

Aplicaciones de un SIG para un Ordenamiento Territorial y Ecológico en la Cuenca de la Laguna de Cajititlán, Visto desde el Concepto de Riesgo y del Manejo de Cuencas / A GIS Applications for Land Planning and Ecological in the Basin of the Cajititlan Lake, Seen from the Concept of Risk and Watershed Management

M.C. Juan Luis Caro Becerra¹, Dra. Luz Adriana Vizcaíno Rodríguez², M. en C. Pedro Alonso Mayoral Ruiz³, M. en C. José Luis Reyes Barragán⁴

^{1, 2, 3, 4} Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Carretera Tlajomulco Santa Fe km. 3.5 # 595, Colonia: Lomas de Tejeda, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, C.P. 45640, (33)3040-99-10.

¹jcaro_becerra@hotmail.com, ²advizcaino7@gmail.com

Resumen:

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), han sido utilizados como herramientas para trabajar con datos georeferenciados con respecto a coordenadas espaciales o geográficas. La Laguna de Cajititlán, presenta condiciones críticas ocasionado por factores tales como: variabilidad en los niveles del embalse, nuevos desarrollos habitacionales, sobreexplotación de acuíferos, descarga de aguas residuales y otros. El objetivo fue construir un SIG que facilite el manejo de la Laguna de Cajititlán mediante una aplicación de internet, que cuente con datos fisiográficos y físico-químicos para ubicar fuentes de contaminación y diseñar un plan de Ordenamiento Territorial. La base de datos se efectuó con el programa QGIS 2.18 que fue de gran ayuda en el desarrollo de las aplicaciones donde se muestra la problemática de la cuenca con respecto a la escases de agua debido al abatimiento de los niveles estáticos. El análisis permitirá identificar zonas vulnerables que pueden ser afectados actualmente y a futuro.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, acuíferos, internet, contaminación, vulnerables.

Abstract:

Geographic Information System (GIS), have been used as tools for working with georeferenced data related to spatial or geographic coordinates. Cajititlan lake, presents critical condition caused by factors such as: reservoir level changes, variability in aquifers levels, new urban developments, wastewater discharges and others. The objective was to build a GIS to facilitate the management of Cajititlan lake through a web application, in addition to complementary physiographic and physico-chemical data to located sources of pollution and design a Land and Ecological Planning. Is used the software QGIS 2.18 that was of great help in the development of applications where is shows the problematic of the basin with respect to the shortage of water due to the abatement of them levels static. The analysis will identify vulnerable areas can be affected at present and in the future.

Keywords: Geographic Information System, aquifers, internet, pollution, vulnerable.

1. Introducción

La Laguna de Cajititlán se encuentra en su totalidad dentro del municipio de Tlajomulco de Zúñiga, ubicado en el estado de Jalisco, México, municipio que forma parte de la Zona Conurbada de Guadalajara (ZCG), se ubica en la porción media de la región central de ese estado, entre las coordenadas 20°28' de latitud norte y 103°27' de longitud oeste, a una altura media de 1,575 metros sobre el nivel del mar (msnm). Desde el punto de vista hidrológico, la Laguna de Cajititlán constituye el segundo embalse natural más importante del estado de Jalisco, ya que registra una longitud de 7.5 km, un ancho promedio de 2 km y una profundidad media de 2.5 m; su capacidad de almacenamiento se estima en 54 millones de m³ (CONAGUA, 2007) en un área de embalse de 1,700 ha a una altitud media de 1,551 metros sobre el nivel del mar (Chávez-Hernández, 2009).

La Laguna representa para los habitantes del municipio de Tlajomulco y sus alrededores (Figura 1 y 2) un símbolo de identidad y una importante fuente de ingresos, en particular para las poblaciones ribereñas, ya que de ella dependen actividades tales como turismo, recreación y pesca. Tal símbolo de identidad y fuente de ingresos se encuentra en riesgo de un severo daño y degradación, ya que son varios los factores que inciden negativamente en la conservación de la Laguna y su ecosistema, entre ellos se identifican los siguientes: creación de nuevos desarrollos habitacionales, sobreexplotación de acuíferos locales, descarga de aguas residuales y retornos agrícolas (Lujan-Godínez y Brena- Becerril, 2013).



Figura 1. Ribera de la laguna de Cajititlán

Fuente: www.tlajomulco.gob.mx

Entre las probables fuentes de contaminación de este cuerpo de agua las principales causas son: descargas de aguas residuales no tratadas o parcialmente tratadas, captación de retornos agrícolas, carencias de programas periódicos de limpieza y mantenimiento de la Laguna, insuficiente capacidad de tratamiento o probables fallas en la operación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) localizadas en los poblados

ribereños circunvecinos, así como de una carencia de cultura de protección al medio ambiente local (Ibid, 2013).

La cuenca de la Laguna de Cajititlán se encuentra asentada principalmente en un medio de origen volcánico tipo extrusivo, presenta variaciones climáticas que influyen en la presencia de numerosas comunidades vegetales dispuestas en tipos de suelos contrastantes. Como resultado, la biodiversidad de la cuenca es extensa, ofreciendo numerosos servicios ambientales a la población. Después de siglos de ocupación y manejo de los recursos naturales de la cuenca, son evidentes las alteraciones de sus condiciones originales, sin embargo aún quedan algunos cauces para su conservación y saneamiento cuyo estudio es indispensable en la búsqueda de su rehabilitación ambiental (López-Alcocer, 2002).

