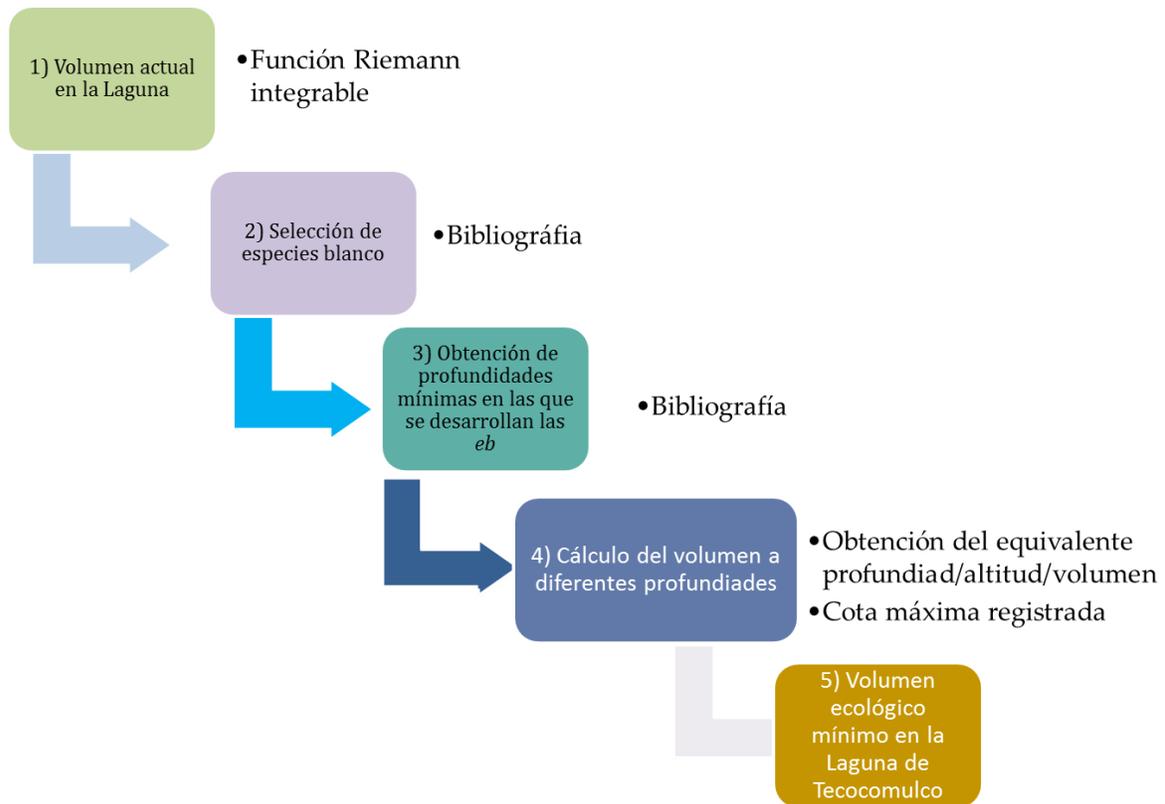


Fig.11. Diagrama metodológico para la obtención del volumen ecológico mínimo para *eb*.

A continuación se describen cada uno de los subcomponentes que integran el cálculo.

### a) *Volumen actual en la Laguna*

La forma de obtención del volumen fue descrito en el apartado 5.2.1.

### b) *Selección de especies blanco*

Las especies blanco, en esta investigación se definen como aquellas especies de interés para el cálculo del volumen ecológico mínimo en el humedal.

Se obtiene el listado de las especies reportadas para la Laguna, mediante la revisión de literatura. Del total de especies se seleccionaron aquellas que se encuentran viviendo



dentro del humedal es decir, las especies en las que resulta indispensable vivir en el medio acuático.

***c) Obtención de profundidades mínimas en las que se desarrollan las eb***

Los datos fueron obtenidos mediante la revisión de artículos científicos disponibles.

***d) Cálculo del volumen ecológico mínimo para eb en la Laguna de Tecocomulco***

Una vez obtenida la Tabla que contiene la información de la profundidad mínima por cada especie, es seleccionada aquella especie la cual requiere de mayor profundidad para su subsistencia. Dicho dato ayudó para la obtención del volumen ecológico de todas las especies.

1. Una vez obtenidas las profundidades mínimas en las que se desarrollan las 20 especies blanco, se requiere obtener el equivalente de dichas profundidades, a su correspondiente altitud en la Laguna. Para ello se resta la cota máxima para la Laguna resultante.
2. Para estimar el correspondiente volumen equivalente en la Laguna para cada elevación, se utiliza una función obtenida de los datos batimétricos 2015, en donde se tiene un volumen para cada altitud.
3. El volumen obtenido, corresponde al volumen ecológico acumulado, para las especies. Sin embargo, éste volumen es el equivalente al contabilizado desde el fondo de la Laguna hacia arriba. Pero para esta investigación resultó de particular interés aquel volumen medido del espejo de agua hacia abajo, por lo que se realiza adicionalmente la estimación del volumen ecológico, que se muestra en la Tabla 12. Definido por la siguiente expresión y Figura:

$$V_e = V_t - V_{ea} \dots\dots\dots(5.2.3.2)$$

Donde,

$V_e$  = Volumen ecológico,

$V_{ea}$  = Volumen ecológico acumulado,

$V_t$  = Volumen total de la Laguna actual (2015).

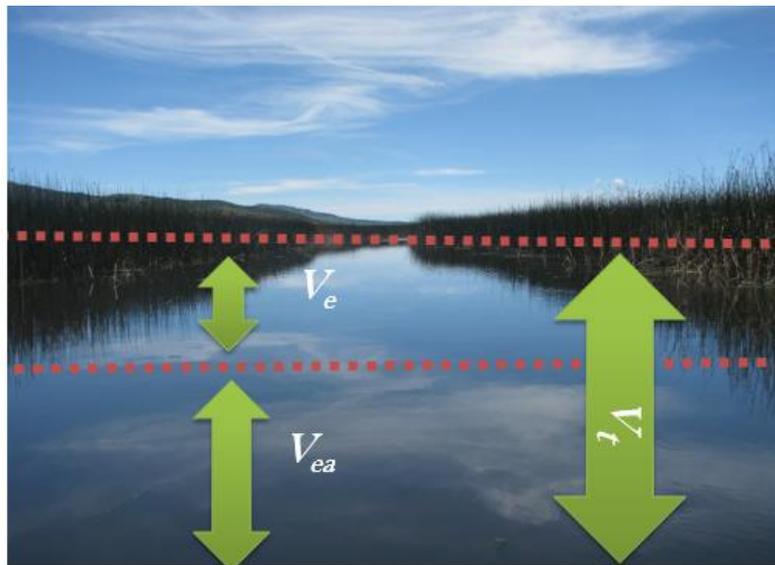


Fig.12. Volumen ecológico neto, ecológico y acumulado.

### 5.2.3. Cálculo del objetivo ambiental de la Cuenca de Tecocomulco

Según la NMX (2012), el cálculo del objetivo ambiental para la Cuenca de Tecocomulco, se obtiene mediante la estimación de la presión del uso del agua y su estado ecológico. A continuación se describen la manera de obtención de los subcomponentes.



### 5.2.3.1. Cálculo de la presión del uso del agua e importancia ecológica de la Cuenca

Para el cálculo de la presión del uso del agua, se realizó la metodología propuesta en la NMX (2012). Como subcomponentes del cálculo, inicialmente se determinó la presión del uso del agua, el cual se define como la relación de porcentaje del volumen asignado más el concesionado, entre la disponibilidad media anual por cuenca o acuífero, conforme a la información publicada por la Comisión Nacional del Agua, como lo muestra la siguiente ecuación:

$$Pu = \frac{S}{E} \dots\dots\dots(5.2.3.1)$$

Donde:

$P_u$  = presión de uso

S= Volumen concesionado + Volumen asignado

E= Volumen disponible (escurrimientos y volumen medio de la Laguna).

Dependiendo del resultado, se establece el valor de la presión existente sobre el uso del agua en el sitio a estudiar. La regla de decisión fue basada en la propuesta por la Norma, ver Tabla 6.

**Tabla 6.** Valores de presión de uso del agua.

Muy alta	Alta	Media	Baja
≥ 80%	≥ 40%	≥ 11%	≥ 10%

*Fuente:* NMX-AA-159-SCFI-2012.

Para la obtención la importancia ecológica de la cuenca, se elaboró un listado de todas las especies registradas en la Laguna, así como su estatus de conservación según la NMX-ECOL-059-2010 y la Lista Roja de las especies en riesgo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés).

Una vez teniendo la lista de las especies y su respectivo estatus de conservación, mediante la regla de decisión establecida en la NMX (2012), ver la siguiente Tabla.

**Tabla 7.** Regla de decisión para la determinación de importancia ecológica.

Importancia ecológica	Aspectos bióticos	Aspectos de integridad ecológica	Alteración ecohidrológica
<b>Muy Alta</b>	Una o más especies endémicas en la región o que además tengan relevancia internacional, que se encuentran, en algún estado de protección, según la NMX (2010)	Hábitat único por su diversidad y funcionamiento, que mantienen su estructura natural e integridad ecológica asociada a los servicios ecosistémicos aportados y que están intactos. La zona de captación se conserva.	Nula o mínima. Se conserva el régimen natural.
<b>Alta</b>	Al menos una especie de relevancia regional o nacional bajo un estado de conservación según la NMX (2010) o enlistados similares o internacionales.	Hábitat único por su diversidad y funcionamiento, en los que predomina su estructura natural y que básicamente conservan su integridad biológica, y en consecuencia, los servicios ecosistémicos que presentan. La zona de captación se conserva.	Presencia mínima de infraestructura antropogénica (caminos, granjas, descargas domésticas de aguas domésticas de aguas residuales). Alteraciones moderadas al régimen natural.
<b>Media</b>	Presencia de poblaciones de diferentes especies, de relevancia regional por su aportación a servicios ecosistémicos o al desarrollo socioeconómico.	La zona de captación y el hábitat se encuentran moderadamente alternada. Conservan de alguna medida su funcionamiento, estructura y servicios básicos, a pesar de haber presentado cambios físicos.	Presencia evidente de infraestructura antropogénica. Alteraciones evidentes, significativas, pero se mantienen ciertos componentes del régimen hidrológico.
<b>Baja</b>	Nula o muy baja presencia de especies nativas con presencia de especies exóticas.	Zona de captación sometida a fuerte presión por el agua y cambio de uso de suelo. Cauces invadidos, obstruidos, abandonados, modificados, canalizados o destruidos por actividades de extracción, cuyos cambios en casos extremos son irreversibles. Integridad ecológica, completamente perdida y en ocasiones solo se conservan los servicios ambientales más básicos.	Alta presencia de infraestructura antropogénica. Régimen completamente alterado.

Fuente: NMX-AA-159-SCFI-2012.

### 5.2.3.2. Estimación del objetivo ambiental de la Cuenca

Una vez obtenidos los valores de la importancia ecológica de la Cuenca y la presión de uso del agua en la misma, se obtuvo su objetivo ambiental mediante metodología propuesta en la NMX (2012), ver Fig. 13.

Importancia ecológica	Muy alta	A	A	B	C
	Alta	A	B	C	D
	Media	B	C	C	D
	Baja	B	C	D	D
CRITERIOS		Baja	Media	Alta	Muy alta
		Presión de uso			

Fig.13. Objetivo Ambiental Cuenca de Tecocomulco. A: Muy bueno, B: Bueno, C: Moderado y D: Deficiente.

Fuente: NMX-AA-159-SCFI-2012

Es importante mencionar que el conocimiento del objetivo ambiental de la cuenca, será como punto de partida de evaluaciones hidrobiológicas y holísticas (NMX, 2012).

### 5.2.4. Proyección de vida útil ecológica de la Laguna de Tecocomulco

Con base en el volumen calculado para los años 1975, 2005 y 2015, mediante los Sistemas de Información Geográfica (ArcGis 10.2). Se consideró la pérdida de volumen por azolvamiento anual (citado en el marco teórico) y se generó con apoyo de Excel una ecuación y línea de tendencia los tres valores de volumen por año, la cual permitió elaborar una gráfica de proyección lineal de vida útil de la laguna.

Una vez obtenida dicha proyección, se obtuvo el valor de la vida útil de las especies blanco en la Laguna, mediante la localización del volumen ecológico en la gráfica y su proyección al eje de las abscisas que representan dicha vida útil ecológica en años, es decir, el año en que la Laguna dejará de ser un lugar habitable para las especies blanco.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente apartado se desglosan los resultados y discusiones correspondientes a los objetivos e hipótesis planteadas en esta investigación.

### 6.1. Cálculo del volumen actual e histórico de la Laguna de Tecocomulco.

La información del régimen de volumen histórico producto de levantamientos batimétricos para los años 1985 y 2005, fue facilitada por el Consejo Cuenca de la Laguna.

La siguiente Tabla muestra el volumen acumulado para la cota máxima de los años históricos (1985 y 2005).

Tabla 8. Volumen histórico de la laguna de Tecocomulco, Hgo.

Elevación (msnm)	Capacidad (Mm <sup>3</sup> )	
	1985	2005
2,514.00	1.47	1.15
2,514.30	8.54	5.00
2,514.50	9.58	8.47
2,515.00	21.74	19.25
2,515.60	40.08	37.65
2,515.80	47.52	44.53
2,516.00	55.76	51.58
2,516.60	80.54	74.46
2,517.51	101.11	93.28

Para el cálculo de la batimetría actual se realizó el levantamiento *in situ* de 73 puntos (ver Tabla 9), los cuales fueron procesados con ArcGis 10.2, para obtener el Modelo Digital de Elevaciones, correspondiente al año 2015.



**Tabla 9.** Levantamiento in situ de puntos distribuidos en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo (2015).

Clave	Coordenada X UTM 14N	Coordenada Y UTM 14N	Elevación	Clave	Coordenada X UTM 14N	Coordenada Y UTM 14N	Elevación
1	2198248.113	563986.5249	2514.00	30	2195028.178	562011.9692	2513.85
2	2196482.103	565236.1549	2514.13	31	2195310.935	562030.6948	2513.85
3	2195581.123	564977.5129	2514.39	32	2194913.951	562465.1302	2513.85
4	2196240.012	564027.6948	2513.92	33	2194771.636	562365.8842	2513.85
5	2195210.112	561238.4578	2514.09	34	2195041.286	562817.1727	2513.88
6	2194407.212	59904.54184	2514.36	35	2195327.789	562708.5639	2513.85
7	2196422.003	62895.03548	2513.85	36	2195638.635	562573.7391	2513.85
8	2196423.24	62862.11431	2513.85	37	2196321.636	562203.1096	2513.85
9	2196020.638	62407.08067	2513.85	38	2196572.555	561997.4816	2513.86
10	2195668.596	562084.9992	2513.85	39	2196783.258	562646.9772	2513.85
11	2195533.771	562004.4789	2513.85	40	2196499.183	563494.7644	2513.85
12	2195795.93	561624.3479	2513.86	41	2196849.838	563525.8351	2513.85
13	2195949.366	561514.5817	2513.96	42	2197169.423	563383.7975	2513.85
14	2195164.875	561570.0435	2513.88	43	2197196.055	563206.2504	2513.85
15	2194923.452	561333.6874	2514.00	44	2196827.645	563911.9999	2513.86
16	2194727.855	561031.6443	2513.95	45	2197218.439	564090.9651	2513.90
17	2194464.535	560276.1001	2514.02	46	2197790.838	564275.9713	2513.98
18	2194719.204	560792.9284	2514.12	47	2197804.154	563943.0706	2513.98
19	2194929.306	560455.1312	2514.94	48	2197715.38	564528.9759	2513.99
20	2194164.925	560682.447	2514.12	49	2197222.687	564489.0278	2513.87
21	2193917.746	560425.9054	2513.98	50	2197386.918	563805.4717	2513.94
22	2193691.32	561593.4467	2514.60	51	2197129.475	565043.8623	2513.85
23	2193612.455	561171.3817	2514.02	52	2197111.968	565350.9693	2513.86
24	2193752.774	561171.3817	2514.06	53	2198252.46	565731.8571	2514.20
25	2193900.893	561276.0505	2514.37	54	2198144.18	565948.9568	2514.40
26	2194325.965	562006.3515	2513.90	55	2199054.758	566153.7785	2513.85
27	2194503.859	562081.2541	2513.88	56	2198846.255	566201.4067	2513.94
28	2194704.224	562073.7638	2513.86	57	2199199.205	565666.1314	2513.90
29	2194882.118	562047.5479	2513.85	58	2198620.87	564568.9239	2514.00



Clave	Coordenada X UTM 14N	Coordenada Y UTM 14N	Elevación
59	2198760.455	564216.9384	2514.55
60	2199004.002	564016.6347	2514.85
61	2198730.01	563690.0269	2514.60
62	2198993.898	564541.5388	2514.60
63	2199406.339	566316.9983	2513.90
64	2199952.473	566490.8707	2513.96
65	2200390.655	566662.5817	2514.01
66	2200266.632	566228.9046	2513.84

