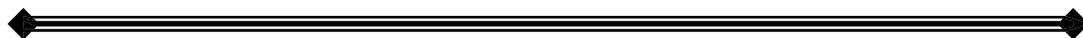




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

MAESTRÍA EN MANEJO INTEGRADO DEL PAISAJE

**IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO
HIDROLÓGICO SWAT: MODELACIÓN Y
SIMULACIÓN MULTITEMPORAL DE LA
VARIACIÓN DE ESCORRENTÍA EN LA CUENCA
DEL LAGO DE CUITZEO**

PRESENTA:

ALBERTO ORTIZ RIVERA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. MANUEL E. MENDOZA CANTÚ



CIGA
CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

Morelia, Michoacán

Octubre, 2010

Contenido

Índice de Cuadros	iii
Índice de Figuras	iv
Lista de Abreviaturas	vi
RESUMEN	vii
Capítulo I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS.....	5
HIPÓTESIS.....	6
MARCO TEORICO	7
ANTECEDENTES.....	13
Capítulo II	17
Descripción del área de estudio.....	17
Materiales y métodos	32
Descripción del modelo SWAT	33
Pre procesamiento e Ingreso de datos	39
Capítulo III	46
Resultados.....	46
Capítulo IV.....	71
Discusión	71
Conclusiones	76
Recomendaciones.....	78
Referencias bibliográficas	80

ANEXO 1	89
ANEXO 2	92
ANEXO 3	93
ANEXO 4	94
ANEXO 5	95

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Datos morfométricos para la Cuenca del lago de Cuitzeo	18
Cuadro 2. Nombre de la subcuenca y el área que ocupan	21
Cuadro 3. Municipios que integran la cuenca del lago de Cuitzeo.....	24
Cuadro 4. Grupos de Suelo de la cuenca, su extensión y porcentaje para la cuenca del lago de Cuitzeo	25
Cuadro 5. Unidades de suelo dominante y su grupo hidrológico propuesto	41
Cuadro 6. Principales clases de cobertura y su descripción (Mendoza, et al., 2010).....	42
Cuadro 7. Insumos utilizados para la generación de las coberturas para los diferentes años de análisis.....	42
Cuadro 8. Estaciones meteorológicas empleadas en este estudio.....	45
Cuadro 9. Reclasificación y generalización a las clases SWAT de las capas de cobertura y uso del terreno	50
Cuadro 10. Datos de las simulaciones realizadas por SWAT para los distintos años de cambio.....	53
Cuadro 11. Datos de evapotranspiración de las simulaciones realizadas por SWAT y las calculadas por Thornthwaite.....	53
Cuadro 12. Porcentaje por clase de cobertura y uso del terreno para cada año de cambio	58
Cuadro 13. Datos de las simulaciones realizadas por SWAT para cada año haciendo cambios en las coberturas.....	60
Cuadro 14. Datos de las simulaciones realizadas por SWAT manteniendo la cobertura durante todos los años	63
Cuadro 15. Esguerrimiento en mm por subcuenca y el efecto positivo o negativo de este esguerrimiento para el año de 1975 y el 2008	64
Cuadro 16. Porcentaje de coberturas para la subcuenca 67 y 62; 1975 y 2008.....	66
Cuadro 16. Esguerrimiento en mm por subcuenca y el efecto positivo o negativo de este esguerrimiento para el año de 1975 y 1996	67
Cuadro 18. Porcentaje de coberturas para la subcuenca 62 y 57; 1975 y 1996.....	70