En lo que respecta a la perspectiva del manejo de cuencas, no solo se refiere al conocimiento, análisis y protección de los recursos hídricos, sino también involucra la capacidad de producción de los suelos, la vegetación, el relieve, el impacto de la población, así como la infraestructura civil para la producción sustentable de bienes y servicios. Desde esta perspectiva, las cuencas se convierten en unidades lógicas para la planeación y la gestión de los recursos naturales (Jiménez-Nava, 2002).

Desde el punto de vista técnico, un Sistema de Información Geográfica comprende varias etapas: captura de información, procesamiento, adaptación, corrección, generación de datos, consulta y producción de resultados (Espinoza-Sumaran, 2010). Un SIG en particular está diseñado para trabajar con datos georeferenciados con respecto a coordenadas espaciales o geográficas, es decir, un elemento ubicado en el espacio mediante un sistema de coordenadas, el cual es descrito por medio de atributos que permiten conocer su relación con respecto a otros elementos.

Actualmente los SIG son ampliamente utilizados como una herramienta de ayuda en la gestión y toma de decisiones en la mayoría de los sectores, siendo muy diversos sus campos de aplicación, por ejemplo una de las principales de aplicaciones de los SIG a nivel nacional es obtener información sobre la riqueza biológica con la que cuenta el territorio, así como su estado de conservación y distribución en un marco espacio-temporal.

Una de las funciones del SIG en el desarrollo del proyecto es integrar Información Geográfica Digital para el manejo de cuencas en la cuenca de la Laguna de Cajititlán, así como determinar zonas susceptibles a inundaciones, además de ampliar una plan de Ordenamiento Territorial y Ecológico para definir ubicación y densidades de población adecuadas, además de una infraestructura hidráulica necesaria para prevenir daños patrimoniales y de vidas humanas en la parte baja de la cuenca.

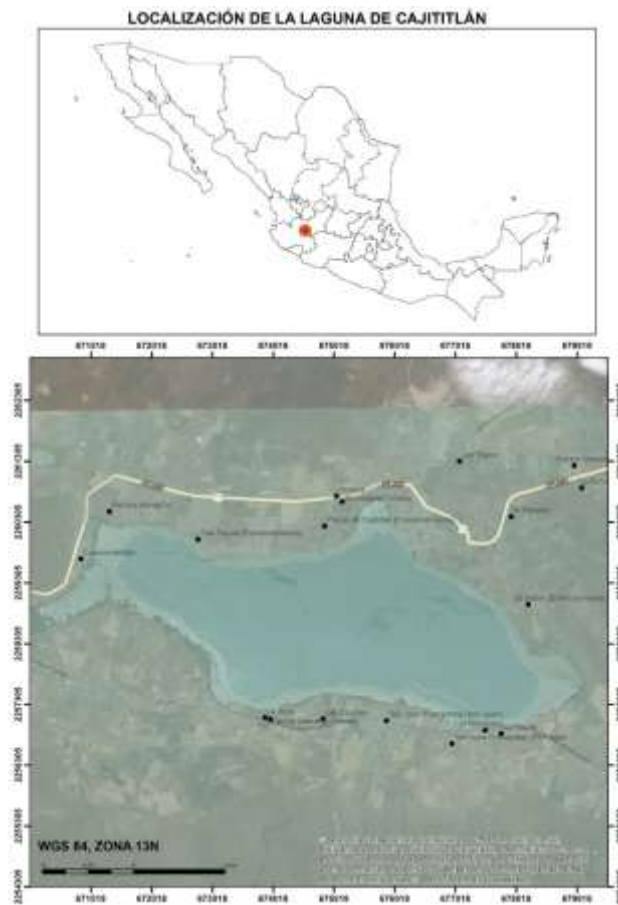


Figura 2. Localización de la Laguna de Cajititlán (Escala 1:50000), 20°25' W, 103°20' N.
Fuente: Caro-Becerra *et al*, 2015.

Nuestro SIG contará con datos adicionales (fisiográficos, físico-químicos, etc.) así como con la información sobre la ubicación de probables fuentes de contaminación, por lo que es posible hacer cruces de información por medio de capas: topografía, hidrología, cambio de uso de suelo, población y viviendas, esto con el fin de permitir una total precisión de la capacidad de los cauces, arroyos, presas y vasos de almacenamiento, y así evitar problemas de conducción de las aguas pluviales.

Desde el punto de vista geográfico, lo que interesa en este trabajo es tanto la planificación territorial que se cuenta dentro del territorio de la Laguna de Cajititlán, estableciendo los usos más apropiados para cada porción del territorio; ya que es una cuenca de alta complejidad de donde se extraen grandes cantidades del recurso hídrico, confiriéndole este hecho el carácter de una cuenca eminentemente urbana, además de que el acelerado crecimiento industrial desató otro fenómeno alarmante con el problema de la escasez del agua: el de la contaminación (Mc-Culligh, 2006).

La disponibilidad del recurso hídrico es prácticamente de origen subterráneo, ya que la cuenca se encuentra localizada en una región de clima seco la mayor parte del año, y los

meses de lluvia son de junio a septiembre, presentándose áreas en que la precipitación no llega a los 700 mm, lo que indica que los escurrimientos superficiales reducidos impacten en la cobertura de las necesidades de abastecimiento de agua potable y de buena calidad, definidas al realizar el balance hidrológico de aguas superficiales en dicha cuenca (CEA, 2013).