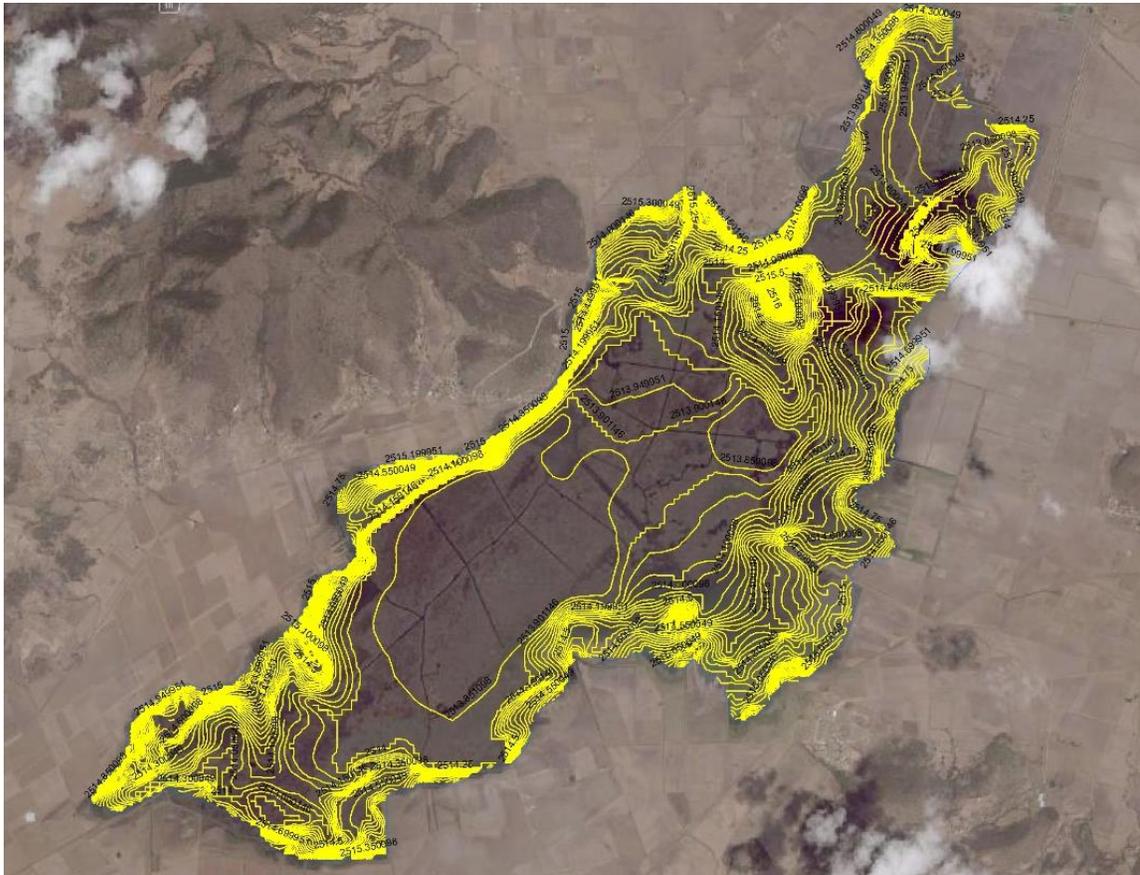
Clave	Coordenada X UTM 14N	Coordenada Y UTM 14N	Elevación
67	2200789.612	566748.3817	2514.27
68	2195958.596	563335.52	2513.85
69	2195995.193	563936.6443	2513.95
70	2195573.531	563886.4059	2514.25
71	2194770.755	565075.2817	2515.21
72	2195763.294	565892.1974	2515.01
73	2193869.855	559169.1659	2514.66

A continuación se describe el procedimiento utilizado en el sistema de información geográfica ArcGis 10.2, para la obtención del modelo digital de elevaciones.

1. Con los puntos localizados de las profundidades medidas en campo (Fig. 13), se obtuvieron las curvas de nivel, representadas en la batimetría o un mapa de elevaciones. *Ver anexo C.*

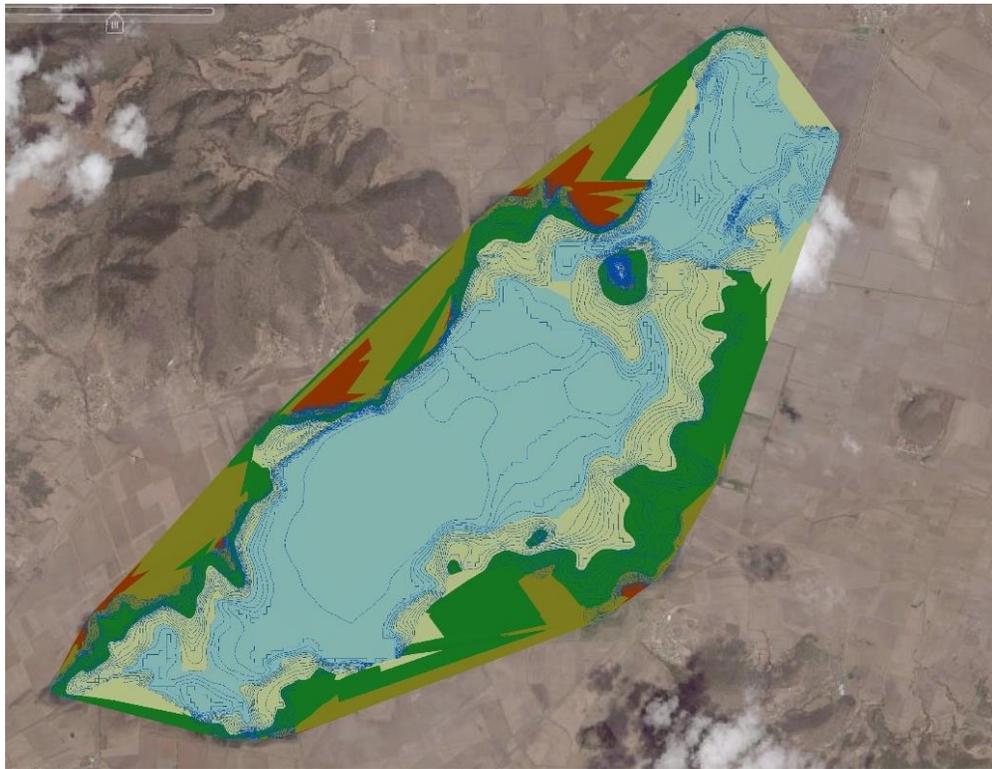


**Fig.14.** Levantamiento *in situ* de puntos distribuidos en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo (2015).  
*Fuente:* Elaboración propia (2016).



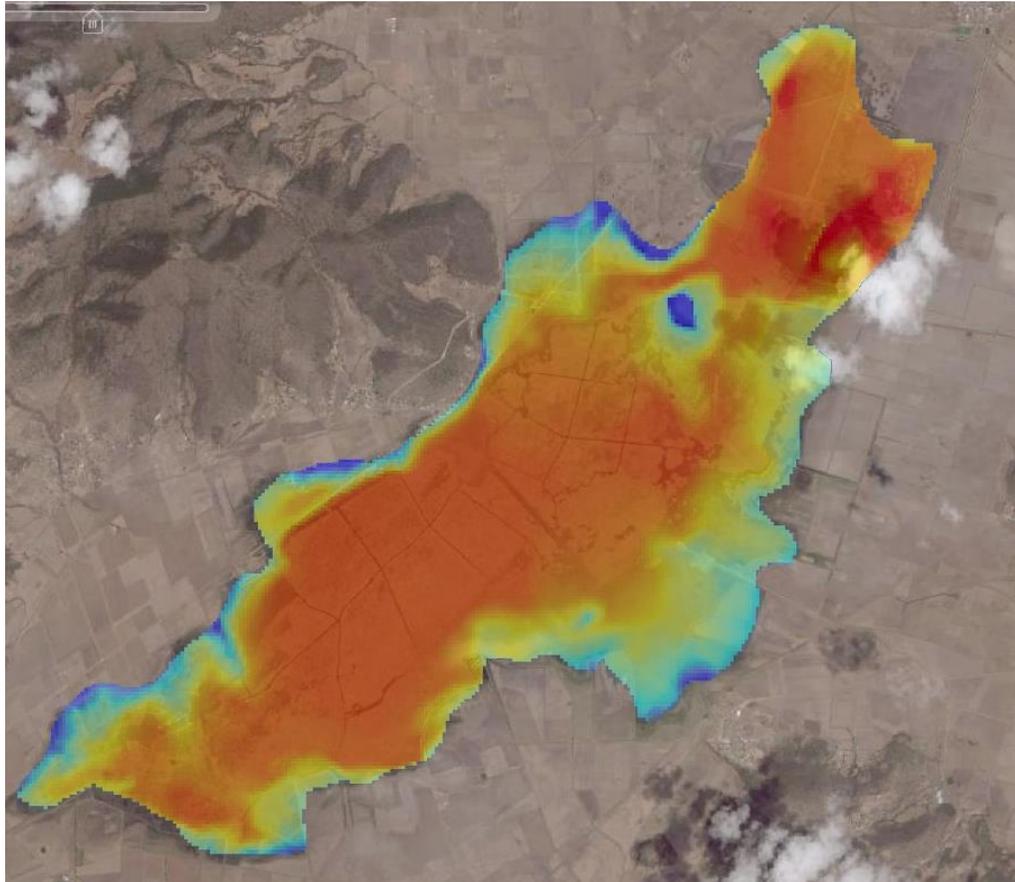
**Fig.15.** Curvas de nivel en la Laguna de Tecocomulco (2015). *Fuente:* Elaboración propia (2016).

2. Mediante los SIG, se calculan la red de triángulos irregulares TIN (Triangular Irregular Network), que son una forma de datos geográficos digitales basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos). Los vértices están conectados con una serie de aristas para formar una red de triángulos (Fig. 16).



**Fig.16.** Cálculo de TIN, para la batimetría levantada en la Laguna (2015). *Fuente:* Elaboración propia (2016).

3. Con el TIN se calculó del Modelo Digital del Elevaciones (DEM) de la Laguna de Tecocomulco, este nos ayuda a observar de manera visible la variación de profundidades, se muestra a continuación el DEM (Fig. 17).



**Fig.17.** Modelo digital de elevaciones en la Laguna de Tecocomulco (2015). *Fuente:* Elaboración propia (2016).

- Una vez obtenido el DEM de la Laguna de Tecocomulco, se procedió al cálculo actual del volumen mediante el método numérico de Riemann, por lo que se creó la red de malla de longitud 100\*100, cuadros en “x”; “y”. En el Sistema de Información Geográfica ArcGis.
- Se obtuvieron los valores de profundidad para cada vértice de la malla, asignándole un valor de “0” para los puntos que caen fuera de la Laguna (Fig. 18).

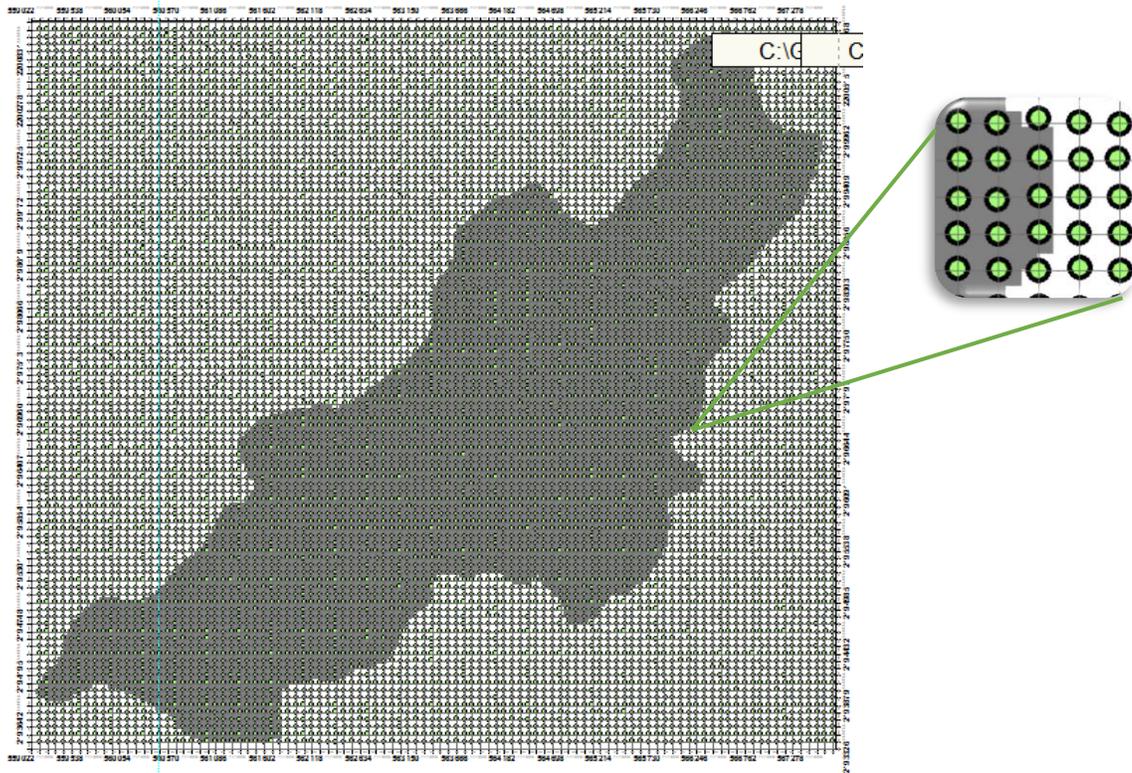
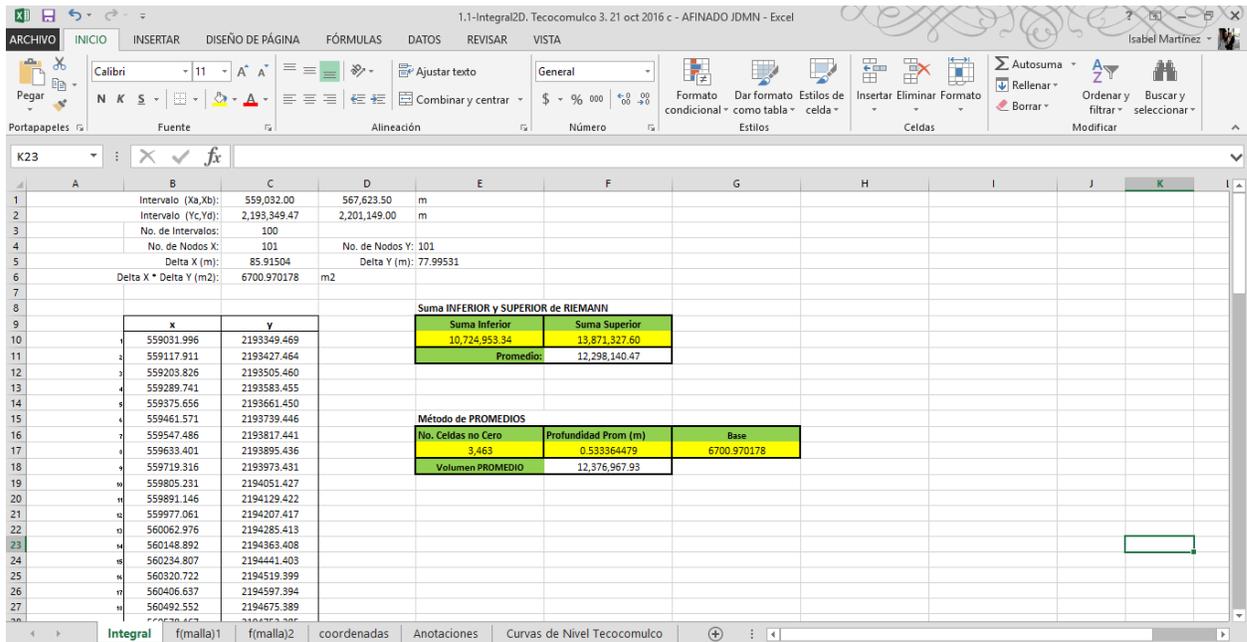


Fig.18. Polígono de la Laguna de Tecocomulco, en verde los puntos de valores de altitud de intersección de cada vértice. Fuente: Elaboración propia (2016).

- Se extrae la información de la base de datos del “shape”, creado para trabajar la información en una base de datos en Excel. Dicho programa permitirá el cálculo del volumen para cada rectángulo y finalmente calcula mediante operaciones aritméticas, el volumen total para el humedal. Estas operaciones fueron basadas en integrales de Riemann, para dos superficies.



**Fig.19.** Vista del software Excel, cálculo del volumen basado en integrales de Riemann. Fuente: Elaboración propia (2016).

Una vez obtenidos los volúmenes de la Laguna actuales e históricos, se calculó la pérdida de capacidad de almacenamiento y la pérdida de capacidad media anual, los datos se reportan en la siguiente Tabla.

**Tabla 10.** Volumen de almacenamiento de la Laguna de Tecocomulco, de acuerdo a la batimetría de los años 1985, 2005 y 2015.

Elevación (msnm)	Capacidad (Mm <sup>3</sup> )			Pérdida de capacidad media anual (Mm <sup>3</sup> )
	1985	2005	2015	
2,514.00	1.47	1.15	0.95	0.00659
2,514.30	8.54	5.00	4.14	0.02867
2,514.50	9.58	8.47	7.01	0.04856
2,515.00	21.74	19.25	15.94	0.11037
2,515.60	40.08	37.65	31.17	0.21586
2,515.80	47.52	44.53	36.87	0.25531
2,516.00	55.76	51.58	42.71	0.29573
2,516.60	80.54	74.46	61.65	0.42690
<b>2,517.51</b>	<b>101.11</b>	<b>93.28</b>	<b>77.24</b>	<b>0.53451</b>

\*Mm<sup>3</sup>= Millones de metros cúbicos

De acuerdo anterior Tabla, la Laguna ha perdido un total de 23.87 Mm<sup>3</sup> en 30 años (desde 1985), ver Fig. 20.