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.	17
Figura 2. Perfil en dirección suroeste-noreste de la cuenca del lago de Cuitzeo, elaboración propia.....	18
Figura 3. Perfil en dirección noroeste-sureste de la cuenca del lago de Cuitzeo, elaboración propia.....	19
Figura 4. Representación de un lomerío alto cubierto por bosque mixto en la parte norte de la cuenca, en los límites de los Estados de Michoacán y Guanajuato.....	20
Figura 5. División de la Cuenca de Cuitzeo en subcuencas, (Mendoza, 2002)	20
Figura 6. Hidrografía de la cuenca del lago de Cuitzeo (Datos vectoriales 1:50,000 INEGI)	22
Figura 7. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la cuenca del lago de Cuitzeo (IMTA, 2006).....	23
Figura 8. Municipios que forman parte de la cuenca del lago de Cuitzeo (Datos vectoriales 1:50,000 INEGI, 2000).....	24
Figura 9. Unidades de suelo para la cuenca de Cuitzeo, de acuerdo a FAO, 1990	26
Figura 10. Problemática de erosión presente en algunas zonas de la cuenca. Este problema afecta menos de 2% de la superficie total de la cuenca.....	27
Figura 11. Vista de algunos bosques y laderas inclinadas en diferentes puntos de la cuenca, desde bosques mixtos en la foto superior en los límites del Estado del Michoacán, pequeños manchones de bosque de juníperos en la foto inferior izquierda y del lado derecho otro bosque mixto estos dentro de la subcuenca de Queréndaro	27
Figura 12. Matorrales subtropicales que se encuentran dentro de la cuenca, este tipo de cobertura vegetal y representativa de la parte centro y norte de la cuenca	28
Figura 13. Pastizales ocupados por actividad pecuaria, en la zona central de la cuenca	28
Figura 14. Imagen de una zona inundable al norte de la cuenca	29
Figura 15. Tipos de cobertura y uso del terreno para la cuenca del lago de Cuitzeo 1975.....	30
Figura 16. Tipos de cobertura y uso del terreno para la cuenca del lago de Cuitzeo 2008.....	30
Figura 17. Método general empleado en esta investigación.....	37

Figura 18. A partir de las subcuencas, este es el método gráfico general empleado en esta investigación.	38
Figura 19. Diferentes perfiles de suelo realizados durante el trabajo de campo, estos complementaron la base de datos de INEGI, todos estos realizados en la subcuenca de San Marcos	41
Figura 20. Vista del proceso de generación del MDE	46
Figura 21. Ejemplificación gráfica de la generación semiautomatizada por ArcSWAT.	47
Figura 22. Delimitación de subcuencas por la extensión ArcSWAT	48
Figura 23. Reclasificación de los grupos de suelo bajo la interfaz de ArcSWAT	49
Figura 24. Reclasificación de la cobertura y uso del terreno bajo la interfaz de ArcSWAT	49
Figura 25. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en este estudio	51
Figura 26. Mapa de distribución de la precipitación y temperatura realizada por la extensión ArcSWAT	52
Figura 27. Gráfica y coeficiente de correlación para la relación precipitación versus escurrimiento.....	54
Figura 28. Comportamiento gráfico de las simulaciones realizadas por SWAT para los distintos años de cambio.....	54
Figura 29. Representación mensual de los valores de pp, Q, ETP por cada año de estudio.....	55
Figura 30. Porcentajes de coberturas y usos del terreno para los diferentes años de cambio.....	56
Figura 31. Comportamiento gráfico de las simulaciones realizadas por SWAT para cada año haciendo cambios en las coberturas	59
Figura 32. Análisis de cajas y bigotes de las simulaciones realizadas por SWAT para cada año haciendo cambios en la cobertura original.....	59
Figura 33. Comportamiento gráfico de las simulaciones realizadas por SWAT manteniendo la cobertura constante durante todos los años	61
Figura 34. Comportamiento gráfico de las simulaciones realizadas por SWAT manteniendo la cobertura constante durante todos los años.....	62
Figura 35. Mapa de distribución de escurrimiento de la diferencia de los años 1975 y 2008	65
Figura 36. Porcentajes de coberturas y usos del terreno para 1975 y 2008	66
Figura 37. Mapa de distribución de escurrimiento de la diferencia de los años de 1975 y 1996	69
Figura 38. Porcentajes de coberturas y usos del terreno para 1975, 1996 y 2008	70

RESUMEN

El agua cubre aproximadamente el 75% de la superficie terrestre; es fundamental tanto para procesos ambientales, sociales e indispensable para el surgimiento y desarrollo de la vida.