Esto se ha agravado debido a que el área se ha convertido en una zona crítica que ha experimentado un importante proceso de asentamientos de manufacturas y servicios industriales, lo que a su vez ha generado corredores de comercio y servicios vinculados a tales asentamientos, aunado a esto, se tiene un aumento considerable de la población, ya que el crecimiento poblacional de la cuenca ha sido extraordinario en los últimos 30 años, por ejemplo en 1970 la población alcanzaba los 5,000 habitantes, mientras que el 2010 alcanzaba cerca de los 30,000 habitantes (Mendoza-Pérez y Venegas-Herrera, 2003).

Cabe señalar que en la década de los noventas la población tuvo un incremento poblacional del 100%, -de hecho se tienen- ya urbanizados en forma definitiva 10,000 ha., pero existe el riesgo de que en pocos años esa superficie crezca a más del doble, según las autoridades actualmente en funciones de los cinco poblados que conforman dicha laguna (Ibid, 2013).

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un Sistema de Información Geográfica (SIG) estructurado que facilite el análisis y la evaluación de la problemática hidrológica y ambiental existente en la Laguna de Cajititlán y su cuenca, a partir de los datos almacenados mediante una aplicación de internet, determinando las zonas contaminadas y las zonas susceptibles a inundaciones con el objeto de detectar tanto problemas hidrológicos como ambientales, para llevar un plan de Ordenamiento Territorial y Ecológico para definir ubicación y densidades de población adecuadas, además de una infraestructura hidráulica necesaria para prevenir daños patrimoniales y de vidas humanas en la parte baja de la cuenca.

Para el desarrollo de este SIG se plantearon básicamente cuatro etapas, y consistieron en:

- Creación de la base de datos del SIG, con la finalidad de presentar un conjunto de herramientas para la adecuación de un SIG previamente existente en la laguna.
- Desarrollo del análisis geográfico y biológico, para contar tanto con datos fisiográficos como físico-químicos que nos permitieron identificar la ubicación de fuentes de contaminación, esto con el objeto de plantear propuestas de prevención y mitigación de desastres naturales.
- Análisis de muestreos físico-químicos para determinar niveles de varios parámetros de calidad del agua entre ellos: temperatura, sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica, pH, salinidad en la laguna, así como turbidez, esto con el objeto de detectar niveles contaminación en la laguna.

2. Desarrollo

Con el objeto de desplegar y realizar consultas espaciales y alfanuméricas mediante el uso de un SIG, se ha elegido a la cuenca de la Laguna de Cajititlán ubicada al sureste de la ZCG, la cual se distingue por sus características espaciales y ubicación, debido a que es objeto de una intensa actividad agrícola y esto ocasiona una fuerte presión sobre el recurso hídrico, ya que la cuenca se encuentra localizada en un clima seco la mayor parte del año.

En este trabajo se ha instrumentado un SIG que contiene elementos tradicionales como los dispositivos de medición y levantamiento, incluidos los receptores GPS, imágenes de fotogrametría e instrumentos geofísicos incorporando un elemento innovador que ayuda a utilizar todos los dispositivos de este sistema a través de internet, además de mostrar algunas características de los productos funcionales que se pueden desarrollar con estas herramientas para permitir la construcción del SIG en la Laguna de Cajititlán (SIGLC).

La información procesada como la elaboración de mapas temáticos elaborados, se relacionan con elementos de la infraestructura hidráulica de la cuenca, ubicación y registro de estaciones hidrométricas y climatológicas, subcuencas y red de drenaje, división estatal y municipal, vías de comunicación, presas, distritos de riego y actividades socioeconómicas. En la fase no geográfica del proceso de planificación se deben de establecer las metas de superficie que se deben de alcanzar en la región de estudio en cada uno de estos usos de suelos. Es decir determinar la cantidad de superficie que en la región se debe de destinar, para un nuevo uso residencial o un uso industrial. Para poder llevar a cabo de manera correcta dichos métodos, se calcula la capacidad acogida de cada “punto” del territorio para cada una de las actividades anteriores.

El concepto de “punto” del territorio varía en función del tipo de representación que se esté empleando en el proceso, y es equivalente al pixel de un SIG raster o a un polígono en un SIG vectorial.

La capacidad de acogida en cada punto depende, como se menciona, de dos cuestiones:

- a) La aptitud intrínseca del territorio (en ese punto).
- b) El impacto potencial que se puede producir en ese punto del territorio al situar allí dicha actividad.

La metodología a seguir consiste en la generación de imágenes de variables ambientales susceptibles para ser representadas espacialmente con el auxilio de procedimientos de interpolación espacial. Las variables estudiadas son:

- 1) Climáticas: precipitación evaporación y temperatura.
- 2) Hidrológicas: escurrimiento superficial.

2.1 Análisis hidrológico para 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de periodo de retorno (T_r)

El conocimiento de los efectos de una avenida a lo largo de un río, permite tener una base para tomar las medidas preventivas más convenientes, en caso de que se tenga la ocurrencia de algún evento hidrológico extraordinario que pueda ocasionar problemas por inundación debido al desbordamiento del cauce, de esta manera se tendrán los elementos necesarios para determinar las soluciones más adecuadas que mejoren el comportamiento hidráulico del río. Los resultados son el cálculo y diseño del Hidrograma que se presentan en el arroyo “*Los Sabinos*”, esto es para distintos períodos de retorno, así como para diferentes subcuencas en virtud de la ubicación de las zonas con evidencias de inundación.