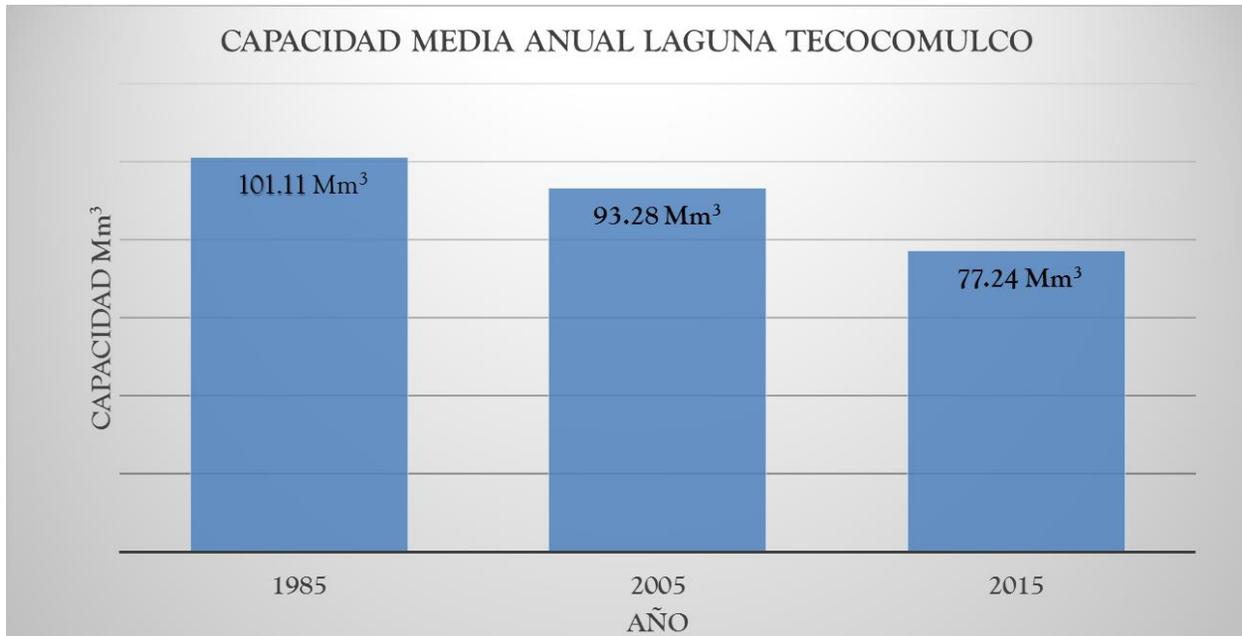


Fig.20. Volumen de almacenamiento medio anual de la Laguna de Tecocomulco, Hgo.

Es importante mencionar que de los años comprendidos de 1985 al 2005, existen 20 años de diferencia, en donde se evidencia una pérdida de 0.4415 Mm<sup>3</sup>, en el período comprendido del 2005 al 2015 (10 años de diferencia), se evidencia una pérdida de almacenamiento de agua en la Laguna de 1.504 Mm<sup>3</sup>. Aumentando más del doble la pérdida de la capacidad registrada desde 1985.

## 6.2.Cálculo del volumen ecológico mínimo para *eb* en la Laguna

En este apartado se presenta el cálculo del volumen mínimo ecológico en el que las especies que habitan en la Laguna, no se vean afectadas por la disponibilidad de agua en su medio. De manera inicial, es indispensable contar con la batimetría actual (2015), en donde la forma de obtención se encuentra descrita en el apartado 6.1.

### 6.2.1. Estimación del volumen actual en la Laguna

A partir del volumen de almacenamiento medio anual actualizado (2015) para la Laguna de Tecocomulco, Hgo., resultó de **77.24Mm<sup>3</sup>**, se recomienda ver el apartado 6.1, donde se detalla la manera de obtención de dicha información.

### 6.2.2. Selección de especies blanco

De acuerdo a la biodiversidad reportada para la Laguna, según CONAGUA (2012), existen reportadas 215 especies de fauna (Fig. 21) y 86 especies de flora (Fig. 22), dando un total de 301 *spp* establecidas en la Laguna, de las cuales, fueron seleccionadas aquellas especies, que se encuentran viviendo dentro del humedal es decir, las especies en las que resulta indispensable vivir en el medio acuático.

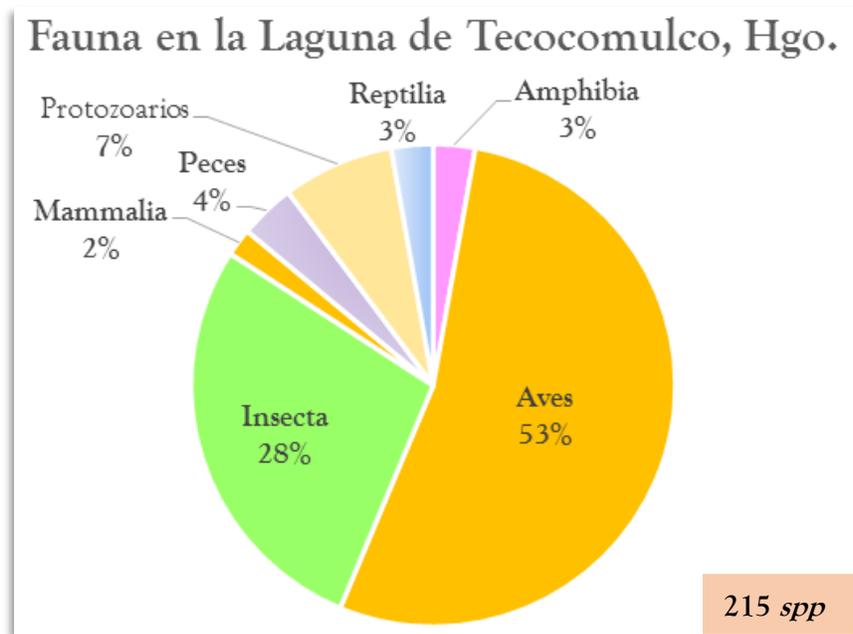


Fig.21. Fauna presente en la Laguna de Tecocomulco, Hgo. Fuente: CONAGUA (2012). Modificada.

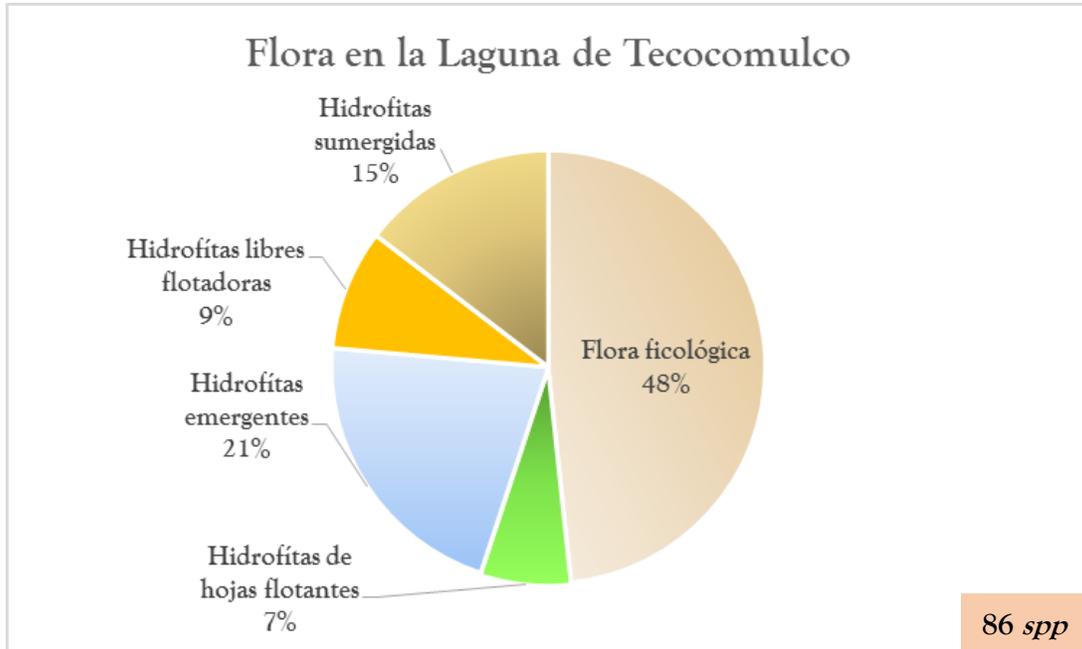


Fig.22. Flora presente en la Laguna de Tecocomulco, Hgo. Fuente: CONAGUA (2012), modificada.

Del total de las 29 especies seleccionadas, a través de una revisión de publicaciones y otras fuentes, se obtuvo la profundidad mínima en las que se desarrollan solamente 19 especies (Tabla 11). La reducción de las especies blanco, resulto en la falta de información disponible.

### 6.2.3. Obtención de profundidades mínimas en las que se desarrollan las especies blanco

La siguiente Tabla muestra la profundidad mínima requerida por las especies blanco, así como la investigación que lo señala.

Tabla 11. Especies blanco seleccionadas y profundidad mínima para su desarrollo.

No.	Especie	Clase	Profundidad mínima (m)	Fuente
1	<i>Schoenoplectus californicus</i> *		0	
2	<i>Ambystoma mexicanum</i> **	Amphibia	0.15	
3	<i>Ambystoma velasci</i>	Amphibia	0.4	Riojas y Mellink (2006)
4	<i>Chirostoma jordani</i>	Peces	1	Hernández (2008)
5	<i>Girardinichthys viviparus</i>	Peces	1	Gómez et al (2012)

No.	Especie	Clase	Profundidad mínima (m)	Fuente
6	<i>Hyla arenicolor</i>	Amphibia	ND	ND
7	<i>Lithobates montezumae</i>	Amphibia	ND	ND
8	<i>Lithobates pipiens</i>	Amphibia	ND	ND
9	<i>Spea multiplicata</i>	Amphibia	ND	ND
10	<i>Leptodictyum riparium</i>	Hidrofita sumergida	0.5	Peñuelas y Comelles (1984)
11	<i>Najas flexilis</i>	Hidrofita sumergida	0.5	Les <i>et al</i> (2015) y Wingfield (2004)
12	<i>Najas guadalupensis</i>	Hidrofita sumergida	0.5	Madrigal <i>et al</i> (2004)
13	<i>Potamogeton filiformis</i> ***	Hidrofita sumergida	< 2.5	Lindberg y Einarsson (2004)
14	<i>Potamogeton illinoensis</i>	Hidrofita sumergida	1	Plasencia (2006)
15	<i>Potamogeton nodosus</i>	Hidrofita sumergida	0.57	Spencer <i>et al</i> (2000); Spencer y Ksander (2016)
16	<i>Potamogeton foliosus</i>	Hidrofita sumergida	ND	ND
17	<i>Ranunculus aff dichotomus</i>	Hidrofita sumergida	ND	ND
18	<i>Ranunculus aquatilis</i>	Hidrofita sumergida	0.1	Gardens (2015)
19	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	Hidrofita sumergida	0	Vecchia <i>et al</i> (1999)
20	<i>Stuckenia pectinata</i>	Hidrofita sumergida	0.3	Wersal <i>et al</i> (2006)
21	<i>Utricularia gibba</i>	Hidrofita sumergida	0.3	Gordon y Pacheco (2007)
22	<i>Utricularia vulgaris</i>	Hidrofita sumergida	0.7	Larsen (1980)
23	<i>Cyprinus carpio rubrofusca</i>	Peces	1	González <i>et al</i> (2002)
24	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	Peces	1	Naturalistai (2016)
25	<i>Carassius auratus</i>	Peces	0.6	Zoo, 2014 y González (2016)
26	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	Peces	0.132	Elías y Navarrete (1998)
27	<i>Mylopharyngodon piceus</i>	Peces	1.6	Hung <i>et al</i> (2013)
28	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Peces	0.9	FAO (2016)
29	<i>Amblycephala megalobrema</i>	Peces	1.5	Chen <i>et al</i> (2016)

\* Especie cuya profundidad mínima es 0, no puede considerarse como relevante en esta investigación.

\*\* Especie que no se encuentra registrada para la Laguna, resultado ser una mala identificación de la especie (Vt, 2016).

\*\*\* Especie que no se encuentra especificada la profundidad mínima, solamente un aproximado.

#### 6.2.4. Cálculo del volumen a diferentes profundidades y del volumen ecológico mínimo para la Laguna

A continuación se describe la forma de obtención del volumen a diferentes profundidades.

- Una vez obtenidas las profundidades mínimas en las que se desarrollan las 19 especies blanco, se requiere obtener el equivalente de dichas profundidades, a su correspondiente altitud en la Laguna. Para ello se resto la cota máxima para la Laguna resultante: 2,517.51 *msnm* (Tabla 10).
- Para estimar el correspondiente volumen equivalente en la Laguna para cada elevación, se utiliza una función obtenida de los datos batimétricos 2015, en donde se tiene un volumen para cada altitud (Fig. 23).

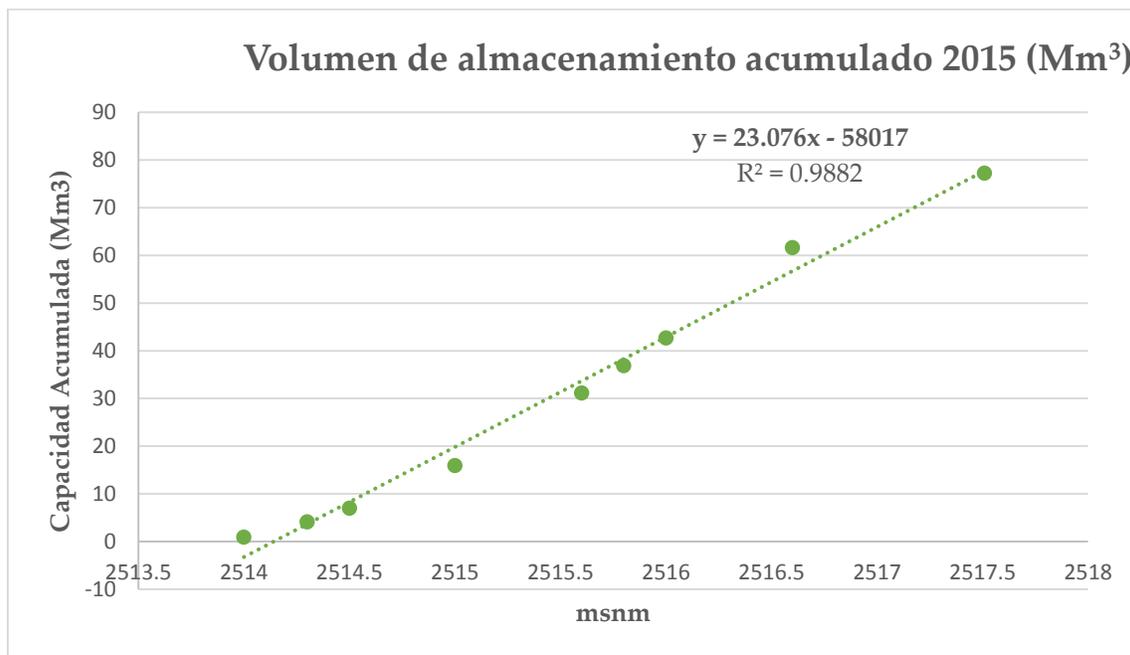


Fig.23. Volumen de almacenamiento acumulado 2015, Laguna de Tecocomulco, Hgo.

- El volumen obtenido, corresponde al volumen ecológico acumulado, para las especies. Sin embargo, éste volumen es el equivalente al contabilizado desde el fondo de la Laguna hacia arriba. Sin embargo, es de particular interés para esta



investigación, el volumen medido del espejo de agua hacia abajo, por lo que se realiza adicionalmente la estimación del volumen neto, que se muestra en la Tabla 12. Definido por la siguiente expresión:

$$V_e = V_t - V_{ea} \dots\dots\dots(6.3.3)$$

Donde,

$V_e$  = Volumen ecológico,

$V_{ea}$  = Volumen ecológico acumulado,

$V_t$  = Volumen total de la Laguna actual (2015).