Casi todos los países vienen reconociendo a las grandes cuencas hidrográficas como los territorios más apropiados para conducir los procesos de manejo, aprovechamiento, planeación y administración del agua. Una herramienta que se utiliza para apoyar estos procesos son programas de modelación hidrológica que utilizan variables temporales y espaciales para simular el flujo de agua, así como las entradas y salidas de un área determinada y que a su vez están integrados en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

En el presente estudio se usó el modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT), versión SWAT2009 con la interfaz de ArcSWAT, el cual se diseñó para predecir y evaluar el impacto del uso del suelo sobre los recursos hídricos y problemas de contaminación del tipo difuso en cuencas no aforadas. El modelo tiene una base física, es computacionalmente eficiente y opera con series de tiempo diarias. Este modelo ha ganado aceptación internacional como una herramienta robusta para su uso en una amplia gama de escalas y condiciones ambientales.

La cuenca del lago de Cuitzeo, es una cuenca endorreica lacustre, con una superficie de 4 000 km². Tiene un gradiente altitudinal que va de los 1300 a los 3 600 msnm. Es una cuenca relativamente plana y con poca amplitud de relieve. La mayor densidad de escurrimientos se localiza hacia la porción elevada del sur de la cuenca; los escurrimientos en la porción norte son escasos, con un patrón poco desarrollado. El clima predominante corresponde al templado con lluvias en verano. La cuenca tiene una importante superficie ocupada por actividades rurales; sin embargo, la población de la cuenca es predominantemente urbana y tiende a concentrarse en 26 asentamientos.

El SIG utilizado es ArcGIS y extensión ArcSWAT; los insumos requeridos son el Modelo Digital del Terreno, mapas de grupos de suelo, cobertura y uso del terreno, además de datos de lluvia, temperatura del aire, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa. Se simularon cinco fechas con distintas distribuciones de la cobertura y uso del terreno, comprendidos entre 1975 y el 2008.

Se logró la aplicación del modelo SWAT en la cuenca del Lago de Cuitzeo. Con base a los resultados del modelo, se identificaron las zonas de escurrimiento como variable de respuesta hidrológica, analizando el efecto de diferentes cambios de cobertura y uso del terreno, así como el efecto de la precipitación en la respuesta hidrológica en términos de cantidad. Si bien los parámetros del modelo SWAT no fueron calibrados, ni se realizó un análisis de sensibilidad para conocer cuáles parámetros son más sensibles a cambios pequeños, el funcionamiento de un modelo sin calibración es un importante indicador de que tan bien funciona el modelo cuando no hay datos de aforo, como es el caso de muchos países. Esto es particularmente útil para el modelo SWAT, porque su uso está recomendado para cuencas que no cuentan con registros de aforo.

Los valores de escurrimiento anual ofrecen una perspectiva global y reducida, sin embargo las tendencias de los datos al hacer el análisis para un año cambiando la cobertura, es decir, precipitación constante, con un escurrimiento menor para el año de 1996 en todos los casos y para el 2008 un escurrimiento superior, pero menor al de 1975. Estos resultados sugieren que la cobertura vegetal actual de la cuenca está en una mejor condición que en la década de los 70s. Para el caso de simulaciones manteniendo constante la cobertura para todos los años de estudio muestran una tendencia similar que para las simulaciones con la cobertura original de cada año.

De manera general es un modelo que nos demanda mucha cantidad y calidad de información así como el tiempo invertido en él, sin embargo no son imposibles de recabar e interminables y esto de alguna forma nos permite conocer qué datos introducimos, tal vez cuál es la calidad o los limitantes de estos y qué podemos esperar de la salida, aunque muchos de los procesos quedan reducidos o no vemos claramente en dónde se están empleando, pues el programa al simular es una caja negra. Los resultados obtenidos pueden ser comparables con trabajos previos o realizados con otras metodologías a nivel de la cuenca u otras escalas como las subcuenas que así lo permitan, es necesario calibrar y validar la información que nos aporta, sin embargo recordemos que un modelo no nos da soluciones, sino aproximaciones a ciertos cambios o toma de decisiones. Es un modelo que de acuerdo a lo que se menciona en la bibliografía aporta buena calidad de datos para cuencas poco aforadas como el caso de la cuenca del Lago de Cuitzeo.

Hidrología; Modelos Hidrológicos; Cuenca; Escurrimiento; SIG; modelo SWAT