El método consiste en determinar una altura de precipitación base, la cual está asociada a una duración de 1 h y período de retorno de 10 años. A partir de ésta se determina la altura de precipitación específica de la cuenca de estudio, para lo cual la precipitación base es afectada por 3 factores que están relacionados con la duración de la tormenta, el área de la cuenca y el período de retorno que se haya elegido para extrapolar los datos. Tales factores se estimaron después de varios análisis, cuya finalidad era establecer una relación congruente entre la cantidad de agua precipitada y los volúmenes de agua escurridos, su aplicación es parte de la bondad del método por lo que sus valores se han ordenado en un rango práctico, como se indica en la Tabla 1 y en la representación gráfica del Hidrograma Unitario Triangular (Gráfico 1).

2.2 Delimitación del parteaguas

Tanto el límite de la cuenca de estudio como las áreas urbanizadas A_u y no urbanizadas A_{nu} fueron extraídos con base en observaciones hechas durante visitas de campo y de las cartas topográficas (F13D75 y F13D76), escala 1:50000, (INEGI, 2000) esto con el objeto de contar con una mejor aproximación, así como para contrarrestar los resultados conseguidos de la imágenes Landsat. En la Figura 3 del anexo se muestra el resultado con base en la superficie altitudinal.

Para el área de la cuenca		Para el área de la cuenca		Para el periodo de retorno	
Duración de la tormenta	Factor recomendado	Área (km ²)	Factor recomendado	Periodo de retorno (años)	Factor recomendado
		1.00	1.00	2	0.67
0.50	0.79	10.00	0.98	5	0.88
1.00	1.00	20.00	0.96	10	1.00
2.00	1.20	50.00	0.92	25	1.15
8.00	1.48	100.00	0.88	50	1.25
24.00	1.50	200.00	0.82	100	1.38
		500.00	0.70		

Tabla 1. Factores para ajustar la precipitación de diseño.
Fuente: Gerencia Regional de Aguas del Valle de México (GRAVAMEX)



Figura 3. Altimetría de la cuenca de la laguna de Cajititlán (Escala 1:100000)
Fuente: Caro-Becerra *et al.*, 2015.

La aplicación del método es muy simple, pero se requiere calcular previamente algunos parámetros hidrológicos de la cuenca, básicamente el área de aportación (A_c), la longitud del cauce principal (L_c) y la pendiente equivalente del cauce principal (S). Por otro lado, también es necesario calcular previamente algunos parámetros de la avenida, tales como el tiempo de concentración (t_c), duración en exceso (d_e), el tiempo de retraso (t_r), el tiempo pico (t_p), el tiempo base (t_b) y el gasto pico (q_p). Estos parámetros se calculan con las ecuaciones que se indican a continuación:

$$t_c = 0.0003245 \left(\frac{L_c}{S^{0.5}} \right)^{0.77} \quad (1)$$

$$t_c = 0.0003245 \left(\frac{28017.85}{0.006383^{0.5}} \right)^{0.77} = 6.036 \text{ h}$$

Dónde:

t_c = Tiempo de concentración según Kirpich (h)

L_c = Longitud del cauce principal (m)

S = Pendiente del cauce principal (adimensional)

El siguiente paso tiene que ver con el cálculo de la precipitación de diseño, asociada a los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Una vez asignados los períodos de retorno a la precipitación de diseño, es necesario hacer extrapolaciones a partir de las precipitaciones máximas anuales registradas, pues rara vez el período de retorno designado para los análisis es menor al de los datos. Una vez calculada la precipitación de

diseño para los períodos propuestos, la actividad siguiente consiste en convertir la lámina de lluvia en escurrimiento (Ce) y el gasto pico unitario (qp), con base en los modelos que se indica a continuación:

$$qp = \frac{0.555 * Ac}{tb} \quad (2)$$

$$qp = \frac{0.555 * 303.198}{17.50} = 9.61 \text{ m}^3/\text{seg}/\text{mm}$$

$$Ce = \left(\frac{Cnu * Anu}{At} \right) + \left(\frac{0.45 * Iu * Au}{At} \right) \quad (3)$$

$$Ce = \left(\frac{0.15 * 33.53}{303.198} \right) + \left(\frac{0.45 * 0.80 * 269.846}{303.198} \right) = 0.3369$$

Dónde:

Coeficiente de escurrimiento en área de zona no urbanizada $Cnu = 0.15$

Índice de urbanización $Iu = 0.80$

Área de zona no urbanizada $Anu = 33.53 \text{ km}^2$

Área urbanizada $Au = 269.846 \text{ km}^2$

Área total de la cuenca de aportación $At = 303.198 \text{ km}^2$

Los coeficientes Cnu e Iu se determinaron con base en la experiencia de los estudios realizados en la cuenca de la Laguna de Cajititlán, (POETT, 2009) determinando para la zona de estudio valores conservadores de 0.15 y 0.80 respectivamente.

Sobre la base de esta Metodología se obtuvieron los siguientes resultados: morfología, hidrología densidades de población, hipsometría, etc.; donde se muestra la problemática de la cuenca respecto a la escases de agua debido al abatimiento del acuífero con respecto a los niveles estáticos del agua, además de compilar información tanto geográfica como cartográfica, para analizar las características fisiográficas de la cuenca con el objeto de calcular las avenidas máximas registradas que se generan en la cuenca de la Laguna de Cajititlán, ya que precisamente la construcción de nuestro SIG permitirá: la visualización, despliegue y consulta del humedal de la Laguna de Cajititlán.

Superficie

La superficie es considerada el parámetro fisiográfico más importante y se extrae por medio de planímetros, o a partir de la delimitación de mapas topográficos, y se calcula a través del uso de sistemas CAD (por sus siglas en ingles), el valor resultante fue de 303.198 km^2 .