**Tabla 12.** Volumen ecológico neto para cada especie blanco, en Laguna de Tecocomulco, Hgo.

No.	Especie	Profundidad mínima (m)	Elevación (msnm)	$V_{ea}$ (Mm <sup>3</sup> )	$V_e$ (Mm <sup>3</sup> )
1	<i>Ranunculus aquatilis</i>	0.1	2517.409	74.73	2.51
2	<i>Ambystoma mexicanum</i>	0.15	2517.369	73.81	3.43
3	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	0.13	2517.379	74.04	3.20
4	<i>Stuckenia pectinata</i>	0.3	2517.209	70.11	7.13
5	<i>Utricularia gibba</i>	0.3	2517.209	70.11	7.13
6	<i>Ambystoma velasci</i>	0.4	2517.109	67.81	9.43
7	<i>Leptodictyum riparium</i>	0.5	2517.009	65.50	11.74
8	<i>Najas flexilis</i>	0.5	2517.009	65.50	11.74
9	<i>Najas guadalupensis</i>	0.5	2517.009	65.50	11.74
10	<i>Potamogeton nodosus</i>	0.57	2516.939	63.88	13.36
11	<i>Carassius auratus</i>	0.6	2516.909	63.19	14.05
12	<i>Utricularia vulgaris</i>	0.7	2516.809	60.88	16.36
13	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	0.9	2516.609	56.27	20.97
14	<i>Chirostoma jordani</i>	1	2516.509	53.96	23.28
15	<i>Girardinichthys viviparus</i>	1	2516.509	53.96	23.28
16	<i>Potamogenton illinoensis</i>	1	2516.509	53.96	23.28
17	<i>Cyprinus carpio rubrofuscus</i>	1	2516.509	53.96	23.28
18	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	1	2516.509	53.96	23.28
19	<i>Amblycephala megalobrema</i>	1.5	2516.009	42.42	34.82
<b>20</b>	<b><i>Mylopharyngodon piceus</i></b>	1.6	2515.909	40.12	<b>37.12</b>



Por lo que el volumen ecológico mínimo para la Laguna de Tecocomulco, en Hidalgo, se reporta de **37.12 Mm<sup>3</sup>**, la que corresponde a la especie *Mylopharyngodon piceus*, la cual representa las otras 20 especies que fueron seleccionadas. La siguiente figura presenta el volumen mínimo para las *eb*.

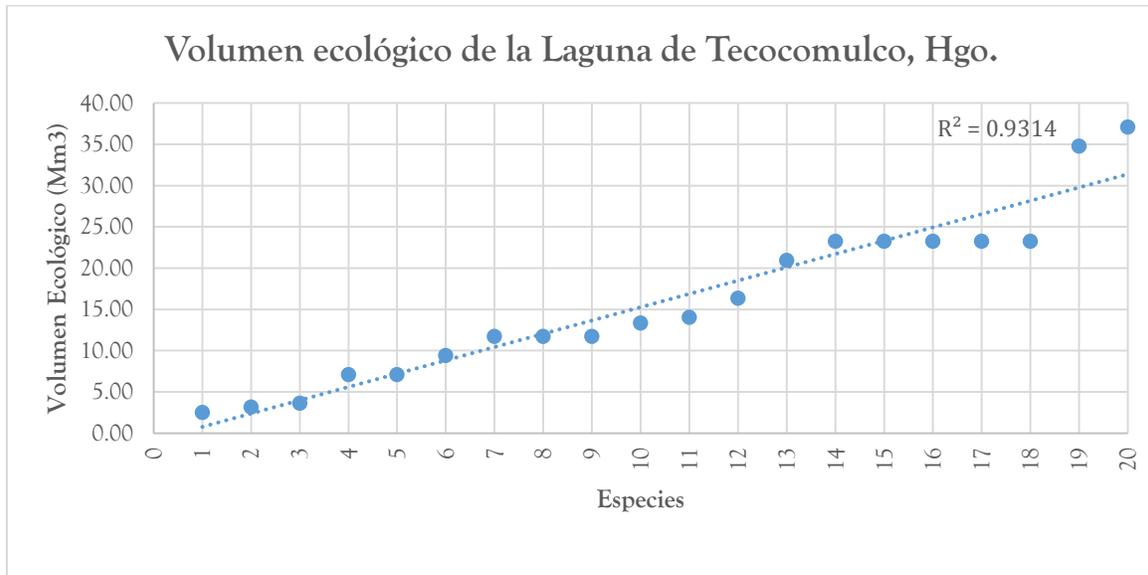


Fig.24. Volumen mínimo ecológico por especie blanco.

### 6.3. Objetivo ambiental en la Cuenca de Tecocomulco.

A continuación se describe la forma de obtención del objetivo ambiental en la cuenca, según lo establecido en la NMX (2012).

#### 6.3.1. Cálculo de la presión del uso del agua e importancia ecológica en la Cuenca de Tecocomulco

En los siguientes apartados se describirán los resultados obtenidos en la presión del uso del agua y la importancia ecológica, existente en la cuenca de Tecocomulco.



### 6.3.1.1. Presión del uso del agua en la Cuenca de Tecocomulco

Para el cálculo de la presión del uso del agua se consultaron los datos del volumen asignado y el concesionado para la Cuenca, así como su correspondiente disponibilidad media anual. Para ello se consultaron los datos de las aportaciones de infiltración, superficiales, sub-superficiales y el volumen promedio aportado en la Laguna de Tecocomulco según la literatura (CONAGUA, 2007; Lesser, 2007).

El cálculo de la presión del uso del agua, se calculó mediante la siguiente expresión (6.1).

$$Pua = \frac{Vc + Va}{Es + Ess + In + Vma} \dots\dots\dots(6.1)$$

**Donde:**

- Pua* = Presión Uso del Agua,
- Vc*= Volumen concesionado,
- Va*= Volumen asignado,
- Es*= E scorrimiento superficial,
- Ess*= E scorrimiento sub-superficial,
- In*= Infiltración,
- Vma*= Volumen medio aportado a la Laguna.

Sustituyendo se tiene:

$$Pua = \frac{58.069 \text{ Mm}^3}{542.86 \text{ Mm}^3}$$

$$Pua = 0.1095$$

$$Pua = 10.95\%$$

De acuerdo a la regla de decisión de la Tabla 6, la presión del uso de agua en la Laguna de Tecocomulco es “Alta”.

### 6.3.1.2. Importancia ecológica de la Cuenca de Tecocomulco

La obtención de la importancia ecológica, fue basada en la regla de decisión establecida en la NMX (2012), ver Figura 12. Por lo que para evaluar aspectos bióticos, de integridad ecológica y alteración ecohidrológica, se tomaron en cuenta las especies descritas para la laguna, así como su correspondiente status de conservación, por lo se realizó un listado de las especies: a) Endémicas según la NMX (2010), b) Que se encuentran amenazadas, sujetas a protección especial o en peligro de extinción, según la NMX (2012) y c) Que se encuentran en peligro crítico según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2016), ver Tabla 13.

**Tabla 13.** Especies presentes en la Laguna de Tecocomulco, que presentaron algún estado de conservación.

	Total de especies presentes en la Laguna de Tecocomulco	No. de especies endémicas según la NMX (2010)	No. de especies A., Pr. o P., según la NMX (2010)	No. de especies Cr. según la IUCN (2016)
Flora	89	0	10	0
Fauna	210	12	14	1
<b>Total</b>	<b>299</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>1</b>

\*Según NOM-MX-ECOL-059-2010. A.= Amenazada; Pr.= Sujetas a protección especial. P.= En peligro de extinción.

\*Según la IUCN (2016) = Cr. Peligro crítico.

La cuenca de Tecocomulco, tiene la presencia de doce especies endémicas y al menos una especie considerada en peligro crítico según IUCN (2016), como es el caso de *Ambystoma mexicanum* o en Peligro de extinción, según la NMX (2010), como es el caso: *Carpodacus mexicanus* y *Melospiza melodía*, ambas aves residentes, ver *Anexos A* y *B*.

Adicionalmente en la Cuenca existe la presencia mínima de infraestructura antropogénica, en el caso de la Laguna de Tecocomulco hay cinco drenes: San Antonio, Cuatlaco, Maravilas, Papalote y Tulantongo. Por lo que se obtiene que la Importancia ecológica de la Cuenca de Tecocomulco es: “Alta”.

### 6.3.2. Estimación del objetivo ambiental de la Cuenca de Tecocomulco

Una vez obtenidos los alores de los criterios de Importancia ecológica, la cual resultado: “Alta” y la presión del uso del agua: “Muy Alta”, se obtiene el objetivo ambiental, el cual resulta ser: “Deficiente”, (2012).



Importancia ecológica	Muy alta	A	A	B	D
	Alta	A	B	C	D
	Media	B	C	C	D
	Baja	B	C	D	D
CRITERIOS		Baja	Media	Alta	Muy alta
		Presión de uso			

Fig.25. Estimación del objetivo ambiental en la Cuenca de Tecocomulco, según la NMX (2012).

El cálculo del objetivo ambiental de la Cuenca de Tecocomulco, permite conocer los componentes hidrológicos y algunos aspectos de integración biológica, como punto de partida a futuras investigaciones, enfocadas a establecer manejo sustentable en la Cuenca.

#### 6.4. Proyección de vida útil ecológica de la Laguna de Tecocomulco.

La proyección de vida útil ecológica de la Laguna, es definida en este estudio como:

“El año en el que la Laguna llegará a su punto máximo de soporte para las especies que habitan en ella, debido a la pérdida de la capacidad de almacenamiento de agua”.

Es decir, que difiere del año en que la Laguna llegara a su máximo azolvamiento, mismo en el que el volumen de almacenamiento sea nulo. Para calcular dicho dato, se realizó una proyección con los datos disponibles de la pérdida de la capacidad de almacenamiento de la Laguna, utilizando la función que explica dicha pérdida de almacenamiento de agua (Fig. 25).

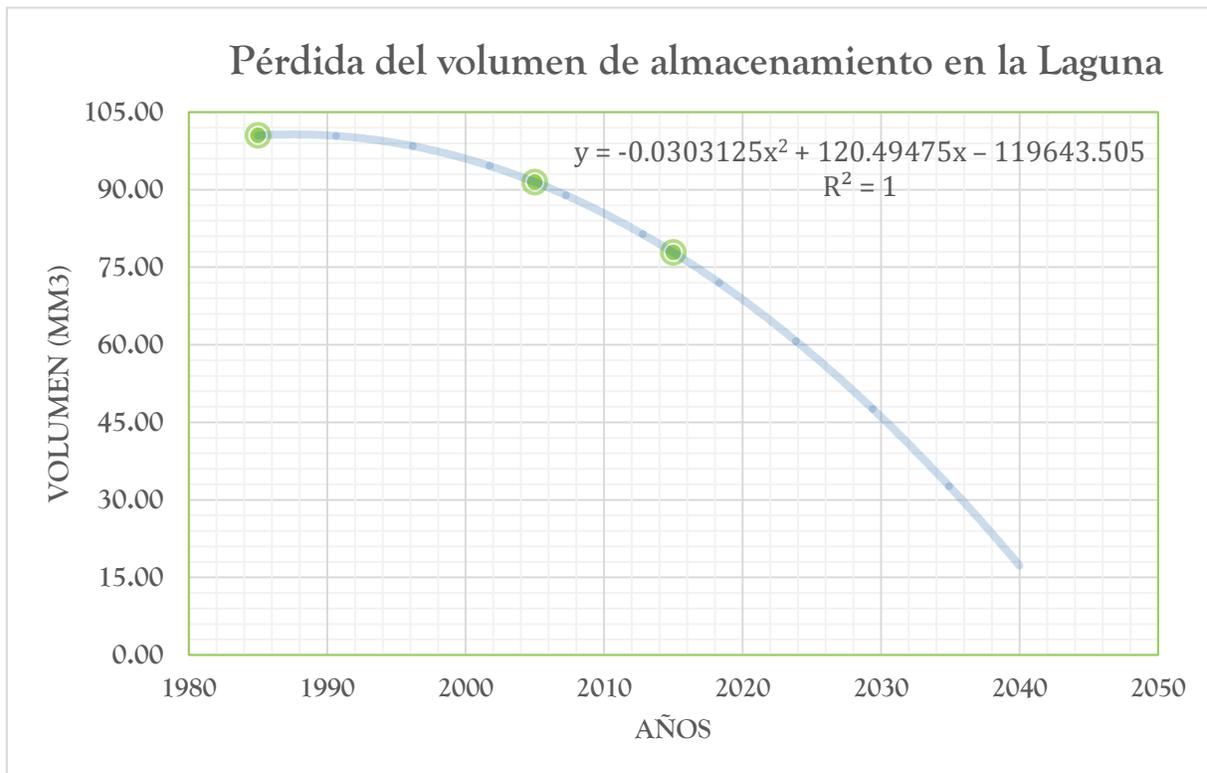


Fig.26. Pérdida del volumen de almacenamiento en la Laguna de Tecocomulco, Hgo.



La función que explica la pérdida del volumen de agua es la siguiente:

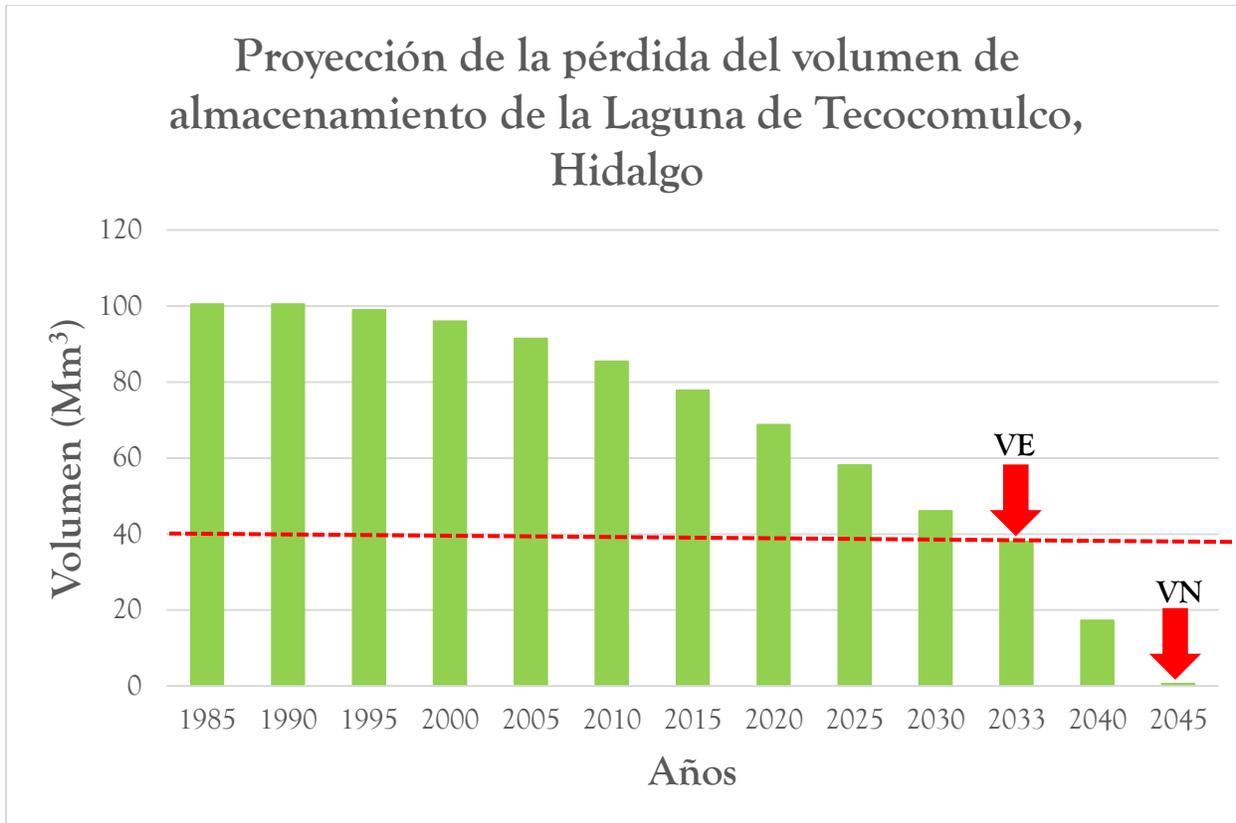
$$y = -0.0404x^2 + 160.87x - 159977 \dots\dots\dots(6.4)$$

Con la ecuación 6.4 y el programa de cálculo numérico, resulto que será hasta el año 2033, en el que la Laguna llegará al punto crítico para la conservación de las especies (volumen ecológico) y hasta el 2045 que la capacidad de agua contenida en la Laguna será nula, ver Tabla 14 y Fig. 26.



**Tabla 14.** Proyección de vida, volumen nulo en la Laguna de Tecocomulco, Hgo

Año	Capacidad de almacenamiento
1985	100.5
1990	100.52
1995	99.01
2000	96.00
2005	91.46
2010	85.41
2015	77.85
2020	68.77
2025	58.17
2030	46.06
<b>2033</b>	<b>38.06</b>
2040	17.29
<b>2045</b>	<b>0.63</b>



**Fig.27.** Pérdida de almacenamiento lineal de la Laguna de Tecocomulco, Hgo. VE: Volumen ecológico y VN: Volumen Nulo.

En esta investigación se estimó el volumen ecológico para las especies blanco, utilizando el factor profundidad como elemento principal para la estimación de dicho volumen. Sin embargo, los resultados se encuentran acotados a la disponibilidad de datos y publicaciones científicas de las especies, a ausencia de estudios *in situ* de la composición ecológica de la Laguna.

La metodología de esta investigación resulta basada en otras investigaciones, que se encuentran desarrollándose para entender los requerimientos ecológicos en humedales, estudios realizados con mayor recurso y temporalidad. Ésta definición, es relativamente nueva, por lo que esta investigación es una contribución al entendimiento de este concepto aplicado a un humedal de importancia RAMSAR, en México.



## 7. CONCLUSIONES.

El volumen de la Laguna de Tecocomulco del año 2015, obtenido mediante la función de Riemann, resultó ser de **77.24 Mm<sup>3</sup>**, lo que representa una disminución del 23.60% en la capacidad de almacenamiento en los últimos 30 años.

En cuanto la selección de las especies blanco, para realizar la estimación del volumen ecológico en la Laguna, se reportan un total de 301 *spp* (CONAGUA, 2012), incluyendo fauna y flora. Del total de estas especies, 12 resultan ser endémicas según la NMX (2010), 24 *spp* se encuentran amenazadas, sujetas a protección especial o en peligro de extinción y según la IUCN (2016), sólo una se encuentra en peligro crítico.