Parteaguas

La longitud del parteaguas de la cuenca también fue obtenida por el uso del software AutoCad y el resultado fue de 81.30 km, donde se ilustra en la Figura 4 una perspectiva sombreada del relieve de las faldas del cerro Viejo.

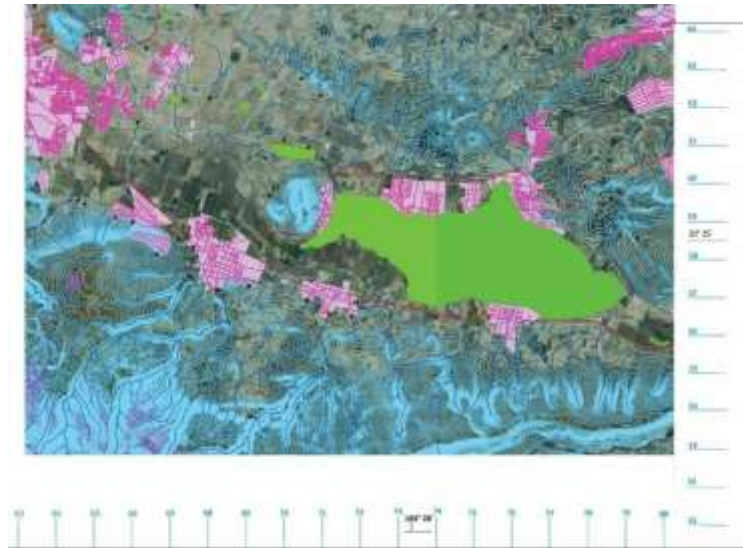


Figura 4. Visualización, despliegue y consulta del humedal de la laguna del humedal de la Laguna de Cajititlán, 20° 25'W, 103° 20'N
Fuente: Caro Becerra *et al.*, 2015.

Pendiente de la corriente principal

Es uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta (Aparicio-Mijares, 2007). Para obtener la pendiente media del cauce principal se aplica la fórmula de Taylor-Schwarz, con la cual se calcula una pendiente promedio del río, similar a la de un canal uniforme que tenga igual longitud y tiempo de viaje (Campos-Aranda, 1998) y se define con la siguiente ecuación:

$$S = \left(\frac{\sum_{i=1}^n l_i}{\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\sqrt{S_i}}} \right)^2 = \left(\frac{28017.85}{350681.019} \right)^2 = 0.006383 \quad (4)$$

La pendiente media de la subcuenca de la Laguna de Cajititlán es de 0.006383, lo que equivale a 0.06383 % respectivamente. Por otra parte, la ventaja de obtener los parámetros fisiográficos mediante un SIG es la cuantificación de tipo de cobertura vegetal, así como de la hipsometría de la cuenca como se muestra en la Tabla 3.

Cotas intervalo de clase (msnm)	Diferencia de cotas (m)	Distancia horizontal entre cotas li	Distancia horizontal acumulada (m)	Pendiente por segmento Si	Si ^{0.5}	Li/ Si ^{0.5}
2500-2000	50	174.97	174.97	0.2857	0.5345	327.3526
2000-1950	50	207.66	382.63	0.2407	0.4906	423.2776
1950-1900	50	187.22	569.85	0.2670	0.5167	362.3379
1900-1850	50	91.22	661.07	0.5481	0.7403	123.2203
1850-1800	50	552.75	1213.82	0.0904	0.3006	1838.822
1800-1750	50	5618.29	6832.11	0.00889	0.0942	59642.144
1750-1700	50	3743.36	10575.47	0.01335	0.1155	32410.043
1700-1650	50	4089.04	14664.51	0.01222	0.1105	37004.886
1650-1600	50	13353.34	28017.85	0.00374	0.0611	218548.936
		28017.85				350681.019

Tabla 3. Cuantificación de la pendiente equivalente por el método de Taylor-Schwarz
Fuente: Caro Becerra y col., 2014

3. Análisis de resultados

El desarrollo de la integración de la base de datos se realizó con el software ArcGis 10.0 (SIG, 2013), a partir de los cuales se logró un diseño completo que fueron la parte medular en el proyecto denominado. “Ordenamiento urbano y territorial visto desde el manejo de cuencas a través de un Ordenamiento Territorial y Ecológico visto desde el manejo de cuencas a través de un SIG, en la cuenca de la Laguna de Cajititlán” (Caro-Becerra y col. 2013). Logrando con ello un diseño completo, donde se planearon los modelos lógico, físico y conceptual que fueron de gran ayuda en el desarrollo de las aplicaciones.

La base del modelo lluvia-escorrentamiento y la metodología de generación de imágenes se obtuvieron los siguientes resultados: hidrología, cobertura vegetal, densidades de población e hipsometría; donde se muestra la problemática de la cuenca respecto a su escasas de agua debido al abatimiento del acuífero con respecto a los niveles estáticos de agua, obteniendo con ello mapas claros que reflejan el grado de sobreexplotación a la cual ha sido sometido el humedal de la Laguna de Cajititlán, además de compilar información tanto geográfica como cartográfica, para analizar las características fisiográficas de la cuenca con el objeto de calcular las avenidas máximas registradas que se generan en la cuenca de la Laguna de Cajititlán, ya que precisamente la construcción de nuestro SIG permitirá: la visualización, despliegue y consulta del humedal de la Laguna de Cajititlán.

Sobre la estructura de nuestro SIG hemos integrado datos base-cartografía-planimetría y orthofotos, con el objeto de actualizar subcuencas, microcuencas, así como el establecimiento de sitios de vertido, los resultados son los siguientes:

- Integración y estandarización e información base (vectorial y raster), esto con el objeto de facilitar la integración entre varios formatos, para proporcionar el manejo de información en varios niveles desde la visualización hasta el análisis más complejo.