Sin embargo, para esta investigación resultó ser de particular interés, estimar el volumen ecológico de aquellas especies que viven dentro de la Laguna, en donde la dependencia del agua resulta condicionante, para su establecimiento. Siendo un total de 29 *spp* que cumplen con este requerimiento.

Del total de las especies anteriormente mencionadas, se dejaron de lado aquellas especies cuya información no estaba disponible en la literatura, como es el caso de: *Hyla arenicolor*, *Lithobates montezumae*, *L. pipiens*, *Spea multiplicata*, *Potamogeton filiformis*, *P. foliosus* y *Ranunculus aff dichotomus*.

Adicionalmente se dejaron de lado a las especies: *Schoenoplectus californicus* y *Ranunculus trichophyllus*, a pesar de la abundancia que presenta la primera especie y ser la segunda una hidrófita sumergida.



Por lo que da un total de 20 especies blanco para la Laguna. De las cuales, el volumen ecológico mínimo para la Laguna, resulto ser de **37.12 Mm<sup>3</sup>**, el cual corresponde al volumen de la especie que requiere mayor profundidad para su subsistencia.

Según la regla de decisión de la NMX (2012), la Cuenca de Tecocomulco, presenta presión “muy alta” en el uso del recurso hídrico, así como también, existe una importancia ecológica alta. Siendo la Laguna de Tecocomulco, un sitio de particular interés para el desarrollo de investigaciones que promuevan el aprovechamiento sustentable y ayuden a combatir el cambio climático.

De acuerdo a la proyección de vida útil ecológica de la Laguna, si no se establecen medidas para la conservación del humedal en el año **2033**, llegará al punto crítico en el que ya no se pueda garantizar la subsistencia de las especies blanco que en ella habitan. Y no será sino hasta el año **2045** llegará a un volumen de almacenamiento de agua nulo.

En esta investigación se evidencia la situación del deterioro de la Cuenca que pertenece la Laguna de Tecocomulco, como indicador principal, el valor alto de acarreo de sedimentos, lo que provoca el rápido azolvamiento de este humedal. La cual representa una de las muchas cuencas tributarias pertenecientes a México, que se encuentran en una situación similar de deterioro ambiental. Situación alarmante para el país.



## 8. RECOMENDACIONES.

Se recomienda extender esta investigación al desarrollo del concepto: “Requerimiento ecológico de agua en la Laguna de Tecocomulco, Hgo”. Sugiriendo la metodología propuesta por Cui *et al* (2009). En donde la relación entre humedales y el régimen de agua es utilizada para determinar el requisito de agua necesaria, para los objetivos de manejo. El método incluye estimar los requerimientos de agua necesarios para la vegetación en humedales, el hábitat y el suelo, formulando una propuesta integral de trabajo holístico.

Establecer un sistema de monitoreo sistematizado, de los cambios en los niveles de agua en la Laguna, basados en mediciones batimétricas en épocas representativas (época de estiaje y lluvias). Los cuales pueden ser realizados mediante la ayuda de percepción remota (Cifuentes *et al*, 2015; López *et al*, 2015; MAGRAMA y Tragsatec, 2011).

Realizar investigaciones para conocer íntegramente las propiedades de la Laguna de Tecocomulco. Estos estudios deberán ser enfocados para conocer: a) el estado de eutrofización del humedal, b) el estado ecológico actual y c) la calidad del agua.

Para el caso de los estudios enfocados a conocer el estado ecológico de la Laguna, se sugiere la medición periódica indicadores biológicos: a) Fitoplancton, b) Fitobentos, c) Macroinvertebrados (vertebrados bentónicos), d) Ictiofauna y e) Macrofitos, utilizando la metodología propuesta por la Confederación (2015).

Para los estudios enfocados a conocer la calidad del agua, se recomienda realizar los análisis descritos en la siguiente Tabla:

**Tabla 15.** Métodos propuestos para la caracterización de muestras de agua de la Laguna de Tecocomulco, Hgo.

Métodos recomendados	Normatividad
1. Determinación de sólidos y sales disueltas.	NMX-AA-034-SCFI-2015
2. Determinación de sólidos sedimentables.	NMX-AA-004-SCFI-2013
3. Determinación de conductividad electrolítica.	NMX-AA-093-SCFI-2001 (PROY-NMX-AA-093-SCFI-2009)
4. Determinación de grasas y aceites.	NMX-AA-005-SCFI-2013
5. Determinación de metales.	NMX-AA-051-SCFI-2001
6. Determinación de oxígeno disuelto (DBO).	NMX-AA-012-SCFI-2001
7. Determinación de demanda química de oxígeno (DQO).	NMX-AA-030/1-SCFI-2012
8. Determinación de bacterias coliformes.	NOM- 210-SSA1-2014
9. Medición de la Temperatura del agua.	NMX-AA-007-SCFI-2013
10. Determinación de pH.	NMX-AA-008-SCFI-2011
11. Determinación de color platino cobalto.	NMX-AA-045-SCFI-2001
12. Determinación de olor.	NMX-AA-083-1982

Realizar más obras de conservación de suelo y agua para la disminución del arrastre de sedimentos provenientes de las partes altas de la cuenca, realizar reforestación en las zonas más desertificadas, así como zonificar en la Laguna los sitios donde pudiese realizarse programas de desazolve.

Finalmente se sugiere reglamentar y sistematizar la forma de la medición de los niveles de agua ecológicos (Ecological Water Levels), tomando en cuenta los estudios realizados en otros países (Beca, 2008).



## 9. LITERATURA CITADA.

Aponte U. H. 2009. El junco: clasificación, biología y su gestión. *Científica* 6(1): 38-45.

Armas M., E. y Estepa, C., S. R. 2007. Informe ecológico regional caracterización ecológica en las lagunas para posible cautiverio del caiman llanero (*Crocodylus intermedius*). Pregrado: Programa de admisión por áreas del conocimiento. Universidad Nacional de Colombia-Sede Orinoquia, Arauca.

Barbier B.; E., Acreman, M. y Knowler, D. 1997. Valoración económica de los humedales: Guía para decisores y planificadores. Oficina de la comisión RAMSAR. Gland, Suiza.

Bautista-Hernández, C. E. 2008. Helmintofauna de un Goodeidae de la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México. Tesis de licenciatura en Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, 68 p.

[<http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/231104/215/1/Helmintofauna%20de%20un%20goodeidae.pdf>]

Baltazar L. Ma. de los A. Caudal ecológico en la cuenca del río Jamapa, Veracruz. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Irrigación. 2014. 96 pp.

Beca. 2008. Draft Guidelines for the selection of methods to determine ecological flows and water levels. Report prepared by Beca Infrastructure Ltd for Mfe. Wellington: Ministry for the Environment. 159 pgs.

Benavides, A.; Moreno, M.; Sosa, M.; Puga, S.; Soto, R. y Lebgue T. 2007. Evaluación de la calidad del agua en las principales Lagunas del Estado de Chihuahua. Memorias en extenso: IV Congreso Internacional y XII Nacional de Ciencias Ambientales.

Campos, L. 2012. Factores abióticos. Consulta online.

[<http://mluzcamposecologia.blogspot.mx/2012/02/factores-abioticos.html>]

Canadell, J.; Jackson, R.B.; Ehleringer, J. R.; Mooney, H.A.; Sala, O. E. y Schulze, E. D. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia* 108: 583-595 (1996Te).

Canseco M., L. y Gutiérrez M., M. G. 2010. Anfibios y Reptiles del Valle de Tehuacán-cuicatlán. Ed. CONABIO. Primera edición. México. 103 pgs.

CIDA. 2005. Planes de Gestión Integrada del Recurso Hídrico: Manual de capacitación y guía operacional. Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional. [Online: [http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM\\_Files/Manual%20Planes%20GIRH.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM_Files/Manual%20Planes%20GIRH.pdf)]



Cifuentes, V. J.; García, M. A.; Checa, M. J. y Escudero, R. 2015. Estimación por teledetección de la superficie de la lámina de agua y de los niveles de profundidad de las Lagunas en los humedales de la Campiña Andaluza Central incluidos en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir. Pgs. 322-325.

CCLT. 2008. Gaceta mensual. Informe Anual de Actividades 2007. Comisión de Cuenca de la Lago de Tecocomulco, A.C.

CCLT. 2011. Anual Enero-Diciembre 2011. CCLT. 51 págs.

CCLT. 2013. Gaceta Informativa: Principales Resultados Obtenidos en la cuenca durante el período 2012. Comisión de Cuenca de la Laguna de Tecocomulco, Hgo. Edición anual. No.6. 10 págs.

CCLT. 2013b. Estudio Proyecto para la Protección de una zona de Recarga Natural al Acuífero de Tecocomulco, Estado de Hidalgo. Comisión de Cuenca de la Laguna de Tecocomulco, A.C. 78 págs.

CONAGUA. 2007. Programa de Obras y Acciones para la Preservación de la Cuenca Tecocomulco, Hidalgo. Capítulos 1, 2, 3 y 4.

CONAGUA. 2009. Plan detallado de acciones para el manejo Integral de la Cuenca de la Laguna de Tecocomulco. Subdirección General de Programación Dirección Local Hidalgo.

CONAGUA. 2010. Norma Mexicana de Caudal Ecológico: Una política pública para la gestión del agua a través de la conservación del régimen hidrológico. Ed. World Wide Found.

CONAGUAb. 2012. Proyecto emblemático “Programa detallado de acciones para el manejo de la cuenca de la Laguna de Tecocomulco.

CONAGUA. 2013. Simulación Hidrológica de la Cuenca Laguna de Tecocomulco. Colegio de Postgraduados. Convenio Comisión Nacional del Agua y Colegio de Postgraduados, No. De colaboración SGIH-OCAVM-HGO-08-IH-448-RF-CC.

Confederación Hidrográfica del Ebro. 2015. Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva macro del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España.



Confederación Hidrográfica del Tajo. 2012. Valoración del estado ecológico en las Lagunas de la Cuenca Hidrográfica del Tajo (2008-2010). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España.

Confederación Hidrográfica del Tajo. 2013. Documento Auxiliar A05.8: Lagos y Humedales, Parte española del Tajo, propuesta del Proyecto del Plan Hídrico de Cuenca. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España.

CONANP. 2011. Programa de monitoreo de la Calidad de Agua: Estudio para monitorear los parámetros de calidad de agua de las lagunas comunicadas con el sistema lagunar Tepanocoapan. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

CONANP. 2016. Humedales en México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Consulta 28 abril del 2016. [Online: <http://ramsar.conanp.gob.mx/lsr.php>].

Convenio.2009. Proyecto emblemático: “Programa detallado de acciones para el manejo integral de la cuenca de la Laguna de Tecocomulco”. Colegio de Postgraduados, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua. Subdirección general de programación. Dirección Local Hidalgo. No. Convenio No. SGP-OCAVM-HAGO-08-CCA-461-RFCC.

Cunningham, W. P. y Woodworth Saigo, B. 1999. Environmental science: A global Concern. Ed. McGraw Hill. Quinta edición. USA. 650 pgs.

Delgadillo L., A. E. 2012. Determinación de parámetros fisicoquímicos, estado eutrófico y metales pesados de la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo; identificación de compuestos quelantes de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 174 págs.

DOF. 2006. NOM-050-PESC-2004: Pesca responsable en el embalse de la Laguna de Tecocomulco en el Estado de Hidalgo. Especificaciones para el aprovechamiento de los Recursos Pesqueros. Diario Oficial de la Federación. 10 pgs.

DOF. 2012. NMX-AA-159-SCFI-2012. Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. 123 pgs

Domínguez S. T. A. y Lomelí M. J. Determinación de Caudal Ecológico del Río Mezcalapa en base a la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 con consideraciones hidrológicas e hidráulicas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Irrigación. 2014. 353 pgs.



Dos S. A., Cano M. G. y Casco M. A. 2008. Contenido clorofílico del epifiton sobre *Scirpus californicus* en la Laguna la Rosita (Partido de Castelli). *Biología Acuática* 24: 149-156.

Eguía L. A.; Gómez B. Ma. A.; Saldaña F. P. 2007. Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México. IMTA-Alianza WWF/FGRA-PHI/UNESCO-Semarnat. Jiutepec, Morelos. 176 pp.

[<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/caudal-ecologico-01.pdf>]

Environment Canterbury. 2004. The MfE method for wetland classification and recording condition and pressure indicators. Chapter 7: Wetlands.

FAO. 2016. Programa de información de especies acuáticas: *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Consulta online:

[[http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Hypophthalmichthys\\_molitrix/es](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Hypophthalmichthys_molitrix/es)]

Finney, C. J.; Pettay, D. T.; Sampayo, E. M. Warner, M. E.; Oxenford, H. A. y LaJeunesse T. C. The relative significance of Host-Habitat, Depth and geography of the Ecology, Endemism, and Speciation of Coral endosymbionts in the genus *Symbiodinium*. *Microb Ecol* 60: 250-263 (2010).

FIR. 2003. Ficha informativa de los Humedales de Ramsar. Laguna de Tecocomulco. 10 pgs.

[[http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/FIR\\_RAMSAR/Hidalgo/Laguna%20de%20Tecocomulco/LAGO\\_DE\\_TECOCOMULCO\\_FIR.pdf](http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/FIR_RAMSAR/Hidalgo/Laguna%20de%20Tecocomulco/LAGO_DE_TECOCOMULCO_FIR.pdf)]

Froend, R.; Loomes, R.; Horwitz, P.; Bertuch, M.; Storey, A. y Bamford, M. 2004. Study of Ecological Water Requirements on the Gngangara and Jandakot Mounds under section 46 of the Environmental Protection Act. Edith Cowan University. Australia. 239 pgs.

Gallina T., S. y López G. C. 2011. Manual de técnicas para el estudio de la Fauna. Volumen I. Instituto de Ecología A.C. y Universidad Autónoma de Querétaro. 377 pp.

Gardens. 2015. *Ranunculus aquatilis*. Lilies wáter gardens. Consulta online.

[[www.lilieswatergardens.co.uk](http://www.lilieswatergardens.co.uk)]

Goicoechea, J. 2010. Zonificación de Actividades Económicas y Ambientales en el Lago de Tecocomulco. Organización Meteorológica Mundial. 39 págs.

Gómez M., J. L.; Peña M., B. y Guzmán S., J. L. 2013. Occurrence of the fish *Girardinichthys viviparous* (Cyprinodontiformes: Goodeidae) in a urban lake at Mexico City. *Cuadernos de investigación UNED* 5(1): 89-95.



González, Y. J.; Auró de O., A. y Anislao T., V. 2002. Evaluación del crecimiento de carpa común (*Cyprinus carpio*, var. *communis*) alimentada con cerdaza ensilada. *Vet. Méx.* 33(2): 109-118.

González V., R.; Sánchez C., J.; Bravo I., L. A.; Mijangos C., M.; Banderas T., A. G. 2015. Importancia del caudal ecológico para el manejo integrado de las cuencas y la mitigación de impactos: estudio de caso. Congreso Iberoamericano sobre sedimentos y ecología, Querétaro, México.

Gordon, E. y Pacheco, S. 2007. Prey composition in the carnivorous plants *Utricularia inflata* and *U. gibba* (Lentibulariaceae) from Paria Peninsula, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 55(3-4): 795-803.

Gorostizaga, J.C. 2016. Fundamentos de matemáticas, Cap. 11: Integrales dobles y triples. Escuela técnica superior de náutica y máquinas navales/Nautikako eta itsasontzi makinetako goi eskola teknikoa. Universidad del País Vasco. Online. [[http://www.ehu.eus/juancarlos.gorostizaga/mateII15/T\\_integrales23v/integrales23v.htm](http://www.ehu.eus/juancarlos.gorostizaga/mateII15/T_integrales23v/integrales23v.htm)]

GWG. 2016. Goodeid working group: *Girardinichthys viviparous*. Online. [<http://www.goodeidworkinggroup.com/Girardinichthys-viviparus>]

Han M.; Yangxiaoyan; Liuyuan y Duhuan. 2010. The Research progress of Ecological Water Requirement in China and Abroad. *Procedia Environmental Sciences* (2): 1904-1911.

Hawes, I. 2003. Water level fluctuation in Lake Rotoiti and their ecological implications. National Institute of Water and Atmospheric Research Ltd. New Zeland. Pgs. 7.

Hernández H. D. L. 2008. Helmintofauna de *Chirostoma jordani* Woolman, 1984 del Laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Área académica de Biología. Tesis de Licenciatura Biología. 77 pgs.