- Actualización de subcuencas, microcuencas y establecimientos de sitios de vertido.
- Desarrollo de superficies generales de cuenca y subcuenca.
- Análisis de datos cuantitativos sobre los indicadores de población y vivienda en subcuencas.
- Análisis de usos de suelo de los diferentes planes vigentes a enero de 2016.

Los resultados de este trabajo indican que la laguna está en una situación crítica y en riesgo de sobrevivencia. Se identificaron 4 de los 7 criterios que cumple con las normas de la Convención Ramsar para clasificar la laguna como susceptible y declararlo como humedal de importancia. Se concluyó que reúne características físicas, hídricas, de biodiversidad, históricas, sociales y culturales tales que justifican acciones para su rehabilitación, conservación y manejo. Lograr declararlo como sitio Ramsar permitiría mejorar las condiciones ambientales, sociales, económicas y políticas del humedal y su cuenca.

De los trabajos previos anteriores nos indican en qué condiciones ambientales se encuentra la cuenca de la Laguna de Cajititlán, el objeto del análisis fisiográfico y físico-químico nos permite identificar en qué condiciones se encuentra la laguna debido a actividades como: la agricultura, conservación de suelos y drenaje. Tal como se señaló anteriormente la precipitación de la cuenca de la Laguna de Cajititlán se encuentra ampliamente diferenciada entre la época de estiaje y la época de lluvias.

Dado los extremos climáticos de la cuenca, la caracterización fisiográfica se modeló tanto para el período de estiaje como para el de lluvias donde fue necesario el apoyo de las estaciones climatológicas localizadas dentro o alrededor de la cuenca obteniendo como mínimo un registro histórico de 20 años consecutivos. La caracterización fisiográfica constituye un elemento fundamental para la conservación y uso sustentable de los recursos naturales así como la planeación regional del medio ambiente.

3.1 Discusión

La cuenca de la Laguna de Cajititlán representa un ecosistema de gran valor estratégico para el equilibrio ecológico dado sus características y funciones propias, además de su elevada productividad primaria es un sitio favorable para especies de flora y fauna en la región. No obstante su importancia, cada día es afectada por múltiples factores, principalmente antropogénicos que alteran los procesos y condiciones que en ellos tienen lugar, por lo que es de vital importancia su conservación y uso sostenible.

Actualmente la laguna sufre un severo proceso de deterioro agravado por factores antropogénicos tales como: crecimiento constante de la población, así como actividades económicas asociadas a nuevos desarrollos habitacionales, descargas continuas de aguas residuales, retornos agrícolas, cambios hidrológicos artificiales, por lo que se requieren acciones para mantener su existencia y vitalidad.

Tales condiciones motivaron a los pobladores de las localidades ribereñas a desarrollar acciones para rehabilitar y proteger el embalse mediante el apoyo de instituciones académicas y de investigación local y regional, además de la participación de organismos públicos municipales, estatales, federales e internacionales.

La Comisión Ambiental del Sistema Tecnológico del Estado de Jalisco (CASETEJ) formada por las Instituciones (Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Universidad de Guadalajara, Instituto Tecnológico de Tlajomulco, Instituto Superior Tecnológico de Zapopan) han realizado estudios para identificar acciones de rehabilitación y conservación de la laguna, entre ellas la declaración de la cuenca como área natural protegida y en un futuro la designación como sitio Ramsar y humedal de importancia.

Se realizaron estudios sobre características físicas del sitio y su región biogeográfica, geológica e hidrológica del área, calidad del agua, flora y fauna de la laguna y su cuenca, aspectos históricos, arqueológicos, sociales, culturales y turísticos. La descripción de las características del sitio incluyó la morfología, climatología de la región, hidrología, hidrometría y calidad del agua.

Las investigaciones sobre la flora regional comprendieron las características ecológicas del área, tipos de vegetación terrestre, acuáticas y semi-acuáticas, de acuerdo al estudio realizado por (Muraira-López, 2014) se han registrado 330 géneros y 530 especies distribuidas en 100 familias botánicas.

Asimismo la Dirección de Ecología Municipal y Medio Ambiente de Tlajomulco ha realizado estudios de Ordenamiento Ecológico, así como una auditoría ambiental de la región Cerro Viejo y Cajititlán, con el objeto de establecer en Cerro Viejo un área de conservación ecológica, el cual se engloba en el Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de Tlajomulco (POETT), elaborado por (Chávez-Hernández, 2009).

El Centro de Estudios Técnicos de las Aguas Continentales (CETAC) de acuerdo a los estudios de calidad del agua que se realizaron en las zonas del malecón de Cajititlán, Cuexcomatitlán, San Miguel Cuyutlán y San Juan Evangelista, los resultados revelaron la presencia de 24 000 partículas de coliformes fecales por cada 100 ml de agua; asimismo se contaba con un nivel cero de oxígeno disuelto en cada litro del embalse, 0.56 mg/l de nitrógeno amoniacal, 6 mg/l de nitrógeno de nitratos y 0.35 mg/l de fósforos totales, siendo este rubro el que muestra niveles más significativos de todo el cuerpo de agua.