Hidalgo, Gobierno del Estado. 2007. Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular: Restauración Ecológica de la Laguna de Tecocomulco, Municipios de Tepeapulco, Apan y Cuautepec de Hinojosa, Estado de Hidalgo. 186 pgs



- Hudson, H. R.; Byrom, A. E.; Chadderton W. L. 2003. A critique of IFIM-instream habitat simulation in the New Zealand context. New Zealand Department of Conservation. Science for conservation 231. 689 pgs.69.
- Huizar Álvarez, R.; Campos Enríquez, O.; Mitre Salazar, L. M.; Alatríste Vilchis, D.; Méndez García, T. y Juárez Sánchez, F. 2001. Evaluación hidrogeológica de la subcuenca de Tecocomulco, Estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 18 (1): 55-73.
- Huizar Álvarez, R.; Jiménez Fernández, E. y Juárez López, C. 2005. La Laguna de Tecocomulco Geo-ecología de un desastre. Universidad Nacional Autónoma de México. Primera Edición. 236 págs.
- Hung M., Y.; Duc V., N.; Stauffer Jr., R. J. y Madsen, H. 2013. Use black carp (*Mylopharyngodon piceus*) in biological control of intermediate host snails of fish-borne zoonotic trematodes in nurse ponds in the Red River Delta, Vietnam.
- INEGI. 2016. Guía para la Interpretación de Cartografía Edafología. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.  
[<http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf>]
- IUNC. 2016. *Accipiter striatus*, Sharp-shinned Hawk. The IUCN Red List of threatened species.
- IUCNb. 2016. *Ambystoma mexicanum*, Axolotl. The IUCN Red List of threatened species.
- IUCNc. 2016. *Asio flammeus*, Short-eared Owl. The IUCN Red List of threatened species.
- IUCNd. 2016. *Bassariscus astutus*, Ringtail. The IUCN Red List of threatened species.
- Jiménez N. y Peña, L. M. 2007. Manual de creación de charcas para anfibios. Ed. Reforesta. Primera edición. Madrid, España. 64pgs.
- Jing-ling, L. y Zhi-feng, J. 2002. Ecological and environmental water demand of the lakes in the Haihe-Luanhe Basin of North China. *Journal of Environmental Sciences* 14 (2): 234-238.
- Jones F. T; Fearer T. M.; Thogmartin, W. E.; Thompson F. R; Nelson M. D y Tirpak J. M. 2011. Comparison of statistical and theoretical habitat models for conservation planning: the benefit of ensemble prediction. *Ecological Applications* 21(6): 2269-2282.
- Jun, X.; Hua-li, F.; Che-Sheng, Z. y Cun-Wen, N. 2006. Determination of Reasonable Percentage for ecological Water-Use in the Haihe River Basin, China. *Pedosphere* 16 (1): 33-42.



Laboratorios Tecnológicos de Levante, S.L para la Agencia Vasca del Agua. 2012. Red de seguimiento de los humedales interiores de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

[[http://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/documentacion/humedales\\_interiores\\_2012\\_2013/eu\\_doc/adjuntos/Informe%20Humedales\\_2012\\_2013\\_MEMORIA\\_URA.pdf](http://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/documentacion/humedales_interiores_2012_2013/eu_doc/adjuntos/Informe%20Humedales_2012_2013_MEMORIA_URA.pdf)]

Larsen A. J. 1980. The boreal ecosystem. The University of Winsconsin Madison. USA. 500pg.

Lanza E. G. y Gómez R. G. 2005. Analysis of short term geo-environmental evolution of an endorrreic basin using satellite images: the case of Tecocomulco Lagoon, Mexico. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.* 54:66- 79.

Lanza E. G.; Carbajal P. J. L. y Salinas R. S. A. 2014. Cálculo del flujo ambiental como sustento para la reserva de agua al ambiente del río Piaxtla, Sinaloa, México. *Boletín de Investigaciones Geográficas:*

Les, D. H.; Les; A. M. y King, U. M. 2015. *Najas flexilis* (Hydrocharitaceae) in Alaska a reassessment. *Rhodora* 117 (971): 354-370.

Lesser y Asociados. 2007. Sinópsis del Estudio Geohidrológico del Acuífero de Tecocomulco, Hgo. 36 pgs.

Li Li, J. y Hong X., Z. 2002. Environmental and ecological water requirements of a river system: a case study of the Ha

Lijuan, L.; Jui, L.; Yumei, L. 2009. Method for calculating ecological water storage and ecological water requirement of marsh. *Journal of Geographical Sciences* 19: 427-436.

Liu, J. L.y Yang, Z. F. 2002. Ecological and environmental water demand of the lakes in the Haihe-Luanhe Basin of North China. *Journal of Environmental Sciences* 14(2): 234-238.

Lindberg T., T. y Einarsson, A. 2004. Dispersion of the horned grebe *Podiceps auritus* (L.) (Aves) on Lake Myvatn, Iceland, in late summer. *Aquatic Ecology* 38: 309-315.

López Y., M.; Belmonte S. I.; M.; Ladrón G., M. A. y Serrano G., S. J. 2015. Batimetría del sistema lagunar Huave, Itsmo de Tehuantepec, México, mediante percepción remota. Congreso Iberoamericano sobre sedimentos y ecología, Querétaro, Querétaro. México.



[<http://atl.org.mx/isi-lac/images/1er-congreso/articulos/batimetria-del-sistema-lagunar-huave-istmo-de-tehuantepec-mexico-mediante-percepcion-remota.pdf>]

Lot, H. A. 2005. Vegetación Acuática de la Laguna de Tecocomulco. En Huizar A. R., Jiménez F. E. y Juárez L. C. Universidad Autónoma de México, *Laguna de Tecocomulco: Geo-ecología de un desastre (141-145)*. México, D.F.

MacAnreus L., T. 2005. A study in Early Village-Based Society and Long-Term Cultural Evolution in the South-Central Andean Altiplano. University of Pittsburgh Memoirs in Latin America Archaeology No. 15.

Madrigal, X.; Novelo, A. y Chacón, A. 2004. Flora y vegetación acuáticas del lago de Zirahuén, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana* 68: 1-38.

MAGRAMA. 2013. Protocolo de muestreo de otro tipo de flora acuática (Macrófitos) en lagos. 38pgs.

MAGRAMA. 2016. Conceptos y métodos sobre el régimen de los caudales ecológicos. Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Gobierno de España. 36 pgs.

[<http://www.chojajo.es/Informacion%20Ciudadano/Publicaciones/Documents/Cuadernoeol.pdf>]

MAGRAMA y Tragsatec. 2011. Determinación mediante técnicas de teledetección de niveles y superficie inundada de humedales incluidos en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir.

[[http://www.chguadalquivir.es/documents/10182/41541/Informe\\_Tecnico\\_Lagunas.pdf/4222ad2b-ea69-41ab-8caa-769645049a08](http://www.chguadalquivir.es/documents/10182/41541/Informe_Tecnico_Lagunas.pdf/4222ad2b-ea69-41ab-8caa-769645049a08)]

Martínez P. J. 2011. Actores clave en la consolidación de la base social: Cuenca de Tecocomulco. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

[[http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2011\\_cnch2\\_cco\\_jmartinez.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2011_cnch2_cco_jmartinez.pdf)]

Martínez Z. L. M. 2012. Determinación de caudales ambientales para ríos de la cuenca del río San Juan (México) mediante la aplicación de métodos hidrológicos. Tesis Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Civil. 231 pgs.

[<http://eprints.uanl.mx/3058/1/1080224592.pdf>]

Martínez N., J. D. 2016. Consulta a especialista Físico-Matemático.

McKinney, M. L., Schoch, R. M. y Yonavjak, L. 2007. Environmental Science: Systems and Solutions. Ed. Jones and Barlett. Cuarta edición. USA. 642 pgs.



Mena G., H. y Servín Z., E. 2014. Manual básico para el cuidado en cautiverio del axolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*). Ed. Universidad Autónoma de México: Instituto de biología. México D.F. Primera edición. 34 pgs.

[[http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/manual\\_axolotes.pdf](http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/manual_axolotes.pdf)]

Mhhe. 2002. Double Integrals. McGraw-Hills Companies, Inc.

[[http://www.mhhe.com/math/calc/smithminton2e/cd/folder\\_structure/text/chap13/section01.htm](http://www.mhhe.com/math/calc/smithminton2e/cd/folder_structure/text/chap13/section01.htm)]

Miranda, R.; Galicia, D.; Pulido F., G. y Monks, S. 2008. Análisis Poblacional de los peces de la Laguna de Tecocomulco. Research Gate.

[[http://www.researchgate.net/publication/209827917\\_Analisis\\_poblacional\\_de\\_los\\_peces\\_de\\_Lago\\_Tecocomulco](http://www.researchgate.net/publication/209827917_Analisis_poblacional_de_los_peces_de_Lago_Tecocomulco)]

Miranda, R.; Galicia, D.; Pulido F., G. y Monks, S. 2008b. First record of *Girardinichthys viviparus* in Lake Tecocomulco, Mexico. Journal of Fish Biology (73): 317-322.

Monks, S; Pulido F, G.; Bautista H., C. E.; Alemán G., B; Falcón O., J y Gaytán O., J. C. 2013. El uso de helmintos parásitos como bioindicadores en la evaluación de la calidad del agua: Laguna de Tecocomulco vs Laguna de Metztlán, Hidalgo, México. Estudios científicos en el Estado de Hidalgo y zonas aledañas. Vol II. Pgs 25-34.

[<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1005&context=hidalgo>]

Moya, N.; Gibon, F. M.; Oberdoff, T.; Rosales, C. y Domínguez E. Comparación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos intermitentes y permanentes del atilplano Boliviano: Implicaciones para el futuro cambio climático. *Ecología aplicada* 8 (2): 2009.

Naturalista. 2016. Ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*). Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. Consulta online.

[<http://naturalista.conabio.gob.mx/taxa/26777-Ambystoma-mexicanum>]

Naturalistab. 2016. Ajolote del atlipano (*Ambystoma velasci*). Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. Consulta online.

[<http://naturalista.conabio.gob.mx/taxa/26723-Ambystoma-velasci>]

Naturalistac. 2016. Pato de collar (*Anas platyrhynchos*). Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. Consulta online.

[<http://conabio.inaturalist.org/taxa/6930-Anas-platyrhynchos>]



Naturalistad. 2016. Rana Leopardo de Moctezuma (*Lithobates montezumae*). Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. Consulta online.

[<http://conabio.inaturalist.org/taxa/65996-Lithobates-montezumae>]

Naturalistae. 2016. Culebra sorda mexicana (*Pituophis deppei*). Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. Consulta online.

[<http://conabio.inaturalist.org/taxa/29038-Pituophis-deppei>]

Naturalistaf. 2016. Rascón picudo (*Rallus longirostris*). Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. Consulta online.

[<http://conabio.inaturalist.org/taxa/221-Rallus-longirostris>]

Naturalistag. 2016. Zampullín macacito (*Tachybaptus dominicus*). Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. Consulta online.

[<http://naturalista.conabio.gob.mx/taxa/4239-Tachybaptus-dominicus>]

Naturalistah. 2016. Avetoro norteño (*Botaurus lentiginosus*). Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. Consulta online.

[<http://naturalista.conabio.gob.mx/taxa/5034-Botaurus-lentiginosus>]

Naturalistai. 2016. Carpas: *Ctenopharyngodon idellus*. Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. Consulta online.

[<http://www.naturalista.mx/taxa/410582-Ctenopharyngodon-idellus>]

Navarrete, S. N.; Contreras, R. G.; Elías, F. G.; Rojas, B. M. L. Situación de *Girardinichthys viviparus* (especie amenazada) en los Lagos de Chapultepec, Zumpango y Requena. Rev. Zool. 15: 1-6 pgs.

NMX-AA.159-SCFI-2012. Norma Mexicana que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas.

[<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-159-SCFI-2012.pdf>]

Palomino C. D. y Cabrera C. C. 2008. Estimación del servicio ambiental de captura del CO<sub>2</sub> en la flora de los humedales de Puerto Viejo. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG 10(20): 49-50.

[<http://www.humedaldebato.co.cl/portal/images/documentos/codos.pdf>].

Palma R. M. L. 2013. Determinación del caudal ecológico: impacto económico en el usuario agrícola de la cuenca del río Yautepec, Estado de Morelos. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados. Postgrado en estrategias para el desarrollo agrícola regional. 129 pgs.



[[http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/10521/2208/1/Palma\\_Raymundo\\_ML\\_MC\\_EDAR\\_2013.pdf](http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/10521/2208/1/Palma_Raymundo_ML_MC_EDAR_2013.pdf)]

Palomino C., D. y Cabrera C., C. 2009. Estimación del Servicio Ambiental de captura del CO<sub>2</sub> en la flora de los humedales de Puerto Viejo. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG* 10(20): 49-59.

Pérez, J. 2016. Cálculo diferencial integral, Cap. 8: Integral de Riemann. Universidad de Granada, departamento de Análisis Matemático. España.  
[[https://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/fchamizo/asignaturas/calc1inf1011/apj\\_perez/calculo\\_cap08.pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/fchamizo/asignaturas/calc1inf1011/apj_perez/calculo_cap08.pdf)]

Perú Ecológico. 2007. Tatora (*Scirpus californianus*). Uso sostenible del Recurso Natural. [[http://www.peruecologico.com.pe/flo\\_totora\\_2.htm](http://www.peruecologico.com.pe/flo_totora_2.htm)].

Plasencia F., J. M. 2006. Influencia de la profundidad sobre la distribución espacial y temporal de la biomasa en poblaciones de *Potamogeton illinoensis* Morong en acuatorios cubanos. *Polibotánica* 22: 79-88.

Peñuelas, J. y Comelles, M. 1984. Contribución al estudio de los briofitos acuáticos de Lagunas y Charcas de España. *Anales Jard. Bot. Madrid*. 40(2):325-334.

Pérez R., A. y Torres O. B., R. 1992. Geomorfología y batimetría del Lago de Catemaco, Veracruz, México. *Anales del Instituto del Mar y Limnología*. Universidad Autónoma de México.  
[<http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1992-1/articulo400.html>]

Peters, J. J. 2008. Recuperación Ambiental de la Laguna de Tecocomulco. Organización Meteorológica Mundial. 46 págs.

Quiroz, F.; Ramírez G., P. y Lot H., A. 2014. Variación anual de la biomasa de *Nymphoides fallax ornduff* (Menyanthaceae) en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México. *Polibotánica* 37: 93-108.

Rawson, D. S. 1952. Mean depth and fish production of Large Lakes. *Ecology* 33(4): 513-521. [<http://www.jstor.org/stable/1931525>]

Riojas L., M. E. y Mellink, E. 2006. Herpetofauna del rancho las Papas, Jalisco, Llanuras de Ojuelos-Aguascalientes, México. *Acta Zoológica Mexicana* 22 (3): 85-94.



Rivera G., N. E. 2008. Variación espacio temporal de los parámetros fisicoquímicos, biológicos y de la distribución de los pastos marinos en la Laguna de la Mancha. Instituto de Ecología

Rodríguez T. S. 2012. Caracterización ambiental y determinación de caudal ecológico en la cuenca del Río Verde, Oaxaca. Tesis. Universidad Autónoma de México. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. Jiutepec, Morelos. 125 pgs.

[<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5071/Tesis.pdf?sequence=1>]

Sabaj, V. 2011. Extracción de “juncos” *Schoenoplectus californicus* en el Área protegida humedales del Santa Lucía (Uruguay): contexto ecológico, socioespacial y perspectivas de manejo sustentable. Tesis de maestría en ciencias ambientales. Facultad de Ciencias. Universidad de la Republica de Uruguay. Facultad de Ciencias, Sección Limnología.

[[http://www.puertasabiertas.com.uy/galeria%20de%20fotos/junqueros\\_redes/uy24-15287.pdf](http://www.puertasabiertas.com.uy/galeria%20de%20fotos/junqueros_redes/uy24-15287.pdf)]

Sánchez O, Herzig M., Peters E., Márquez R. y Zambrano L. 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, U.S. Fish and Wildlife Service, Unidos para la Conservación, A.C. y Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. 287 pgs.

Santacruz de L. G. y Aguilar R. M. 2009. Estimación de caudales ecológicos en el Río Valles con el método Tennant. Hidrobiológica. 19 (1): 25-32.

[<http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v19n1/v19n1a4.pdf>]

Santacruz de L. G. 2010. Variación cronoespacial de los caudales ecológicos en la cuenca del río Valles, México. Aqua-LAC 2(1): 26-36.

Schamberger, Mel y Krohn, William B. Status of the Habitat Evaluation Procedures. US Fish and Wildlife Publications. 48:154-164 (1982).

SEMARNAT. 2014. Ríos libres y vivos, introducción al caudal ecológico y reservas de agua. Primera edición. México. 48 pps.

Spencer, D.F. y Ksander, G. G. 2016. Root size and depth distributions for three species of submersed aquatic plants grow alone or in mixtures: evidence for nutrient competition. University

Spivak, M. 1992. Cálculo infinitesimal. Ed. Reverté, S.A. Universidad de Brandeis. México. 920 pgs.



Toro C., D.R.; Jaramillo S., M. T.; Ocampo S., D. M.; Correa, M. R. y Salgado, P. A. 2010. Boletín científico centro de museos museo de historia natural. 16 (2): 23-38.

Valencia H. R., Valencia H. J., Padilla C. R., Olivares N. M., Hernández H. R. y Olivares N. M. Información adicional sobre la avifauna de Hidalgo, México. 2012. Huitzil 13(2): 95-103.

Vecchia, F. D.; Cuccato, F.; Rocca, N.; Larcher, W. y Rascio, N. 1999. Endodermis-like Sheaths in the Submerged Freshwater Macrophyte *Ranunculus trichophyllus* Chaix. *Annals of Botany* 83: 93-97.

Vt. 2015. Visita técnica: Entrevista al Consejo Cuenca de la Laguna de Tecocomulco, A.C.

Wersal, R. M.; Madsen, J.D.; Brock, R. M. y Patrick, D. G. 2006. Environmental factors affecting biomass and distribution of *Stuckenia pectinate* in the Heron Lake system, Minnesota, USA. *Wetlands* 26 (2): 313-321 pgs.

Wingfield, R. A; Murphy, K. J.; Hollingsworth, P.y Gaywood, M. J. 2004. The ecology of *Najas flexis*. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 017. ROAME.

Wikipedia. 2016. Integración Riemann. Fundación Wikimedia, Inc. Consulta Online. [[https://es.wikipedia.org/wiki/Integración\\_de\\_Riemann](https://es.wikipedia.org/wiki/Integración_de_Riemann)]

WWF. 2010. Caudal ecológico Salud al ambiente, agua para la gente. Ed. World Wildlife Found. Edición de Octubre. [[http://awsassets.panda.org/downloads/fs\\_caudal\\_ecologico.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/fs_caudal_ecologico.pdf)]

Zhong, P.; Yang, Z.; Cui, B. y Liu, J. 2008. Eco-environmental water demands for Baiyandian Wetland. *Front. Environ. Sci. Engin. China*. 2(1): 73-80.

Zohary T. y Ostrovsky I. Ecological impacts of excessive water level fluctuations in stratified freshwater lakes. *Inland Water* (2011) 1: 47-59.

Zoo. 2014. Un Zoo en casa. Capín dorado, goldfish (*Carassius auratus*) Consulta online: [<http://www.unzooencasa.com/2014/12/carpin-dorado-goldfish-carassius-auratus.html>]

## 10. ANEXO A. FLORA PRESENTE EN LA LAGUNA DE TECOCOMULCO, HGO.

**Tabla 1.** Especies vegetales presentes en la Laguna de Tecocomulco.

No.	Especie	Nombre común	Status	Observaciones	Asociación
1	<i>Acineta tuberosa*</i>		N.E.		Flora ficológica
2	<i>Anabaena spp.</i>	Cianobacteria	N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
3	<i>Anabaenopsis cf. circularis</i>	Cianobacteria	N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
4	<i>Aphanochaete repens</i>		N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
5	<i>Aphanothece spp</i>	Cianobacteria	N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
6	<i>Arthrospira spp.</i>	Cianobacteria	N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
7	<i>Azolla caroliniana</i>		N.E.		Hidrófitas libres flotadoras
8	<i>Calothrix epiphytica</i>	Cianobacteria	N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
9	<i>Carteria sp</i>		N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
10	<i>Chaetophora cf. Incrassata</i>		N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
11	<i>Chamaesiphon sp</i>	Cianobacteria	N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
12	<i>Chara sp</i>		N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
13	<i>Chlamydomonas sp</i>		N.E	Ocho especies	Flora ficológica
14	<i>Chlorogloea sp</i>	Cianobacteria	N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica

No.	Especie	Nombre común	Status	Observaciones	Asociación
15	<i>Closterium parvalum</i>		N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
16	<i>Closterium sp</i>		N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
17	<i>Coelastrum astroideum</i>		N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
18	<i>Coleochaete orbicularis</i>		N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
19	<i>Cosmarium sp</i>		N.E	Cinco especies	Flora ficológica
20	<i>Desmococcus olivaceus</i>		N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
21	<i>Elatine americana</i>		N.E.		Hidrofitas emergentes
22	<i>Elatine triandra</i>				Hidrofitas emergentes
23	<i>Follicularia sp</i>		N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
24	<i>Gleiterinema splendidum</i>	Cianobacteria	N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
25	<i>Golenkinia radiata</i>		N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
26	<i>Gonium pectorale</i>		N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
27	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>		N.E.		Hidrofitas de hojas flotantes
28	<i>Jaaginema sp</i>	Cianobacteria	N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
29	<i>Jaegeria glabra</i>		N.E.		Hidrofitas de hojas flotantes
30	<i>Jussiaea repens*</i>		N.E.		Hidrofitas emergentes
31	<i>Kirchneriella sp</i>		N.E	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
32	<i>Leiblenia epiphytica</i>	Cianobacteria	N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
33	<i>Lemna gibba</i>		N.E.		Hidrófitas libres flotadoras

No.	Especie	Nombre común	Status	Observaciones	Asociación
34	<i>Lemna perpusilla</i>				Hidrófitas libres flotadoras
35	<i>Leptodictyum riparium</i>			Musgo acuático	Hidrofitas sumergidas
36	<i>Lilaea scilloides*</i>		N.E.		Hidrofitas emergentes
37	<i>Lilaea subulata</i>				Hidrofitas emergentes
38	<i>Lilaeopsis schaffneriana</i>				Hidrofitas emergentes
39	<i>Limosella aquatica</i>		N.E. y Lc.		Hidrofitas emergentes
40	<i>Marsilea mexicana</i>		N.E.		Hidrofitas de hojas flotantes
41	<i>Meristemopedia cf. tenuisima</i>	Cianobacteria	N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
42	<i>Monoraphidium contortum</i>		N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
43	<i>Monoraphidium griffithii</i>		N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
44	<i>Mycrocystis sp.</i>	Cianobacteria	N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
45	<i>Najas flexilis</i>				Hidrofitas sumergidas
46	<i>Najas guadalupensis</i>	Lechuga de rana	N.E.		Hidrofitas sumergidas
47	<i>Nostoc sp</i>	Cianobacteria	N.E.		Flora ficológica
48	<i>Nymphoides fallax</i>		N.E.	Lirio, vistosas flores amarillas	Hidrofitas de hojas flotantes
49	<i>Oedogonium spp</i>		N.E.	Dos especies	Flora ficológica
50	<i>Oscillatotia limosa</i>	Cianobacteria	N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
51	<i>Persicaria amphibia</i>		N.E. y Lc**	<i>Polygonum amphibium*</i>	Hidrofitas emergentes
52	<i>Persicaria lapathifolia</i>		N.E y Lc**	Sinónimo: <i>Polygonum lapathifolium*</i>	Hidrofitas emergentes
53	<i>Persicaria punctata</i>	Chilillo, tamaiza, catay dulce, picantilla o canilla de pava	N.E.	Sinónimo: <i>Polygonum punctatum*</i>	Hidrofitas emergentes
54	<i>Phormidium spp.</i>	Cianobacteria	N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica



No.	Especie	Nombre común	Status	Observaciones	Asociación
55	<i>Planktolyngbya spp</i>	Cianobacteria	N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
56	<i>Plantktothrix agardhii</i>	Cianobacteria	N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
57	<i>Podophryra fixa*</i>		N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
58	<i>Potamogeton filiformis</i>		N.E.		Hidrofitas sumergidas
59	<i>Potamogenton illinoensis*</i>		N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Hidrofitas sumergidas
60	<i>Potamogenton nodosus*</i>		N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Hidrofitas sumergidas
61	<i>Potamogeton foliosus</i>		N.E.		Hidrofitas sumergidas
62	<i>Potamogeton illinoensis</i>				Hidrofitas de hojas flotantes
63	<i>Potamogeton nodosus</i>				Hidrofitas de hojas flotantes
64	<i>Pseudanabaena sp.</i>	Cianobacteria	N.E.		Flora ficológica
65	<i>Ranunculus aff dichotomus</i>				Hidrofitas sumergidas
66	<i>Ranunculus aquatilis</i>				Hidrofitas sumergidas
67	<i>Ranunculus trichophyllus*</i>		N.E. y Lc.		Hidrofitas sumergidas
68	<i>Ricciocarpus natans</i>	Hepática acuática	N.E.		Hidrofitas emergentes
69	<i>Ricciocarpus natans</i>		N.E.		Hidrófitas libres flotadoras
70	<i>Rumex verticillatus*</i>		N.E.		Hidrofitas emergentes
71	<i>Sagittaria demersa*</i>		N.E.		Hidrofitas emergentes
72	<i>Sagittaria macrophylla</i>		Endémica. N.E.	Endémica	Hidrofitas emergentes
73	<i>Schoenoplectus americanus*</i>	Totora o tule	N.E.		Hidrofitas emergentes
74	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Junco o totora	N.E.	Anteriormente <i>Scripus ssp</i>	Hidrofitas emergentes
75	<i>Snowella sp.</i>	Cianobacteria	N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
76	<i>Spirulina sp</i>	Cianobacteria	N.E.		Flora ficológica
77	<i>Stuckenia pectinata</i>		N.E. y Lc.	Sinonimia: <i>Potamogenton pectinatus</i>	Hidrofitas sumergidas

No.	Especie	Nombre común	Status	Observaciones	Asociación
78	<i>Tychonema sp</i>	Cianobacteria	N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
79	<i>Typha latifoliada*</i>		N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Hidrofitas emergentes
80	<i>Utricularia vulgaris</i>				Hidrofitas emergentes
81	<i>Utricularia gibba</i>				Hidrofitas emergentes
82	<i>Utricularia gibba</i>		N.E.		Hidrofitas sumergidas
83	<i>Utricularia vulgaris</i>		N.E.		Hidrofitas sumergidas
84	<i>Wolffia brasiliensis*</i>		N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Hidrófitas libres flotadoras
85	<i>Wolffia lingulata</i>		N.E.		Hidrófitas libres flotadoras
86	<i>Wolffia papulifera</i>				Hidrófitas libres flotadoras
87	<i>Wollea sp</i>	Cianobacteria	N.E.	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
88	<i>Woronichinia microcystoides</i>	Cianobacteria	N.E. Sinonimia: <i>Coelomoron microcystoides</i>	No se encontró el nombre en MOBOT	Flora ficológica
89	<i>Zannichellia palustris*</i>		N.E.		Hidrófitas libres flotadoras

**Fuente:** Retomado de Capítulo Flora y Fauna. CONAGUA, 2009. Modificado: Elaboración propia (2016).

N.E.: No enlistado en la NMX-ECOL-059-2010.

\*\*Lc: Preocupación menor. Check List of IUCN (Unión Internacional para la conservación para la Naturaleza).

### 11. ANEXO B. FAUNA PRESENTE EN LA LAGUNA DE TECOCOMULCO, HGO.

No.	Especie	Nombre común	Status	Uso	Clase
1	<i>Accipiter striatus</i> ***	Gavilán pecho rufo	Pr* y Lc**	Migratoria	Aves
2	<i>Acineta tuberosa</i> ***		N.E.		Protozoarios
3	<i>Actitis macularius</i> ***	Playero alzacolita	N.E. y Lc** NMBA: Sí	Migratoria	Aves
4	<i>Adopaeoides spp</i>	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia media.	Insecta
5	<i>Aechmorphus occidentalis</i> ***	Achichilique pico amarillo	N.E. y Lc** NMBA: Sí	Residente	Aves
6	<i>Aegiale spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia baja	Insecta
7	<i>Agelaius phoeniceus</i>	Tordo charretero	Lc**		Aves
8	<i>Agelaius phoeniceus</i> ***	Tordo sargento	Pr* y Lc**	Residente	Aves
9	<i>Agraulis spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia baja	Insecta
10	<i>Amazilia cyanocephala</i> ***	Colibrí corona azul	N.E.* y Lc**	Residente (no descrita para Tecocomulco)	Aves
11	<i>Ambystoma mexicanum</i>	Salamandra o ajolote	Endémica, P.*, Cr** Sinonímias: <i>A. edule</i> y <i>A. weismanni</i> .	Consumo de la población	Amphibia
12	<i>Ambystoma velasci</i>	Salamandra ajolote de tigre de meseta	Endémica, Pr.* y Lc**. Sinonímia: <i>A. triginum</i> .	Consumo de la población	Amphibia
13	<i>Anas acuta</i> ***	Pato golondrino, pato rabudo, pato rabilargo, pato pescuecilargo, pato de punta puntiaguda y pato de cola de gallo	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
14	<i>Anas crecca</i> ***	Cerceta de ala verde o cerceta común	N.E.* y Lc**		Aves
15	<i>Anas platyrhynchos diazi</i>	Pato mexicano	A* endémico y Lc**. Sinonímias: <i>Anas diazi</i> y <i>Anas novimexicana</i>	Migratoria	Aves
16	<i>Andrena spp</i> ***	Abeja	N.E.	Una especie. Frecuencia media.	Insecta
17	<i>Anicius spp</i> ***	Araña saltadora	N.E.	Abundancia media.	Insecta

No.	Especie	Nombre común	Status	Uso	Clase
18	<i>Anteus spp</i> **	Mariposas	N.E.	Una especie	Insecta
19	<i>Anthidium spp</i> **	Abeja	N.E.	Una especie. Frecuencia media	Insecta
20	<i>Anthophora spp</i> **	Abeja	N.E.	Dos especies. Frecuencia media.	Insecta
21	<i>Aphelocoma ultramarina</i> **	Chara pecho gris	N.E* y Lc**	Residente	Aves
22	<i>Apis spp</i> **	Abeja	N.E.	Una especie. Frecuencia alta.	Insecta
23	<i>Ardea alba</i>	Garzón blanco	Lc**. Sinonimia: <i>Casmerodius albus</i> , <i>Egretta alba</i> .	Ardeidae (garzas)	Aves
24	<i>Ardea herodias</i> **	Garza ceniza, garza morena, garza azul,	Pr* Endémica y Lc**		Aves
25	<i>Ascia spp.</i> **	Mariposas	N.E.	Una especie	Insecta
26	<i>Asio flammeus</i> **	Búho cuerno corto o tecolote	Pr* y Lc** NMBA: Sí	Residente (no descrita para Tecocomulco ni laguna)	Aves
27	<i>Athis heloiza</i> **	Zumbador mexicano	N.E* y Lc**	Residente	Aves
28	<i>Augochlorella spp</i> **	Abeja	N.E.	Una especie. Frecuencia media.	Insecta
29	<i>Aythya affinis</i> **	Porrón bola o pato boludo menor	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
30	<i>Aythya americana</i> **	Pato cabeza roja o Porrón americano	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
31	<i>Aythya collaris</i> **	Pato pico anillado	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
32	<i>Aythya marila</i> **	Pato boludo mayor	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
33	<i>Aythya valisineria</i> **	Pato coacoxtle	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
34	<i>Bassariscus astutus</i>	Cacomixtle norteño	Endémica, A.* y Lc**	Abundancia baja	Mammalia
35	<i>Beata spp.</i> **	Araña	N.E.	Abundancia media.	Insecta
36	<i>Bombus spp</i> **	Abeja	N.E.	Tres especies. Frecuencia media.	Insecta

No.	Especie	Nombre común	Status	Uso	Clase
37	<i>Botaurus lentiginosus</i>	Avetoro norteño, avetoro del Eje Neovolcánico	A* No endémica y Lc**	Migratoria	Aves
38	<i>Bubulcus ibis</i> ***	Garcilla bueyera, garza ganadera o garza boyera	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
39	<i>Buteo jamaicensis</i> ***	Aguililla o halcón de cola roja	Pr* y Lc**	Migratoria	Aves
40	<i>Butorides striata</i> ***	Garceta verde, garcita azulada	N.E.* sinonimia: <i>Butorides striatus</i> y Lc**	Residente. (No descrita en distribución México)	Aves
41	<i>Calidris bairdii</i> ***	Playero de Baird	N.E.* y Lc** NMBA: Sí	Migratoria	Aves
42	<i>Calidris minutilla</i>				Aves
43	<i>Calidris minutilla</i> ***	Playero	N.E.* y Lc** NMBA: Sí	Migratoria	Aves
44	<i>Callipepla squamata</i> ***	Codorniz escamosa	N.E* y Lc**	Residente (no registrada para Tecocomulco)	Aves
45	<i>Camptostoma imberbe</i> ***	Mosquero lampiño	N.E.* y Lc** NMBA: Sí	Residente	Aves
46	<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i> ***	Matraca del desierto	N.E* y Lc**	Residente	Aves
47	<i>Carpodacus mexicanus</i> ***	Pinzón de Guadalupe o Mexicano	P* Endémica y Lc**	Residente	Aves
48	<i>Casmero diusalbus</i>				Aves
49	<i>Catasticta sp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia baja.	Insecta
50	<i>Centris spp</i> ***	Abeja	N.E.	Una especie. Frecuencia baja.	Insecta
51	<i>Ceryle alcyon</i> ***	Martín gigante norteamericano	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
52	<i>Charadrius vociferus</i> ***	Chorlitejo colirrojo o chorlo tildío	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
53	<i>Chirostoma jordani</i>	Charal	N.E.		Peces
54	<i>Chlosyne spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Dos especies. Frecuencia baja.	Insecta
55	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa	N.E.		Peces

No.	Especie	Nombre común	Status	Uso	Clase
56	<i>Circus cyaneus</i> ***	Gavilán rastrero	N.E. y Lc**	Residente. Según la IUCN no registrado para México.	Aves
57	<i>Colaptes auratus</i> ***	Carpintero de pechera	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
58	<i>Colias spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Dos especies	Insecta
59	<i>Columbina inca</i> ***	Tórtola cola larga	N.E.* Sinonimia: <i>Scarfadella inca</i> y Lc**	Residente	Aves
60	<i>Conopsis lineata</i> ***	Culebra terrestre del centro	N.E. Sinónimia: <i>Toluca lineata</i>	Abundancia baja	Reptilia
61	<i>Copaeodes spp.</i>	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia Alta.	Insecta
62	<i>Cothurnia annulata</i> ***		N.E.		Protozoarios
63	<i>Crotalus triseriatus</i> ***	Víbora de cascabel	N.E. Lc**	Abundancia baja	Reptilia
64	<i>Cynthia spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia baja.	Insecta
65	<i>Cyrtonyx montezumae</i> ***	Codorniz Moctezuma, colín de Moctezuma, cicoreal, codorniz de arlequín o codorniz pinta	Pr* No endémica y Lc**	Residente	Aves
66	<i>Danaus spp</i> ***	Mariposas	<i>Danaus plexippus</i> (mariposa monarca). Pr.*. <i>Danaus cleophile</i> NT**	Una especie	Insecta
67	<i>Dendroica coronata</i> ***	Chipe coronado	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
68	<i>Diadasia spp</i> ***	Abeja	N.E.	Tres especies. Frecuencia Alta	Insecta
69	<i>Dianthidium spp</i> ***	Abeja	N.E.		Insecta
70	<i>Dione spp.</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia baja.	Insecta
71	<i>Diplocentrus keyserlingi</i> ***	Alacrán de campo	N.E.	Abundancia media.	Insecta
72	<i>Dives dives</i>	Tordo cantor	N.E.* y Lc**	Residente	Aves