Con lo diagnosticado en este primer muestreo de calidad del agua, el CETAC recomienda un mayor nivel de cloración del agua que ingresa al embalse para generar menor cantidad de coliformes en el cuerpo de agua y mayor oxigenación, la presencia de mayor cantidad de nitratos –que se mantienen entre 6 y 7 mg/l- mantiene un nivel bajo de nitrógeno amoniacal, esto se llevaría a cabo operando con regularidad las plantas de tratamiento de Tlajomulco.

Introducir métodos e instrumentos de análisis susceptibles nos ayudará a la toma de decisiones, que agilizarán la comprensión y la especialización de la misma. Para ello se implementarán sistemas de análisis que permitirán una correcta previsión y prospectiva para la toma de decisiones en la planificación urbana y territorial, con el objeto de cruzarlas y superponerlas para obtener presentaciones que se aproximen a las distribuciones espaciales y temporales (Pueyo-Campos 1991).

Los desastres naturales son difíciles de predecir y controlar, esto ocasiona daños a la infraestructura y economía de las localidades, por ejemplo inflación de precios en vivienda y alimentos por citar solo algunos. “El riesgo se configura con la relación entre amenaza y vulnerabilidad, términos interdependientes y directamente proporcionales” (Arenas y col., 2010). Por lo que se requiere integrar el enfoque de riesgo como una de las dimensiones contenidas en la estrategia de evitar desastres naturales relacionados con las sequías e inundaciones, ya que es necesario tratar transversalmente los siguientes ámbitos: asentamientos irregulares, medio ambiente y desarrollo sustentable.

4. Conclusiones

La necesidad de contar con un inventario de los recursos naturales en la cuenca de la Laguna de Cajititlán, y poder elaborar mapas territoriales correspondientes a suelo, cobertura vegetal, hidrografía, densidad de población, etc. plantea la conveniencia de desarrollar un Sistema de Información Geográfica específico para el área, integrado por tres subsistemas relativos a condiciones físicas, recursos naturales y asentamientos urbanos. La Laguna de Cajititlán reúne características propias de tal valor que es urgente y prioritario desarrollar acciones para su conservación para evitar su proceso de deterioro, ya que cumple con 4 de los criterios de la Convención Ramsar que lo considera como humedal de importancia internacional, puesto que la declaratoria de la Laguna como sitio Ramsar permitiría mejorar las condiciones ambientales, sociales y económicas. Las características fisiográficas de la cuenca, tales como: superficie, forma, relación de circularidad, elongación y pendientes, permiten concluir que es una cuenca de respuesta rápida a los eventos meteorológicos. Lo anterior indica la necesidad de desarrollar protocolos de protección a la población en donde se presenten eventos extremos de lluvia, y realizar estudios adicionales sobre riesgo por inundación.

Agradecimientos

Este artículo está dedicado al Ing. Enrique Solórzano Carrillo Rector de la UPZMG, Ing. Víctor Manuel Zamora Ramos Secretario académico también de la citada UPZMG, Dr. J. Guadalupe Michel Parra Presidente del Concejo de Cuenca Laguna de Zapotlán, Dr. Ramiro Lujan Godínez Secretario General del Concejo de Cuenca Laguna de Cajititlán y Arrollo Los Sabinos y en especial a Agroecólogo Felipe Iñiguez Pérez Coordinador de la Red de Cajititlán, por un lago vivo A.C. por sus enseñanzas y experiencias compartidas en defensa de las comunidades de la rivera de Cajititlán.

Referencias

Aparicio-Mijares F. J., (2007). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, (pp. 20). México, D.F.: LIMUSA, Noriega Editores.

Arenas F., Lagos M. e Hidalgo R. (2007). *Los riesgos naturales en la planificación territorial*. Santiago de Chile, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uc.cl/xmlui/bitstream/handle/123456789/1765/587388.pdf?sequence=1>. Fecha de consulta: 8 de marzo de 2013.

Breña-Puyol, A. F., Jacobo-Villa M. A. (2006), *Principios y fundamentos de la Hidrología Superficial*, (Pp. 38). México, D.F.: Editorial, Universidad Autónoma Metropolitana UAM.

Campos-Aranda, D. F., (19989, *Procesos del ciclo hidrológico*, (pp. 2-19). San Luis Potosí, México: Editorial, Universitaria Potosina.

Caro-Becerra, J. L., Lujan-Godínez, R. y Brena-Becerril. A., (2013). *Ordenamiento urbano y territorial visto desde el manejo de cuencas a través de un SIG, en la Laguna de Cajititlán, estado de Jalisco* (proyecto). [En línea]. Disponible en: <http://promep.sep.gob.mx/archivospdf/proyectos/Proyecto288162.PDF>. Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2013.

Chávez-Hernández A. (2009). *Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Municipio de Tlajomulco de Zúñiga POETT*. Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. [En línea]. Disponible en http://www.tlajomulco.gob.mx/sites/default/files/transparencia/planes/poel_completo.pdf. Fecha de consulta: 3 de noviembre del 2013.

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2007). *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Cajititlán, Estado de Jalisco*. México, D. F.

Espinoza-Sumaran, G. H. (2010), Ponencia: *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Ing. Civil*. Universidad Nacional “Hermilio Valdizan”, Región del Huánuco, Perú. [En línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/GERARDOHENRY/ponencia-sigok>. Fecha de consulta: 15 de julio del 2014.

H. Ayuntamiento de Tlajomulco de Zúñiga (2010): Programa Municipal de Desarrollo Urbano, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, Gaceta Municipal. . [En línea]. Disponible en: http://www.tlajomulco.gob.mx/sites/default/files/transparencia/planes/PMDU_TLAJOMULCO_2010_documento.pdf. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2015.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2000) Carta Topográfica F13D75, *Chapala*, escala 1:50000 y Carta Topográfica F13D76, *Jocotepec*, escala 1:50000. [En línea]. Disponible en:

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825270605>.