No.	Especie	Nombre común	Status	Uso	Clase
73	<i>Dolichonyx oryzivorus</i>	Tordo arrocero		Migración (Valencia <i>et al</i> ,2012)	Aves
74	<i>Egretta caerulea</i> ***	Garceta azul	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
75	<i>Egretta tricolor</i> ***	Garceta tricolor	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
76	<i>Egretta tula</i>	Garcita blanca dedos amarillos, garceta piedorado	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
77	<i>Empidonax traillii</i>	Papamoscas Saucero o Mosquero Saucero	E* y Lc** NMBA: Sí	Migratorio	Aves
78	<i>Epistylis plicatilis</i> ***		N.E.		Protozoarios
79	<i>Eremophila alpestris</i> ***	Alondra cornuda	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
80	<i>Eulaema spp</i> ***	Abeja	N.E.	Una especie. Frecuencia baja.	Insecta
81	<i>Euptoieta spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia media.	Insecta
82	<i>Eurema spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie	Insecta
83	<i>Falco columbarius</i> ***	Halcón esmerejón	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
84	<i>Falco sparverius</i> ***	Cernícalo americano	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
85	<i>Fulica americana</i>	Gallaretas	N.E.* y Lc** NMBCA: Si	Residente	Aves
86	<i>Gallinula chloropus</i> ***	Gallinas de agua o carmelitas	N.E.* y Lc**	Migratoria, se reproducen entre los tulares. No descrita para México	Aves
87	<i>Geococcyx californianus</i> ***	Correcaminos norteño	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
88	<i>Girardinichthys viviparus</i>	Mexclapique	Endémica (NOM) y críticamente en peliro de extinción Check list IUCN	(Miranda <i>et al</i> , 2008b)	Peces
89	<i>Hemiargus spp</i> ***	Marpiposas	N.E.	Dos especies. Frecuencia alta.	Insecta
90	<i>Himantopus mexicanus</i> ***	Candelerero americano	N.E.* y Lc**	Residente	Aves

No.	Especie	Nombre común	Status	Uso	Clase
91	<i>Hirundo rūsica</i> ***	Golondrina tijereta	N.E*. y Lc**	Residente	Aves
92	<i>Holophrya reideri</i> ***		N.E.		Protozoarios
93	<i>Hyla arenicolor</i> ***	Rana	N.E. Lc**		Amphibia
94	<i>Hylephiiia spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia media.	Insecta
95	<i>Icterus cucullatus</i> ***	Calandria o turpial enmascarado	N.E.* y Lc**	Residente (parece que no hay registros para Hidalgo)	Aves
96	<i>Icterus parisorum</i> ***	Calandria tunera	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
97	<i>Ixobrychus exilis</i>				Aves
98	<i>Junco phaeonotus</i> ***	Junco ojo de lumbre del Tacaná	Pr* Endémica y Lc**	Residente	Aves
99	<i>Lagenphrys lenticula</i> ***		N.E.		Protozoarios
100	<i>Lanius ludovicianus</i> ***	Alcaudón verdugo	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
101	<i>Larus delawarensis</i> ***	Gaviota pico anillado	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
102	<i>Lasioglossum spp</i> ***	Abeja	N.E.	Cuatro especies. Abundancia alta.	Insecta
103	<i>Latrodectus mactans</i> ***	Viuda negra, chintatlahua	N.E.	Abundancia media.	Insecta
104	<i>Leptophobia spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie	Insecta
105	<i>Lerema spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia baja.	Insecta
106	<i>Lithobates montezumae</i>	Rana de Moctezuma	Endémica y Pr.*. Lc** Sinonímia: <i>Rana montezumae</i>		Amphibia
107	<i>Lithobates pipiens</i>	Rana	N.E: Lc** Sinonímia <i>Rana pipiens</i>		Amphibia
108	<i>Mareca americana</i> ***	Silbón americano o pato chalcuán	N.E.* y Lc** Sinonímia: <i>Anas americana</i>		Aves
109	<i>Mareca strepera</i> ***	Pato friso o pinto	N.E.* y Lc** Sinonímica: <i>Anas strepera</i>	Migratoria	Aves
110	<i>Megachile spp</i> ***	Abeja	N.E.	Una especie. Abundancia baja.	Insecta

No.	Especie	Nombre común	Status	Uso	Clase
111	<i>Melissodes spp</i> ***	Abeja	N.E.	Cuatro especies. Abundancia media.	Insecta
112	<i>Melospiza melodia</i> ***	Gorrión cantor de Coronados	P* Endémica y Lc**	Residente	Aves
113	<i>Melozone fuscus</i> ***	Toquí pardo	N.E.* y Lc** Sinonimia: <i>Pipilo fuscus</i>	Residente	Aves
114	<i>Mimus polyglottos</i> ***	Centzontle nortño	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
115	<i>Misumena spp.</i> ***		N.E.	Abundancia media.	Insecta
116	<i>Molothrus aeneus</i> ***	Tordo ojo rojo	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
117	<i>Molothrus ater</i> ***	Tordo cabeza café	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
118	<i>Mustela frenata</i>	Mangosta			Aves
119	<i>Myiarchus cinerascens</i> ***	Papamoscas cenizo	N.E.* y Lc** NMBCA: Sí	Residente	Aves
120	<i>Nathalis spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie	Insecta
121	<i>Nodocion spp</i> ***	Araña	N.E.	Abundancia media.	Insecta
122	<i>Nycticorax nycticorax</i> ***	Pedrete corona negra o martinete común	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
123	<i>Nymphalis spp</i> ***	Mariposa	N.E.	Una especie. Frecuencia media.	Insecta
124	<i>Oxyura jamaicensis</i>	Pato tepalcate	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
125	<i>Papilio spp</i> ***	Mariposas	<i>Papilio esperanza</i> , Endémica. "La llamadora". A. Varios IUCN	Tres especies	Insecta
126	<i>Paramacera spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia media.	Insecta
127	<i>Passer domesticus</i> ***	Gorrión casero o domestico	N.E.* y Lc**	Introducida	Aves
128	<i>Passerculus sandwichensis</i> ***	Gorrión sabanero	A* Sinonimia: <i>Ammodramus sandwichensis</i> . No endémica y Lc**	Migratoria	Aves
129	<i>Pelecanus erythrorhynchos</i> ***	Pelícano blanco	N.E.* y Lc** NMBCA: Sí	Migratoria	Aves
130	<i>Peponapis spp</i> ***	Abeja	N.E.	Una especie. Frecuencia media.	Insecta

No.	Especie	Nombre común	Status	Uso	Clase
131	<i>Perdita spp</i> ***	Abeja	N.E.	Cinco especies. Frecuencia alta	Insecta
132	<i>Phalacrocorax brasilianus</i> ***	Cormorán oliváceo	N.E.* y Lc** Sinonímia: <i>Phalacrocorax olivaceus</i> NMBCA: Si	Migratoria	Aves
133	<i>Phalaropus lobatus</i> ***	Falaropo cuello rojo	N.E.* y Lc** NMBCA: Si.	Migratoria (no registrada para Tecocomulco)	Aves
134	<i>Pheucticus ludovicianus</i> ***	Picogordo pecho rosa	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
135	<i>Pheucticus melanocephalus</i> ***	Picogordo tigrillo	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
136	<i>Phoebis spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie	Insecta
137	<i>Pholisora spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia media.	Insecta
138	<i>Phrynosoma spp</i> ***	Lagartija espinosa	Seis especies mencionadas con algún tipo de conservación, la mayoría endémicas.* Lc**	Abundancia baja	Reptilia
139	<i>Picoides scalaris</i> ***	Carpintero mexicano	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
140	<i>Pieris spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Dos especies	Insecta
141	<i>Piruna spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia media.	Insecta
142	<i>Pituophis deppei</i> ***	Culebra sorda mexicana	Endémica y A.* Lc**	Abundancia baja	Reptilia
143	<i>Platycola decumbens</i> ***		N.E.		Protozoarios
144	<i>Plegadis chihi</i> ***	Ibis cara blanca	N.E.* y Lc** NMBCA: Sí	Migratorio	Aves
145	<i>Podiceps nigricollis</i> ***	Zambullidor orejudo	N.E.* y Lc** NMBCA: Sí	Migratoria	Aves
146	<i>Podilymbus podiceps</i> ***	Zambullidor pico grueso	N.E.* y Lc** NMBCA: Sí	Residente	Aves
147	<i>Polioptila caerulea</i> ***	Perlita azulgris	N.E.* y Lc** NMBCA: Sí	Migratoria	Aves
148	<i>Porzana carolina</i> ***	Polluela Sora	N.E.* y Lc** NMBCA: Sí	Migratorio	Aves
149	<i>Psaltiriparus minimus</i> ***	Sastrecillo o carbonera	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
150	<i>Pseudo vorticella monilata</i> ***		N.E.		Protozoarios
151	<i>Ptilogonys cinereus</i> ***	Capulinerio gris	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
152	<i>Ptilothrix spp</i> ***	Abeja	N.E.	Una especie. Abundancia media.	Insecta

No.	Especie	Nombre común	Status	Uso	Clase
153	<i>Pyrgus spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia baja.	Insecta
154	<i>Pyrocephalus rubinus</i> ***	Mosquero cardenal	N.E.* y Lc** NMBCA: Sí	Residente	Aves
155	<i>Quiscalus mexicanus</i>	Zanate	Lc**	120 especies 42 sp acuáticas (29 migratorias, 13 residentes), 78 sp terrestres	Aves
156	<i>Quiscalus mexicanus</i> ***	Zanate mayor	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
157	<i>Rallus limicola</i> ***	Rascón limícola	A* y Lc** NMBCA: Sí	Migratoria	Aves
158	<i>Rallus longirostris</i> ***	Rascón picudo	A* y Lc** NMBCA: Sí		Aves
159	<i>Recurvirostra americana</i> ***	Avoceta americana, candelero	N.E.* y Lc** NMBCA: Sí	Migratoria	Aves
160	<i>Rhabdostyla sp</i> ***		N.E.		Protozoarios
161	<i>Sayornis saya</i> ***	Papamoscas llanero	N.E.* y Lc** NMBCA: Sí	Migratoria	Aves
162	<i>Sceloporus spinosus</i> ***	Lagartija espinosa	N.E.* y Lc**	Abundancia media	Reptilia
163	<i>Sceloporus spp</i> ***	Lagartija espinosa	Veintitres especies mencionadas con algún tipo de conservación, la mayoría endémicas.* Lc** (mayoría de las especies.	Abundancia media	Reptilia
164	<i>Scopodes spp.</i> ***	Coleoptero	N.E.	Abundancia baja.	Insecta
165	<i>Siproeta spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia baja.	Insecta
166	<i>Sosticus spp.</i> ***	Araña	N.E.	Abundancia media.	Insecta
167	<i>Spatula clypeata</i> ***	Cuchara común	N.E.* y Lc**. Sinonimia: <i>Anas clypeata</i>	Migratoria	Aves
168	<i>Spatula cyanoptera</i> ***	Cerceta canela	N.E.* y Lc** Sinonimia: <i>Anas cyanoptera</i>	Migratoria	Aves

No.	Especie	Nombre común	Status	Uso	Clase
169	<i>Spatula discors</i> ***	Cerceta de alas azules	Lc**. Sinonimia: <i>Anas discors</i>	Anatidae (patos)	Aves
170	<i>Spea multiplicata</i> ***	Rana de espuelas	N.E. Lc**		Amphibia
171	<i>Spermophilus mexicanus</i> ***	Motocle (ardilla)	N.E.* Endémico y Lc**	Abundancia baja	Mammalia
172	<i>Spermophilus variegatus</i> ***	Roedor (ardilla)	N.E.* y Lc**	Abundancia baja	Mammalia
173	<i>Spizella atrogulari</i> ***	Gorrión barba negra	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
174	<i>Spizella passerina</i> ***	Gorrión ceja blanca	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
175	<i>Stentor ingneus</i> ***		N.E.		Protozoarios
176	<i>Stentor roeselii</i> ***		N.E.		Protozoarios
177	<i>Stichotricha spp</i> ***		N.E.		Protozoarios
178	<i>Sylvilagus audubonii</i> ***	Conejo	N.E.* y Lc**	Abundancia baja	Mammalia
179	<i>Syntrichalonia spp</i> ***	Abeja	N.E.	Una especie. Frecuencia media.	Insecta
180	<i>Tachybaptus dominicus</i>	Zambullidor menor	Pr* y Lc**	Residente (no registrado en Tecocomulco).	Aves
181	<i>Tachycineta albilinea</i> ***	Golondrina manglera	N.E.* y Lc**	Residente (no registrado en Tecocomulco)	Aves
182	<i>Tetraloniella spp</i> ***	Abeja	N.E.	Una especie. Frecuencia baja.	Insecta
183	<i>Thecia spp</i> ***	Mariposas	N.E.	Una especie. Frecuencia baja.	Insecta
184	<i>Thryomanes bewickii</i> ***	Chivirín cola oscura	N.E.* y Lc**	Residente (registrado para la cuenca pero no en extensión en Laguna)	Aves
185	<i>Tokophrya fasciculata</i> ***		N.E.		Protozoarios
186	<i>Tomis spp</i> ***	Araña	N.E.	Abundancia media	Insecta
187	<i>Townsendiella spp</i> ***	Abeja	N.E.	Una especie. Abundancia rara.	Insecta

No.	Especie	Nombre común	Status	Uso	Clase
188	<i>Toxostoma curvirostre</i> ***	Cuitlacohe pico curvo	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
189	<i>Trachusa spp</i> ***	Abeja	N.E.	Una especie. Abundancia baja.	Insecta
190	<i>Tringa melanoleuca</i>				Aves
191	<i>Tringa melanoleuca</i> ***	Chorlo mayor de patas amarillas	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
192	<i>Tringa semipalmata</i> ***	Playero Pihuiuí	N.E.* y Lc** Sinonimia: <i>Catoptrophorus semipalmatus</i> NMBA: Sí	Migratorio (no descrito para Tecocomulco)	Aves
193	<i>Tringa solitaria</i>				Aves
194	<i>Tringa solitaria</i> ***	Playero solitario	N.E.* y Lc** NMBA: Sí	Migratoria	Aves
195	<i>Turdus migratorius</i> ***	Mirlo primavera	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
196	<i>Tyrannus vociferans</i> ***	Tirano gritón	N.E.* y Lc** NMBCA: Sí	Residente	Aves
197	<i>Tyto alba</i> ***	Lechuza de campanario	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
198	<i>Vaejovis nitidulus</i> ***	Alacrán de casa	N.E.	Abundancia media	Insecta
199	<i>Vaejovis punctatus</i> ***	Alacrán de campo	N.E.	Abundancia media	Insecta
200	<i>Vermivora ruficapilla</i> ***	Chipe de coronilla	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
201	<i>Vireo bellii</i> ***	Vireo de Bell	N.E.* y NT** NMBCA: Sí	Migratoria	Aves
202	<i>Vorticella aquadulcis</i> ***		N.E.		Protozoarios
203	<i>Vorticella campánula</i> ***		N.E.		Protozoarios
204	<i>Vorticella microstoma</i> ***		N.E.		Protozoarios
205	<i>Vorticella octava-komplex</i> ***		N.E.		Protozoarios
206	<i>Wilsonia pusilla</i> ***	Chipe corona negra	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
207	<i>Xanthocephalus xanthocephalus</i> ***	Tordo cabeza amarilla	N.E.* y Lc**	Residente	Aves
208	<i>Zenaida asiática</i> ***	Paloma ala blanca	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
209	<i>Zenaida macroura</i>	Paloma huilota	N.E.* y Lc**	Migratoria	Aves
210	<i>Zonotrichia leucoophrys</i> ***	Gorrión corona blanca	N.E.* y Lc**	Residente	Aves

\*Según NOM-MX-ECOL-059-2010. A.= Amenazada; Pr.= Sujetas a protección especial. P.= En peligro de extinción.

\*\* Según el Check list of dangered species of IUCN. Lc: preocupación menor. NT.: Casi amenazada. Cr.: Peligro crítico.



No.	Especie	Nombre común	Status	Uso	Clase
-----	---------	--------------	--------	-----	-------

\*\*\* Capítulo Flora y Fauna.

Especies descritas de dudosa procedencia: Familia Lycaenidae, *Lentotes ssp.* Mariposas.

Abeja *Collete spp*, *Deltoptita spp* y *Pectinapis spp*.

Orden Araneaa: *Neon spp*, *Orozalotes spp*,

Réptil: *Canopis lineada* (lince), *Letophlops dulcis*



## 12. ANEXO C. PLANOS

# PLANOS