Fecha de consulta: 11 de enero de 2013.

[En línea]. Disponible en:

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825270612>.

Fecha de consulta: 26 de marzo de 2013.

Jiménez-Nava, F.J., (2002), Ponencia: *Integración digital para el manejo integral de cuencas. El caso de la cuenca: Lerma-Chapala-Santiago*, Congreso de Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica, Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional General de Sarmiento. [En línea].

Disponible en: <http://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos02-2/SRSIG02-2.pdf>

Fecha de consulta: 03 de julio del 2013.

López-Alcocer, E. (2002), Artículo: *Gran Potencial, la cuenca de Cajititlán*. Guadalajara Jalisco.: Gaceta Universitaria de la Universidad de Guadalajara. [En línea]. Disponible en:

<http://www.gaceta.udg.mx/Hemeroteca/paginas/122/9-122.pdf>. Fecha de consulta: 6 de marzo de 2013.

Lujan-Godínez R., Brena-Becerril A., Rodríguez-Vizcaíno L. A., (2013), Proyecto: *Diagnostico de la calidad del agua de la Laguna de Cajititlán, en Tlajomulco de Zúñiga, Guadalajara, México.*: Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Mc-Culligh C. (2006), *Respirar veneno en Juanacatlan y El Salto Jalisco*, Guadalajara, Jalisco.: Periódico: La Jornada, Suplemento: La Jornada Ecológica. [En línea]. Disponible en: [\[http://www.jornada.unam.mx/2006/09/25/eco-c.html\]](http://www.jornada.unam.mx/2006/09/25/eco-c.html).

Fecha de consulta: 13/julio/2013.

Mendoza-Pérez, C., Venegas-Herrera, A. C. (2003). *Desbordado crecimiento de la cuenca El Ahogado, Guadalajara, Jalisco*, Gaceta Universitaria de Guadalajara. [En línea]. Disponible en:

[\[http://www.gaceta.udg.mx/Hemeroteca/paginas/304/304-20.pdf\]](http://www.gaceta.udg.mx/Hemeroteca/paginas/304/304-20.pdf)

Fecha de consulta: 14 de mayo del 2013.

Mosiño, P. A. (1974). *Los climas de la República Mexicana*. En Zoltan de Cserna: El escenario geográfico (Pp. 57-172). México D.F.: Secretaría de Educación Pública, Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Muraira-López, I. (2014). *Herbario Virtual del Instituto Tecnológico de Tlajomulco*, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, Instituto Tecnológico de Tlajomulco ITTA. [En línea]. Disponible en:

<http://www.ittlajomulco.edu.mx/herbariovirtual/> Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2014.

Pueyo-Campos, A. (1991). El Sistema de Información Geográfica: Un Instrumento para la planificación y gestión urbana, Zaragoza, España Universidad de Zaragoza.

[En línea]. Disponible en:

[file:///C:/Users/Jose%20Luis/Downloads/Dialnet-ElSistemaDeInformacionGeografica-59785%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Jose%20Luis/Downloads/Dialnet-ElSistemaDeInformacionGeografica-59785%20(1).pdf)

Fecha de consulta: 17 de septiembre de 2014.

SIG, Sistemas de Información Geográfica S.A. de C.V. (SIG) (2013), Empresa mexicana líder en aplicaciones geográficas. [En línea]. Disponible en: <http://www.sigsa.info/ESRI>.

Fecha de consulta: 18 de julio de 2013.

Semblanzas de los autores

Juan Luis Caro Becerra: Maestro en ciencias con especialidad en Hidráulica por el IPN, Profesor de tiempo completo nivel A por la UPZMG desde octubre del 2010 hasta la fecha, obteniendo el perfil deseable por parte del Programa al Mejoramiento del Profesorado PRODEP en agosto del 2013, actualmente es Coordinador del Cuerpo Académico en Consolidación CAEC: *Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable*.

Luz Adriana Vizcaíno Rodríguez: Ing. Química Fármaco Bióloga y con grado de Doctora en Ciencias por el Instituto Tecnológico de Tlajomulco ITTJ con especialidad en Biología Celular o Citología, 8 años de experiencia en la docencia, su línea general aplicada al conocimiento es la Conservación de Biodiversidad y Metabolismo Secundario de plantas y microorganismos de interés biotecnológico, así como la Caracterización e Identificación de Biomoléculas con Aplicación Biotecnológica.

Pedro Alonso Mayoral Ruiz: Maestro en Ciencias con especialidad en Geotecnia por la Universidad de Guadalajara, Profesor de tiempo completo nivel A por la UPZMG desde mayo del 2016 hasta la fecha, obteniendo el perfil deseable en 2017 del Programa al Mejoramiento del Profesorado PRODEP, forma parte del Cuerpo Académico en Formación CAEF denominado: *Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable*. Su línea general aplicada al conocimiento es: Vulnerabilidad en Obras Civiles.

José Luis Reyes Barragán: Ingeniero Químico por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Maestro en Ciencias Químicas con especialidad en Metalúrgica/Área de Corrosión por la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, su línea de investigación es la Ingeniería de Materiales Metálicos; Cerámicos y Recubrimientos para la mejora de piezas avanzadas con el objeto de cambiar las propiedades del material. Ha participado en diferentes publicaciones a nivel nacional e internacional, además de desarrollar capítulos de libros, así como la dirección de tesis en la Escuela de Conservación y Restauración de Occidente ECRO.